

Research Article

# Reliability-centered Maintenance: Implementation in the Area of Vehicle Fleet Maintenance

## Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad: Implementación en el Área del Mantenimiento de Flotas Vehiculares

Sandro Patricio Arroyo Bautista<sup>1</sup>, Luis Fernando Buenaño Moyano<sup>2\*</sup>, Olga Beatriz Barrera Cárdenas<sup>2</sup>, and Celin Abad Padilla Padilla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Investigador Independiente, Ambato, Ecuador

<sup>2</sup>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Riobamba, Ecuador

### ORCID

Luis Fernando Buenaño Moyano: <https://orcid.org/0000-0002-2194-4102>

IV INTERNATIONAL  
CONGRESS OF  
ENGINEERING FACULTY OF  
MECHANICS (IV COINTI  
2021)

Corresponding Author: Luis  
Fernando Buenaño Moyano;  
email:  
lfbuenanio@epoch.edu.ec

Published: 31 August 2022

Production and Hosting by  
Knowledge E

© Sandro Patricio Arroyo  
Bautista et al. This article is  
distributed under the terms of  
the [Creative Commons  
Attribution License](#), which  
permits unrestricted use and  
redistribution provided that  
the original author and  
source are credited.

### Abstract

This article presents the experiences and results of the application of Reliability-centered Maintenance to the automotive field. The application was carried out in the decentralized autonomous government of Santiago de Píllaro. First, an inventory, codification, and grouping in families of the fleet vehicles were elaborated; at the same time, a technical evaluation of the workshop and automotive maintenance personnel was carried out through interviews and surveys. Next, technical visits were made to determine the mechanical condition of the vehicle fleet. The information obtained made it possible to perform a critical analysis to identify the vehicles and automotive systems that represent a high potential risk of failure. Based on the results and using the RCM decision scheme, a maintenance plan proposal was designed with 26 maintenance tasks aimed at improving the reliability of the vehicle fleet.

**Keywords:** RCM, vehicle fleet, criticality, maintenance plan.

### Resumen

En este trabajo se presentan las experiencias y resultados de la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad al campo automotriz. La aplicación se realizó en el Gobierno Autónomo Descentralizado de Santiago de Píllaro. En primera instancia se elaboró el inventario, codificación y agrupación en familias de los vehículos de la flota; a su vez se efectuó la evaluación técnica del taller y personal de mantenimiento automotriz mediante entrevistas y encuestas. A continuación, se realizaron visitas técnicas para determinar el estado mecánico de la flota vehicular. La información obtenida permitió ejecutar un análisis de criticidad para identificar a los vehículos y los sistemas automotrices que representan un alto potencial de riesgo de ocurrencia de falla. A partir de los resultados y mediante el esquema de decisión RCM se logró diseñar una propuesta de plan de mantenimiento con 26 tareas de mantenimiento tendientes a mejorar la confiabilidad de la flota vehicular.

**Palabras Clave:** RCM, flota vehicular, criticidad, plan de mantenimiento.

 OPEN ACCESS



## 1. Introducción

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, (MCC) o en inglés RCM (Reliability Centred Maintenance); es una metodología de mantenimiento que se desarrolló con la finalidad de mejorar la seguridad y la confiabilidad de los instrumentos de aviación [1]. Su inicio data de 1979, escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado en 1978 por el Departamento de Defensa de U.S., dado su amplio desarrollo a lo largo de las décadas su aplicación se ha realizado con el fin de desarrollar estrategias de mantenimiento de equipos, en los países industrializados del mundo[1]. Actualmente en las normas SAE JA 1011 y SAE JA 1012 se presenta los criterios mínimos que debe poseer un proceso para que se lo determine como un RCM. La norma SAE JA 1011, niega que define un proceso específico; pero la norma SAE JA 1012, se detalla de manera amplificada como una Guía, en la cual se aclara términos claves y conceptos, de manera especial a las que son únicas del RCM [1].

A nivel de Latinoamérica el parque automotor ecuatoriano ha trascendido en los últimos años registrando una tasa alta de incremento del 59% al año 2017. Para noviembre de 2019 el parque automotor matriculado en Ecuador creció en más de 1,4 millones de vehículos en una década, lo que situó la cifra por sobre los 2,4 millones de unidades comparado al 2018. [2] El parque automotor en el Ecuador adquiere un papel importante para el desempeño y funciones de actividades permitiendo la movilidad de las personas de un lugar a otro en distintas regiones del país. A noviembre del 2019 la Provincia de Tungurahua cuenta con una flota vehicular importante ubicándose en la séptima posición a nivel nacional con 107224 unidades [2].

El Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Santiago de Píllaro cuenta con una flota vehicular, conformada por: tres Recolectores de Basura, dos camiones recolectores, un tanquero de combustible, cinco camionetas, un vehículo liviano, ocho volquetas, una excavadora, un tractor, un rodillo, dos retroexcavadoras, tres motoniveladoras, dos mini-cargadores y un cargador frontal [1]. Factores como el cambio de autoridades, el contexto operacional, y la falta de aplicación de una adecuada metodología para la gestión de mantenimiento ha provocado que las autoridades tengan que aplicar estrategias correctivas, algo que puede mermar el presupuesto y disminuir la calidad del servicio que se tiene que dar a la comunidad. La administración de la flota vehicular del GAD Santiago de Píllaro está dirigida por el Departamento de Obras Públicas, Mantenimiento y Fiscalización; el cual cuenta a disposición con 30 personas orientados a trabajos de mantenimiento de la flota vehicular, regida por un Supervisor de Mantenimiento de Equipo Pesado y Automotriz, con un mecánico y dos técnicos.



La flota vehicular cuenta con unidades adquiridas en el año 2015 [1], sin embargo a partir de ese año, el mantenimiento se ha realizado en base a datos del fabricante y la experiencia de los trabajadores, esta estrategia sin embargo no toma en cuenta factores como el contexto operacional, es decir las circunstancias exactas bajo las cuales será usado [3], entre ellas: la cantidad de trabajo, geografía del cantón, formas de operación, entre otras para ajustar las actividades de mantenimiento, razón por la cual se da una gran cantidad de trabajos correctivos, algo que evidencia puntualmente la baja confiabilidad de la que goza la flota.

La razón de la propuesta de la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM a la flota vehicular de esta municipalidad surgió como respuesta a la necesidad de las autoridades de elevar esta confiabilidad; ya que esto impactará positivamente al normal desenvolvimiento de los servicios prestados por la institución a los sectores estratégicos del cantón, como son en este caso: el sector productivo, el sector agrícola; a través del mantenimiento y adecuación de vías; y la prestación de servicios de recolección de residuos, además de los servicios de transporte para los trabajadores de la institución [1].

Actualmente al momento de implementar la metodología de RCM, son las normas SAE JA1011 y SAE JA1012 [3] [4] el referente al momento de definir las actividades a realizarse. Es importante mencionar aplicaciones del método a diferentes ámbitos de la industria como por ejemplo el realizado por [5] en el cual los autores desarrollan una adaptación del método considerando la taxonomía de equipos según la norma ISO14224, bases de datos OREDA y criticidad de efectos. En el trabajo concluyen que fue primordial como primer paso el recopilar y analizar la información de cada activo ya que esto procura que el usuario conozca bien el activo antes de proceder con la aplicación de las preguntas de RCM.

En el caso del trabajo presentado por [6] se propone una metodología de aplicación del RCM para centrales hidroeléctricas es destacable mencionar que RCM adaptado correctamente permite generar estudios homogéneos de los equipos aun siendo estos realizados por diferentes analistas gracias a la estandarización de la división de equipos que se logra. En cuanto a la aplicación realizada por [7] se destaca principalmente la importancia que tienen la aplicación de las herramientas de análisis de criticidad, análisis de modos y efectos de fallas a la gestión de mantenimiento y como soporte para la aplicación de RCM.

En el campo automotriz, mencionar trabajos académicos sobre RCM aplicado a flotas resulta complicado ya que no siempre está clara la forma de aplicación más adecuada para este tipo de activos. En efecto existen múltiples trabajos de titulación pero que no han llegado a ser publicados en revistas académicas. Sin embargo se puede mencionar



casos de aplicación al área automotriz como el de [8] y [9] en los cuales se resalta la importancia de la determinación de los equipos o vehículos críticos como una herramienta para centrarse en un solo grupo o conjunto de elementos automotrices, los cuales al fallar son los que impactan en la confiabilidad de la flota automotriz.

