



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
INSTITUTO DE POSTGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA

DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO
BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL VEHÍCULO
HIDROCLEANER VACTOR M654 DE LA EMPRESA ETAPA EP

ING. SERGIO RAÚL VILLACRÉS PARRA

Proyecto de investigación presentado ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de Magíster en:

“GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL”

Riobamba – Ecuador

2016



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
INSTITUTO DE POSTGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA

DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO
BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL VEHÍCULO
HIDROCLEANER VACTOR M654 DE LA EMPRESA ETAPA EP

Proyecto de investigación presentado ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de Magíster en:

“GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL”

AUTOR: ING. SERGIO RAÚL VILLACRÉS PARRA

TUTOR: ING. M.SC. LUIS FELIPE SEXTO CABRERA

Riobamba – Ecuador

2016



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CERTIFICA QUE:

El trabajo de investigación, titulado: “DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL VEHÍCULO HIDROCLEANER VACTOR M654 DE LA EMPRESA ETAPA EP”, de responsabilidad del Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Ing. Oswaldo Martínez Guashima; M.Sc.

PRESIDENTE

FIRMA

Ing. Luis Felipe Sexto Cabrera; M.Sc.

DIRECTOR

FIRMA

Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos; M.Sc.

MIEMBRO

FIRMA

Dr. Marco Antonio Haro Medina; M.Sc.

MIEMBRO

FIRMA

COORDINADOR SISBIB ESPOCH

FIRMA

Riobamba - Ecuador

2016

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Sergio Raúl Villacrés Parra; declaro ser el responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis y el patrimonio intelectual de la tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

Atentamente,

CC. 0602001604

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Sergio Raúl Villacrés Parra, declaro que el presente Proyecto de Investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, 2016

Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra

CC. 010270687-6

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, mi Creador, mi Señor y mi Padre Celestial; quien me ha dado todos los talentos, dones y recursos para poder llevar a cabo el presente trabajo. Y a mi amada madre, quien con su ejemplo de esfuerzo, trabajo y honradez ha inculcado en mí estos valores.

Sergio Raúl Villacrés Parra

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los profesores del programa de maestría en Gestión de Mantenimiento Industrial, de manera especial al director de este trabajo y a los miembros del tribunal, Ing. M.Sc. Luis Felipe Sexto Cabrera; Dr. Marco Dr. Antonio Haro Medina e Ing. M.Sc. Marco Heriberto Santillán Gallegos, por su apoyo y el tiempo invertido en la revisión de este trabajo.

También agradezco a la empresa C&V Ingeniería por haberme dado el tiempo y las facilidades para cumplir esta meta profesional, en especial al Ing. Bladimir Carrillo, Ing. César Gallegos e Ing. Mayra Viscaíno.

A la empresa ETAPA EP, por darme las facilidades y el acceso a la información, necesaria para la ejecución de este trabajo de investigación.

Sergio Raúl Villacrés Parra

CONTENIDO

PORTADA	-----	¡Error! Marcador no definido.
CERTIFICACIÓN	-----	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	-----	iv
CONTENIDO	-----	vii
LISTA DE TABLAS	-----	x
LISTA DE FIGURAS	-----	xi
LISTA DE ECUACIONES	-----	xii
ANEXOS	-----	xiii
RESUMEN	-----	xiv
SUMMARY	-----	xv
CAPÍTULO I	-----	1
1. INTRODUCCIÓN	-----	1
1.1 Introducción	-----	1
1.2 Problema de investigación	-----	1
1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i>	-----	1
1.2.2 <i>Formulación del problema</i>	-----	3
1.2.3 <i>Sistematización del problema</i>	-----	3
1.2.4 <i>Justificación de la investigación</i>	-----	3
1.3 Objetivos	-----	4
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	-----	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	-----	4
1.4 Hipótesis	-----	5
1.5 Delimitación	-----	5
CAPÍTULO II	-----	6
2. MARCO DE REFERENCIA	-----	6
2.1 Breve historia del RCM – Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.	-----	6
2.2 Historia del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	-----	8
2.2.1 <i>Historia del RCM</i>	-----	8
2.3 Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM	-----	9
2.3.1 <i>Las funciones</i>	-----	9
2.3.2 <i>Los fallos funcionales</i>	-----	10
2.3.3 <i>Los modos de fallo</i>	-----	10