El desarrollo de este trabajo se fundamentó además con el objetivo de realizar un diagnóstico técnico de la flota vehicular del GAD Santiago de Píllaro y formular un Plan de mantenimiento por medio de la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad; para conseguirlo se planteó además los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar el diagnóstico técnico de la Flota Vehicular del GAD. Santiago de Píllaro por medio de encuestas realizadas al personal encargado de los planes de mantenimiento; e inspecciones técnicas a la Flota Vehicular de la Municipalidad, para establecer el estado en que se encuentra la Flota Vehicular.
2. Establecer la criticidad de los vehículos que pertenecen a la Flota Automotriz mediante el análisis de los historiales de mantenimiento y los resultados del diagnóstico técnico para determinar, qué tipo de vehículo posee una criticidad de riesgo alto.
3. Ejecutar el análisis del modo de fallas de los vehículos con mayor criticidad y realizar la formulación del Plan de Mantenimiento utilizando la Metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

#### Materiales y Métodos

El estudio se limitó al sector automotor del GAD Santiago de Píllaro ubicado en la provincia de Tungurahua, y tuvo un periodo de aplicación de 6 meses a partir de septiembre de 2019 a mayo de 2020. [1].

En el presente trabajo se aplicó el método inductivo [10] puesto que, a partir del análisis de casos particulares y observaciones de la realidad, se extrajeron conclusiones de carácter general. Es decir, en primera instancia se comienza con la recolección de datos, en este caso del taller y de los vehículos de la flota, se estudió cada caso y se formuló categorías de familias de vehículos que engloban características generales. A partir de esto es plausible utilizar la metodología de RCM para determinar el plan de mantenimiento adecuado para cada familia de vehículos.

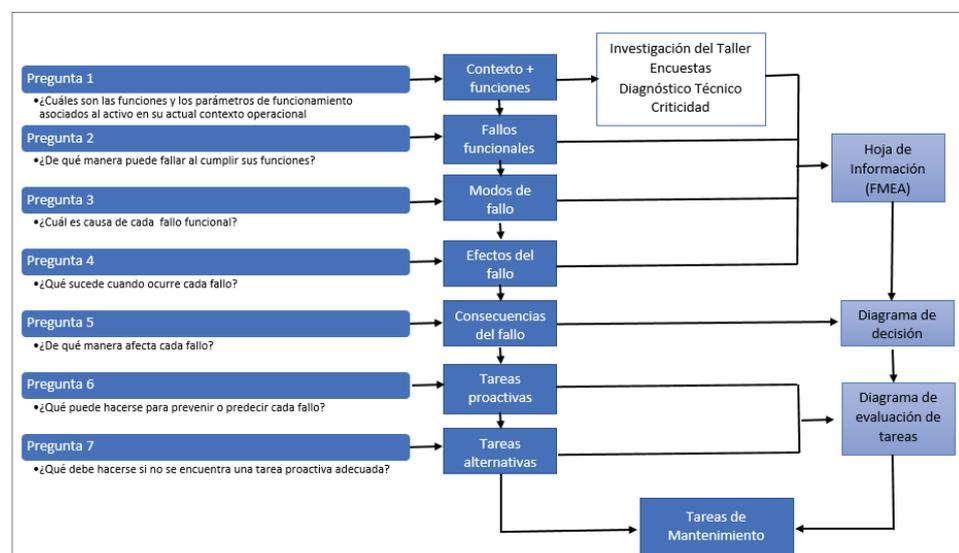
La metodología de RCM, es la detallada en las normas SAE-JA 1011 y SAE-JA 1012. Sin embargo, para facilitar la aplicación de esta metodología al campo del mantenimiento de flotas automotrices, se propone la metodología que se muestra en la Figura 1. La base del mantenimiento centrado en confiabilidad es



que la implementación responda a las 7 preguntas de RCM [4] siendo obligatorio hacerlo en el orden que plantea la norma. En la Figura 1 se puede observar el orden de las preguntas, pero también cuál es su objetivo, es decir que es lo que se espera obtener al responder la pregunta. La aplicación de RCM se ejecutó mediante un grupo de trabajo conformado por quienes propusieron este estudio, jefes departamentales del área, técnicos y operadores de los vehículos en análisis.

En el caso de la pregunta 1: ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional? es destacable el indicar que lo que se buscó determinar es el contexto operacional y las funciones de los activos. Para ello se comenzó por estudiar el parque automotor del GAD; en primera instancia a través de un inventario y codificación que facilite el estudio, en segundo lugar, se determinó el estado técnico de los vehículos. Además, se hizo una evaluación del personal del taller mediante encuestas de preguntas cerradas con la finalidad de comprender el cuál es el conocimiento que tiene el personal con respecto a las unidades y su gestión de mantenimiento. En sí lo que se logró con esto es tener un pleno conocimiento de los activos existentes y del contexto operacional en el cual operan.

El inventario que se propuso en este estudio estableció que se formen familias de vehículos, las cuales están compuestas por aquellas unidades que tienen características similares, además se determina el estado mecánico de los vehículos. Esto es importante ya que con esta información se puede estudiar con profundidad cuáles son las fallas con mayor grado de afectación en la flota.



**Figure 1**

*Diagrama de la metodología para la aplicación del RCM a la flota automotriz del GAD.*



Las preguntas 2, 3 y 4 se refieren específicamente a los fallos funcionales, modos de fallo y efectos de fallo, sin embargo, debido a la gran cantidad de sistemas que cada activo tiene, se optó por realizar primero un análisis de criticidad de acuerdo con las familias de vehículos.

En sí la fundamentación de este trabajo es desarrollar la propuesta de planificación de mantenimiento basado en RCM a los activos críticos de la flota. El análisis de criticidad permite obtener una jerarquía o priorización de los activos considerados de riesgo para facilitar la toma de decisiones. Se optó por utilizar la Ecuación 1, la Ecuación 2 y la matriz de criticidad mostrada en la Figura 2 [11]. El análisis de criticidad se fundamenta en el estudio de las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos no deseados o fallas y sus consecuencias [11].

Criticidad total=Frecuencia x Consecuencia

Ecuación 1. Criticidad total.

De la Ecuación 1 se obtiene la Ecuación 2 en donde se detallan las variables que integran la cuantificación de la variable consecuencia.

Criticidad total=Frecuencia x [ (Impacto operacional\*Flexibilidad )+Costo Mantenimiento+Impacto de seguridad humana y ambiental ]

Ecuación 2. Criticidad total considerando variables para cuantificar la consecuencia.

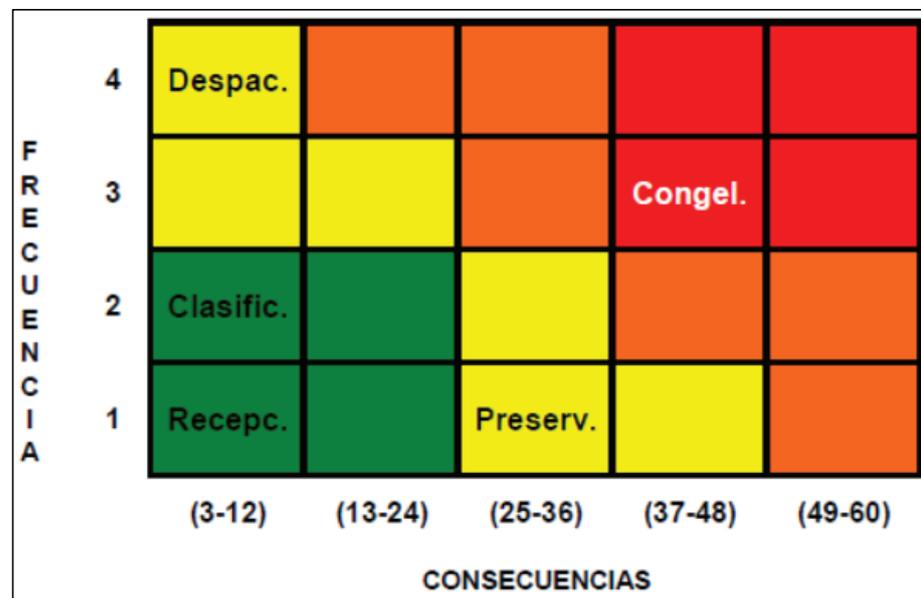


Figure 2

Matriz de criticidad.



De acuerdo con la Ecuación 2 es necesario contar con criterios de cuantificación, en donde para el presente estudio fueron utilizados los que se presentan en la Figura 3 y a partir de la aplicación del método de cálculo se obtiene los puntajes que se indican en la matriz de criticidad (Figura 2).

<b>Criterios de evaluación de la Consecuencia para determinar las familias de vehículos más críticos del Gad Santiago de Pillaro</b>	
<b>Criterio de la Consecuencia</b>	<b>Cuantificación</b>
<b>Frecuencia de Fallos:</b>	
* Mayor a 16 fallos/año	4
* 8 a 16 fallos/año	3
* 4 a 8 fallos/año	2
* Mínimo 1 fallo/año	1
<b>Impacto Operacional:</b>	
Parada inmediata de toda la familia de vehículos	10
Parada inmediata y recuperable con otro vehículo de la familia de vehículos	8
Impacto en los niveles de calidad o producción	6
Indisponibilidad de la familia de vehículos	3
No genera ningún efecto o impacto significativo sobre las demás familias de vehículos	1
<b>Flexibilidad Operacional:</b>	
No existe otra familia de vehículos que pueda sustituir en el trabajo	5
Hay opción de trabajo a la capacidad mínima permisible	4
Hay opción de repuestos para la familia	3
Si existen repuestos disponibles	1
<b>Costo de Mantenimiento:</b>	
Mayor o igual a \$ 14.000,00	1
Menor a \$ 14.000,00	2
<b>Impacto en la Seguridad Humana y Ambiental</b>	
Afecta a la seguridad humana tanto externa como interna	8
Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	6
Afecta las instalaciones o personas causando daños severos	4