2.3.4	<i>Los efectos del fallo</i>	11
2.3.5	<i>Las consecuencias del fallo</i>	12
2.3.6	<i>Funciones evidentes y consecuencias de un fallo</i>	13
2.3.6.1	<i>Funciones ocultas</i>	14
2.3.7	<i>Selección de las políticas de manejo de fallas</i>	14
2.3.8	<i>Política de manejo de fallas – Tareas programadas</i>	15
2.3.9	<i>Manejo de fallas – Cambios una vez y operar hasta fallar</i>	16
2.3.10	<i>Un programa de vida</i>	17
2.4	El grupo de trabajo como componente del RCM	17
2.5	Tasa de fallos	18
2.6	Análisis de criticidad de los equipos	18
2.7	Metodología de estudio	21
2.7.1	<i>Tipo de investigación</i>	21
2.7.2	<i>Método de investigación</i>	21
CAPÍTULO III		24
3.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM	24
3.1	Breve descripción de la empresa ETAPA EP	24
3.2	Flota de vehículos	24
3.3	Camiones hidrocleaner de la empresa ETAPA EP.	31
3.4	Selección del caso de estudio	32
3.4.1	<i>Breve descripción del camión hidrocleaner M654</i>	33
3.5	Descripción del departamento automotriz	36
3.5.1	<i>Ciclo de la orden de trabajo correctiva</i>	37
3.6	Administración del servicio de los camiones hidrocleaner	40
CAPÍTULO IV		42
4.	DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO RCM PARA EL CAMIÓN M-654	42
4.1	Determinación de tasas de fallos de los equipos del camión M-654 en el año 2014.	42
4.1.1	<i>Cálculo de la tasa de fallos del Blower del camión M-654</i>	43
4.1.2	<i>Cálculo de la tasa de fallos del motor del camión M-654</i>	43
4.1.3	<i>Cálculo de la tasa de fallos del chasis del camión M-654</i>	43
4.1.4	<i>Cálculo de la tasa de fallos del camión hidrocleaner M-654</i>	44
4.2	Determinación de los equipos críticos del camión M-654	44
4.2.1	<i>Cálculo de criticidad del MMC01-Motor de combustión interna.</i>	48