**Figure 3**

*Detalle de criterios y cuantificación para el análisis de criticidad.*

Al determinar cuáles son los grupos de vehículos más críticos se pudo concentrar la aplicación del análisis de modos de falla y efectos (AMFE) a los sistemas de los activos pertenecientes a las familias consideradas más críticos en la flota, lo que procura que el estudio se concentre directamente en aquellos sistemas que afectan la confiabilidad. En esta parte se utilizó la hoja de información AMFE que se presenta en la Figura 4.

El siguiente paso se centra en la aplicación de la pregunta 5: ¿De qué manera afecta cada fallo? Es decir, se determinó las consecuencias del fallo y mediante el uso del diagrama de decisión RCM propuesto por [12] y la hoja de decisión de RCM en las cuales se considera un análisis en torno a las consecuencias del fallo en cuatro categorías: Consecuencias de fallo oculto, consecuencias para la seguridad o medio ambiente, consecuencias operacionales y consecuencias



no operacionales; para proponer tareas de mantenimiento. En este punto se responde además las preguntas 6 y 7; siendo este el momento en el cual el grupo RCM decide cuáles son las tareas que se establecen en la propuesta de plan de mantenimiento y su frecuencia. Una vez concluida la aplicación de las 7 preguntas y obtenidos los productos que arrojan cada una de ellas, se sintetiza los resultados en la propuesta de Plan de Mantenimiento, en este apartado además es importante mencionar que un aspecto primordial será el establecimiento de la frecuencia con la que se realizará cada tarea. De acuerdo con [13], existen tres posibilidades. La primera es contar con datos históricos que permitan conocer la frecuencia con la que se produce el fallo, la segunda es el disponer de funciones matemáticas que permitan predecir el comportamiento de un determinado fallo, y la tercera es en base a la opinión de expertos, siendo esta la más subjetiva y menos precisa. En la presente aplicación se ha utilizado los datos históricos facilitados por el departamento de mantenimiento.

#### Resultados

Los resultados que se obtuvieron de la aplicación de la metodología propuesta para la aplicación de RCM a la flota automotriz del GAD de Santiago de Píllaro, se presentan a continuación: Familias de vehículos y estado técnico

La investigación de campo de cada vehículo, su codificación y determinación del estado técnico de los vehículos constitutivos de la flota vehicular del GAD se presenta en la Tabla 1, se puede apreciar que se han determinado 2 categorías principales: vehículos para Obras públicas y vehículos para transporte. Mediante esta actividad se consigue identificar plenamente a cada uno de los activos, y las fallas que los afectan, así como también las acciones correctivas que se deben ejecutar para poder rehabilitar adecuadamente la flota vehicular del GAD.

#### Evaluación del Taller Automotriz y de la función de mantenimiento en el GAD

Luego de realizar las encuestas pertinentes a cada uno de los actores que intervienen en los procesos de mantenimiento en el taller automotriz, se puede presentar los siguientes resultados:

##### 1. Taller automotriz

A partir de realizar la visita técnica al taller automotriz del GAD Municipal, se pudo conocer que este está conformado por tres áreas de trabajo que son: la bodega, carpintería y el área de mecánica. A su vez se cuenta con los siguientes espacios para el área automotriz:

##### 2. Área de trabajo del taller

**Table 1**

*Estado de la flota vehicular del GAD de Santiago de Píllaro.*

Tipo de Vehículo	Familia	Buen Estado	Mal Estado	Fuera de Servicio	Total
Obras Públicas	Moto Niveladoras	3	0	0	3
	Retro Excavadoras	0	2	0	2
	Mini Cargadoras	0	2	0	2
	Cargadora Frontal	0	1	0	1
	Bull Dozer	1	0	1	2
	Excavadora	1	0	0	1
	Rodillo Compactador	1	0	0	1
	Volquetas	8	0	0	8
	Recolectores de Basura	4	0	0	4
	Transporte	Camionetas	6	0	0
Otros		3	0	1	4
<b>Total</b>		27	5	2	34

Elaborado por: Autores. Fuente: Historial de mantenimiento y evaluación de campo.

3. Taller de soldadura
4. Bodega de repuestos
5. Área de oficina
6. Área de Servicios higiénicos
7. Área de Bodegas

En si el área de trabajo del taller se encarga de poder realizar el mantenimiento automotriz pertinente, y es capaz de cumplir con las tareas que el fabricante recomienda.

#### 1. *Evaluación de encuestas*

La aplicación de encuestas al personal del taller se hizo para obtener una comprensión más clara de la organización del taller, el funcionamiento de las unidades y la gestión de mantenimiento. Participaron el área técnica del taller y operadores de maquinaria, en lo que tiene que ver con los técnicos del taller, la evaluación se realizó con preguntas tendientes a determinar el estado de la gestión del taller realizándose a un total de 2 técnicos y el supervisor de mantenimiento. En la siguiente Tabla 2 se ha sintetizado las respuestas en una escala de 1 al 5 en el que 1 es insuficiente, 2 es malo, 3 es regular, 4 es bueno y 5 es excelente.

**Table 2**

*Resultados de la encuesta a técnicos del taller que evalúa la gestión del taller para el mantenimiento.*

Tema de la pregunta	Valoración
Gestión del taller automotriz	2.67
Gestión de repuestos	3
Inventario de herramientas	3
Presupuesto	2.67
Comunicación entre departamentos	2
Comunicación entre técnicos	5
<b>Promedio</b>	<b>3.06</b>

Elaborado por: Autores. Fuente: Encuestas de investigación.

Es evidente que la percepción del área técnica ubica a la gestión del taller como regular, evidenciando problemas principalmente con respecto a la gestión del taller, presupuesto y la comunicación entre departamentos. Además, será muy importante para la consecución de resultados mejorar en las áreas de herramientas y repuestos. Fundamentalmente una de las fortalezas del área de mantenimiento del GAD es la Buena comunicación que existe entre técnicos.

Con respecto a los operarios, participaron 30 personas. De la misma manera fueron consultados con respecto a temas de la gestión, además de la percepción de la calidad del plan de mantenimiento. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos.

**Table 3**

*Resultados de la encuesta a operarios, que evalúa la gestión del taller para el mantenimiento.*

Tema de la pregunta	Valoración
Gestión del taller automotriz	2.7
Cantidad de repuestos	2.15
Estado de las unidades	2.73
Calidad del plan de mantenimiento	3.03
Frecuencia de los planes de mantenimiento	3.17
Comunicación entre técnicos y operarios	3.8
<b>Promedio</b>	<b>3.06</b>

Elaborado por: Autores. Fuente: Encuestas de investigación.

Como se puede apreciar, los operarios de las unidades también consideran que la gestión del taller tiene un estado de "Regular" con un valor de 3.06. Resultó importante conocer esta percepción del personal ya que al momento de reunirse con el equipo de trabajo para la aplicación del RCM se logró considerar los aspectos del taller que pueden interferir u obstaculizar las propuestas de mantenimiento que se proponen. De



acuerdo con la Tabla 3 es indispensable mejorar las áreas de la gestión, repuestos y el estado de las unidades. No se debe descuidar tampoco las áreas regulares como la calidad del plan, la frecuencia y se deberá mejorar también la comunicación entre técnicos y operarios. Análisis de criticidad El análisis se realizó de acuerdo con la metodología establecida y sirvió para determinar las familias de vehículos de la flota consideradas de alto riesgo. Los resultados del análisis se sintetizaron en la Tabla 4.

**Table 4**

*Ejemplo de tabla.*

Familias	Criticidad
Motoniveladoras	Medio Alto
Retroexcavadoras	Alto
Mini-cargadoras	Alto
Cargadora Frontal	Alto
Bulldozer	Bajo
Excavadora	Medio Bajo
Rodillo compactador	Bajo
Volquetas	Medio Bajo
Recolectores de basura	Medio Alto
Camionetas	Bajo
otros	Bajo

Elaborado por: Autores. Fuente: Autores.

En este contexto se ha obtenido que son los vehículos pertenecientes a las Retroexcavadoras, Mini-cargadoras y Cargadoras Frontales, los vehículos que más alto riesgo tiene la ocurrencia de sus fallas. A continuación, se presentan los resultados del análisis AMFE que se realiza a los sistemas que constituyen a los vehículos pertenecientes a estas familias. Para facilitar el análisis y optimizar recursos, al ser vehículos que comparten sistemas en su clasificación, el análisis se hizo para todos los activos en una sola hoja de información RCM además una segunda aplicación de análisis de criticidad mostró que los sistemas críticos de estos vehículos son el sistema hidráulico, sistema de refrigeración, y sistema eléctrico. Resultados del Análisis AMFE y aplicación del diagrama de decisión RCM

A partir de este punto se procede a aplicar el análisis RCM mediante la metodología planteada, se ha considerado priorizar los sistemas críticos. Aquí se identificaron funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos. Además, se realiza un estudio de las consecuencias y se determinaron las tareas de mantenimiento mediante el diagrama de decisión RCM. En la Figura 4 y Figura 5 se aprecia el modelo de hoja de decisión utilizada para plasmar el análisis de las consecuencias y las tareas de mantenimiento



que se proponen. En la Tabla 5 se consolidan y cuantifican los principales resultados del análisis AMFE y de la aplicación del diagrama de decisión RCM.