4.2.2	<i>Cálculo de criticidad del MST01-Transmisión de potencia</i>	49
4.2.3	<i>Cálculo de criticidad del MDP01-Tanque de 8m³</i>	49
4.2.4	<i>Cálculo de criticidad del MDP02- Tanque de agua limpia de 1m³</i>	49
4.2.5	<i>Cálculo de criticidad del MCP01- Compresor de lóbulos</i>	50
4.2.6	<i>Cálculo de criticidad del MBB01- Bomba para lavado</i>	50
4.2.7	<i>Cálculo de criticidad del MSP01- Filtro ciclón</i>	51
4.2.8	<i>Cálculo de criticidad del MCK01- Chasis del camión</i>	51
4.2.9	<i>Cálculo de criticidad del MCB01- Cabina del camión</i>	52
4.2.10	<i>Análisis de criticidad de los equipos del camión hidrocleaner M654.</i>	52
4.3	Descripción del contexto operacional del camión hidrocleaner M-654	54
4.4	Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE)	54
4.4.1	<i>Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) del sistema de frenado</i>	56
4.4.2	<i>Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) del sistema eléctrico</i>	58
4.4.3	<i>Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) del sistema de dirección</i>	60
4.4.4	<i>Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) del sistema de suspensión</i>	62
4.4.5	<i>Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) del sistema hidráulico</i>	64
4.5	Plan de mantenimiento de los equipos críticos del camión M-654	66
4.6	Evaluación de la tasa de fallos luego de la aplicación del RCM en el vehículo M654.	67
4.6.1	<i>Cálculo de la tasa de fallos del camión M-654</i>	70
4.7	Discusión de resultados	70
4.7.1	<i>Comparación de resultados entre el año 2015 y 2014</i>	70
	CONCLUSIONES	72
	RECOMENDACIONES:	74
	GLOSARIO DE TÉRMINOS	75
	BIBLIOGRAFÍA	76
	ANEXOS	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-2	Las siete preguntas del RCM.-----	9
Tabla 2-2	Aspectos a considerar para definir las funciones de un activo. -----	10
Tabla 3-2	Aspectos a considerar para definir los modos de fallo de un activo. -----	11
Tabla 4-2	Aspectos a considerar para definir los modos de fallo de un activo. -----	11
Tabla 5-2	Hoja de información RCM. -----	12
Tabla 6-2	Criterios y cuantificación-----	19
Tabla 1-3	Listado de vehículos de la empresa ETAPA EP -----	25
Tabla 2-3	Listado de vehículos de la empresa ETAPA EP -----	26
Tabla 3-3	Listado de vehículos de la empresa ETAPA EP -----	29
Tabla 4-3	Listado de vehículos de la empresa ETAPA EP -----	30
Tabla 5-3	Distribución vehicular en la empresa ETAPA E.P.-----	31
Tabla 6-3	Listado de camiones hidrocleaner de ETAPA E.P.-----	32
Tabla 1-4	Historial de fallas del hidrocleaner M654 en el año 2014 -----	42
Tabla 2-4	Criterios para cuantificar el análisis de criticidad de equipos. -----	46
Tabla 3-4	Número de fallos del camión hidrocleaner M654.-----	46
Tabla 4-4	Historial de fallos y costos del hidrocleaner M654 en el año 2014.-----	47
Tabla 5-4	Listado de equipos para análisis de criticidad -----	48
Tabla 6-4	Análisis de criticidad de los equipos del vehículo M654. -----	53
Tabla 7-4	Resultados de criticidad de los equipos del vehículo M654. -----	54
Tabla 8-4	Análisis de modos de fallo y efectos del sistema de frenado. -----	56
Tabla 9-4	Hoja de decisión RCM del sistema de frenado. -----	57
Tabla 10-4	Análisis de modos de fallo y efectos del sistema eléctrico -----	58
Tabla 11-4	Hoja de decisión RCM del sistema eléctrico -----	59
Tabla 12-4	Análisis de modos de fallo y efectos del sistema de dirección-----	60
Tabla 13-4	Hoja de decisión RCM del sistema de dirección. -----	61
Tabla 14-4	Análisis de modos de fallo y efectos del sistema de suspensión-----	62
Tabla 15-4	Hoja de decisión RCM del sistema de suspensión. -----	63
Tabla 16-4	Análisis de modos de fallo y efectos del sistema de hidráulico. -----	64
Tabla 17-4	Hoja de decisión RCM del sistema hidráulico.-----	65
Tabla 18-4	Plan de mantenimiento según RCM, para el vehículo M654.-----	66
Tabla 19-4	Tareas básicas de mantenimiento preventivo para el vehículo M654. ---	67
Tabla 20-4	Historial de fallos y costos del hidrocleaner M654 en el año 2015.-----	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2	Expectativas crecientes en el mantenimiento.	7
Figura 2-2	Conformación del grupo de trabajo RCM.	18
Figura 3-2	Matriz de criticidad.	20
Figura 4-2	Matriz de criticidad.	20
Figura 1-3	Vehículos hidrocleaner según sus años de fabricación.	31
Figura 2-3	Fallos en el año 2014 en la flota de vehículos hidrocleaner.	33
Figura 3-3	Camión hidrocleaner M-654.	34
Figura 4-3	Equipos de succión del camión hidrocleaner M-654.	34
Figura 5-3	Principales componentes del camión hidrocleaner M-654.	35
Figura 6-3	Organigrama del departamento de mantenimiento.	36
Figura 7-3	Formato de orden de trabajo de mantenimiento.	38
Figura 8-3	Ciclo de la orden de trabajo correctiva.	39
Figura 9-3	Formato de una orden de trabajo del hidrocleaner.	41
Figura 10-3	Reporte de trabajos realizados por un hidrocleaner.	41
Figura 1-4	Criticidad del MMC01-Motor de combustión interna.	48
Figura 2-4	Criticidad del MST01-Transmisión de potencia.	49
Figura 3-4	Criticidad del MDP01-Tanque de 8m ³	49
Figura 4-4	Criticidad del MDP02-Tanque de 1m ³	50
Figura 5-4	Criticidad del MCP-01-Compresor de lóbulos.	50
Figura 6-4	Criticidad del MBB01-Bomba para lavado.	51
Figura 7-4	Criticidad del MSP01-Filtro ciclón.	51
Figura 8-4	Criticidad del MCK01-Chasis del camión.	52
Figura 9-4	Criticidad del MCB01-Cabina del camión.	52
Figura 10-4	Número de fallos en los periodos 2014 y 2015.	70
Figura 11-4	Gráfico de horas calendario de parada y operación.	71
Figura 12-4	Resultados de costos.	71