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)						
DE LA FLOTA VEHICULAR DEL GAD SANTIAGO DE PÍLLARO						
Hoja de Información RCM		Familia de Vehículo:		Autor:	Fecha:	Hoja N°
		OP-L		Sandro Arroyo	04/12/2019	1
Sistema		Sistema:		Auditor:	Fecha:	De:
		S-H				1
Sistema	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla		
Sistema Hidráulico	Encargado de utilizar un fluido a presión, para crear fuerza o movimiento en diferentes actuadores	A Perdida del Fluido Hidráulico	1	Rotura de Cañerías y Mangueras	No existe el adecuado nivel de Fluido Hidráulico	
			2	Rotura de los sellos de la Bomba	La bomba no proporciona la presión y fluido necesario al sistema	
			3	Fuga de hidráulico del Tanque Hidráulico	No acciona de optima manera los accionamientos hidráulicos	
			4	Aplicación de Fluido Hidráulico Incorrecto	Se evapora el Fluido Hidráulico	
			5	Fisura en el Enfriador de Aceite	Fuga y calentamiento de Fluido Hidráulico	
		B Perdida de Potencia en Gato Hidráulico Principal	1	Remordimiento del vástago del Gato Hidráulico	No se desplaza con facilidad el Gato Hidráulico	
			2	Atascamiento de la válvula de presión	Pérdida de potencia al motor actuador del Gato	
			3	Taponamiento del Filtro	No permite un flujo normal	
			4	Desalineamiento del Pistón	Obstrucción del Pistón haciendo que no genere movimiento	

**Figure 4**  
Modelo de hoja de información RCM.

HOJA DE DECISIÓN																		
DE LA FLOTA VEHICULAR DEL GAD SANTIAGO DE PÍLLARO																		
HOJA DE DECISIÓN RCM				Familia de vehículo:			Autor:			Fecha:		Hoja N°						
				OP-L			Sandro Arroyo			04/12/2019		1						
REFERENCIA DE INFORMACIÓN				Sistema:			Auditor:			Fecha:		De:						
				S-H								1						
EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	Acciones a falta de			TAREAS PROPUESTAS		FRECUENCIA	FACILITADOR					
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	S	N	N	N	S2	N							Cambio de las mangueras del Sistema Hidráulico	5 años	Mecánico Automotriz
1	A	2	S	S	N	N	N	N	S3							Cambio de los sellos de la bomba	Sin Frecuencia	Mecánico Automotriz
1	A	3	S	N	N	S	O1	N	N							Revisión de fugas o goteos y completación de Hidráulico	Semanal	Operario
1	A	4	S	N	N	S	O1	N	N							Verificar el tipo de aceite hidráulico que se utiliza	Mensualmente	Ayudante de Mecánica
1	A	5	S	N	S	N	N	N	S3							Cambio del Enfriador del Aceite	Sin Frecuencia	Mecánico Automotriz

**Figure 5**  
Modelo de hoja de decisión RCM utilizada en este estudio.

Del total de tareas establecidas en este nuevo plan obtenido por medio de la metodología RCM, 3 tareas serán ejecutadas por operadores, 15 por el mecánico principal y 8 por el ayudante de mecánica. Estas tareas son las que deben ser reunidas en un documento que conforman la propuesta de plan de mantenimiento a ser aplicada a la flota vehicular.

## 2. Conclusiones

Luego de aplicar la metodología propuesta para este estudio, se logró establecer un plan de mantenimiento que tienda a mejorar la confiabilidad de los sistemas críticos que conforman las familias de vehículos con mayor cantidad de riesgo alto de falla. El

**Table 5**

Consolidado de los resultados generados de la aplicación del análisis AMFE y el diagrama de decisión.

Tipo	Cantidad	Porcentaje
<b>Efectos de Falla</b>		
Sistema Hidráulico	9	34.62%
Sistema Eléctrico	9	34.62%
Sistema de Refrigeración	8	30.77%
<b>Consecuencias de Falla</b>		
Fallo Oculto		0%
Para la seguridad o el medio ambiente	20	76.92%
Operacionales	7	23.08%
No operacionales		0%
<b>Tareas de Mantenimiento</b>		
Tareas a Condición	5	19.23%
Tareas de reacondicionamiento cíclico	8	30.77%
Tareas de sustitución cíclica	13	50

Elaborado por: Autores. Fuente: Autores.

análisis de criticidad realizado permitió una jerarquización para la toma de decisiones mediante RCM eficaz y directa para proponer la resolución de los problemas.

La aplicación de la metodología RCM a una gran cantidad de activos puede resultar una tarea extremadamente laboriosa si no se prioriza los activos a los cuales va a ser aplicada. En el caso de una flota, al estar conformada por varios vehículos pero que en muchas ocasiones pueden agruparse en familias de características similares, resulta ideal el comenzar por este ordenamiento ya que a posteriori puede resultar clave el poder disminuir y combinar la cantidad de información que se tiene que analizar mediante RCM.

Para el equipo de trabajo que elaboró este estudio, resultó indispensable el estudiar en primer lugar mediante las visitas técnicas y las entrevistas el contexto en el cual los vehículos de la flota prestan su función. Mediante este conocimiento y los historiales de servicio fue posible para los miembros del equipo el aplicar el análisis AMFE de una manera puntual y eficaz ya que lograron determinar las tareas de mantenimiento que atacan directamente a las fallas que han venido ocurriendo en la flota de este GAD.

Mediante el RCM basado en las normas SAE JA1011 y SAE JA1012, fue posible sintetizar una metodología propia y adecuada para trabajar con la flota de vehículos. Se han obtenido 26 tareas de mantenimiento tanto a condición, de reacondicionamiento cíclico y de sustitución cíclica con sus respectivas frecuencias y la asignación de los técnicos que serán responsables de cumplirlas.



La presente metodología RCM se apoya del análisis de criticidad y puede ser replicada en el campo de las flotas de vehículos, siendo este el siguiente paso de estudio a fin de obtener retroalimentación y colaborar con la mejora continua que procure la optimización de la gestión de mantenimiento en el campo automotriz.

## References

- [1] Arroyo S. Diagnóstico técnico de la flota vehicular del GAD. Santiago de Píllaro y Formulación del Plan de Mantenimiento mediante la Metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2021.
- [2] El Comercio. Parque automotor de Ecuador creció en 1,4 millones de vehículos en una década. El Comercio [Internet]. 2019 Nov 1 [cited 2021 Oct 31]. Available from: <https://www.elcomercio.com/actualidad/parque-automotor-ecuador-crecimiento-decada.html>
- [3] SAE-JA1012. Una guía para la norma de mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Conceptos Básicos. 2002:1–62.
- [4] SAE:JA1011. Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad. 1999:1–12.
- [5] Campos López O, Tolentino Eslava G, Toledo Velázquez M, Tolentino Eslava R. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. Científica. 2018;23:51–59.
- [6] Rea Soto R, Calixto Rodríguez R, Sandoval Valenzuela S, Velasco Flores R, García Lizárraga M del C. Metodología para realizar análisis de Mantenimiento Basado en Confiabilidad en centrales hidroeléctricas. Boletín IIE. 2012;143–149.
- [7] Uzcátegui-Gutiérrez JY, Varela-Cárdenas A, Díaz-García JI. Aplicación de herramientas de clase mundial para la gestión de mantenimiento en empresas cementeras basado en la metodología MCC. Respuestas. 2016;21(1):77–88.
- [8] Flores Romero DJ, Molina Rivera DM. Elaboración de un plan de mantenimiento basado en RCM para la flota vehicular de la empresa pública EMMAIPC-EP. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana; 2021.
- [9] Villacrés Parra SP. Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehiculo hidrocleaner vactor M654 de la empresa etapa EP. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2016.



- [10] Cegarra Sánchez J. Metodología de la investigación científica y tecnológica. Metodología de la Investigación Científica Y Tecnológica. Madrid: Díaz de Santos; 2004.
- [11] Santos J, Gutiérrez E, Strefezza M, Aguero M. Análisis de criticidad integral de activos físicos Comprehensive analysis of the physical assets criticality. Revista Investigaciones Científicas UNERMB (NE). 2013;4:38.
- [12] Moubray J. Mantenimiento centrado en confiabilidad (reliability - centred maintenance). Editorial Aladon LLC; 2004.
- [13] García Garrido S. Organización y gestión integral de mantenimiento. Primera. Santos D de, editor. Madrid; 2010.