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1-2	Tasa de fallos	18
Ecuación 2-2	Criticidad	20
Ecuación 3-2	Criticidad	20

ANEXOS

Anexo A	Documento que valida el costo hora de alquiler de un hidrocleaner.	79
Anexo B	Diagrama de decisión (Moubray, 2004)	80

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objeto el desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) para los equipos críticos de un vehículo de la flota de Hidrocleaners de la empresa municipal ETAPA EP de la ciudad de Cuenca, para lo cual se realizará un análisis de criticidad para determinar los equipos críticos a los cuales se aplicará la metodología RCM. Luego de haber determinado los equipos críticos, se procedió a realizar un análisis de modos y efectos de falla (AMEF); para lo cual es necesario definir las funciones principales y secundarias; sus modos de falla, los efectos de falla y las causas potenciales. Se ha realizado todo esto con la finalidad de determinar el plan de mantenimiento que eviten las potenciales fallas, dicho plan está constituido por actividades de mantenimiento, las frecuencias y los especialistas requeridos. Luego de aplicar el plan resultante se obtuvo una reducción del: 45% en la tasa de fallas, el 58% horas de parada y el 80% en costos por concepto de mantenimiento y alquiler de un camión hidrocleaner sustituto. Se recomienda implementar la metodología RCM en el resto de la flota vehicular de dicha empresa.

Palabras clave: <MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD [RCM]>, <CONFIABILIDAD>, <PLAN DE MANTENIMIENTO>, <HIDROCLEANER>, <TASA DE FALLAS>, <ANÁLISIS DE CRITICIDAD>.

SUMMARY

The present research work takes a maintenance plan development as an object by applying the methodology Reliability - Based Maintenance (RCM) for the critical equipment of a vehicle of the fleet of Hidrocleaners of the municipal company ETAPA E.P. in Cuenca city, for which a criticality analysis is performed to determine critical equipment to which the methodology RCM is applied. Having determined the critical equipments, it was possible to proceed to an analysis of failure modes and effects (FMEA); for which it is necessary to define the main and secondary functions; its failure modes, effects and potential fault causes. All this has been done in order to determine the maintenance plan to avoid potential failures, the plan consists of maintenance activities, frequencies and required experts. After applying the resultant plan a reduction was obtained of: 45% failure rate, 58% hours of stop and 80% in costs for maintenance and renting a truck hidrocleaner substitute. It is recommended to implement the RCM methodology in the rest of the vehicle fleet of the company.

Keywords: <RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE [RCM]>
<RELIABILITY>, <MAINTENANCE PLAN >, <HIDROCLEANER>, <FAILURE RATE>, <CRITICALITY ANALYSIS>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La empresa pública cuenca, fue creada en febrero de 1948, mediante Ordenanza; como Empresa Municipal de Electricidad, Agua Potable y Teléfonos –EMLAT-, que asumió la responsabilidad de los servicios de luz y energía eléctrica, agua potable y teléfonos. En 1964, la ordenanza fue derogada por la Municipalidad, sumiendo la administración de estos servicios la Dirección Financiera del Municipio de Cuenca.

Ante el crecimiento de la ciudad, en aquella época Cuenca tenía 80.000 habitantes y ocupaba una superficie de aproximadamente 1.000 hectáreas, y para satisfacer las necesidades de la población, se dota de obras como agua potable, alcantarillado y telefonía.

En enero de 1968, el Concejo de Cuenca, amparado en el Art. 194 de la Ley de Régimen Municipal, que facultaba a las Municipalidades constituir Empresas Públicas para garantizar una adecuada prestación de servicios públicos, aprueba la ordenanza para la creación de la Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado ETAPA EP. Siendo una empresa con atribuciones, funciones, autonomía financiera y personería jurídica. Actualmente, son más de 40 años, que la empresa ETAPA EP ha brindado varios servicios, siempre con el enfoque de cumplir con las demandas de la ciudadanía cuencana.

1.2 Problema de investigación

1.2.1 *Planteamiento del problema*

La Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento ETAPA EP, de la ciudad de Cuenca; es una empresa que fue fundada en febrero de 1948. Para el normal desarrollo de las actividades de los diferentes

departamentos; la empresa posee una flota vehicular cuya gestión de mantenimiento es controlado por el sistema de mantenimiento asistido por computador SisMAC, en el cual se registran hasta la fecha ciento veinte y nueve (129) vehículos; de los cuales diez (10) son del tipo hidrocleaner.

Estos equipos son importantes para la empresa por el servicio que prestan a la comunidad, realizando las funciones de succionar los desechos que existan en pozos y sumideros; y de limpiar tuberías con su sistema de alta presión. La mayoría de los hidrocleaners sobrepasan los veinte (20) años de operación, según los responsables de mantenimiento de estos vehículos, por lo que podría considerarse que están por finalizar su vida útil.

En el año 2010 se adquirió un nuevo hidrocleaner, cuyo código institucional es M654, el problema que presenta este vehículo, es el considerable número de fallas en los equipos que constituyen el hidrocleaner, del cual según los registros históricos de mantenimiento obtenidos del software SisMAC, se tienen registradas 12 fallas durante el periodo de operación correspondiente al año 2014.

Para los responsables de mantenimiento, el tener 12 fallas anuales, es considerado como un número significativo de fallas; lo cual ha impedido contar con el vehículo para atender emergencias como lo son reboces de pozos y sumideros, cuyas aguas residuales contienen agentes biológicos que son nocivos para la salud del ser humano y para el medio ambiente.

Al realizar el análisis del plan de mantenimiento preventivo actual, se evidencian que una de las causas que genera este problema son las deficiencias en la planificación de las actividades de mantenimiento preventivo que deben ejecutarse en el vehículo de M654, debido a que el actual plan de mantenimiento preventivo constan las tareas más básicas de lubricación, además de que el mismo fue elaborado sin seguir una metodología establecida, por lo cual resulta imperioso desarrollar un plan adecuado de mantenimiento a través de la metodología denominada “Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM)”, que minimice las fallas y sus efectos.

1.2.2 *Formulación del problema*

¿El desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) para los equipos críticos de un vehículo de la flota de Hidrocleaners de la empresa ETAPA EP permitirá reducir el número de fallas?

1.2.3 *Sistematización del problema*

Los problemas secundarios derivados del problema principal, están planteados en las siguientes preguntas:

¿Cómo el personal responsable del mantenimiento del vehículo Hidrocleaner Vactor M654 analiza y evalúa las fallas registrados en el software de mantenimiento SisMAC?

¿Cuáles son los equipos críticos del vehículo Hidrocleaner Vactor M654, que los responsables de mantenimiento han determinado?

¿Qué metodología emplean los responsables del mantenimiento para determinar las funciones y las fallas funcionales del vehículo Hidrocleaner Vactor M654?

¿Qué metodología emplean los responsables del mantenimiento para determinar las actividades de mantenimiento del vehículo Hidrocleaner Vactor M654?

1.2.4 *Justificación de la investigación*

La Empresa Pública ETAPA E.P. de la ciudad de Cuenca nació en 1948, para brindar los servicios de: luz eléctrica, telefonía, agua potable y alcantarillado a los habitantes de la ciudad de Cuenca. En la actualidad la ciudadanía de Cuenca recibe telefonía, agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, como los principales servicios que la empresa ETAPA EP brinda.

El servicio que presta ETAPA E.P. a la ciudad de Cuenca comprende:

- a. Recolección, conducción y disposición final de aguas residuales
- b. Construcciones de nuevas redes de alcantarillado para cubrir la demanda creciente.
- c. Operación y mantenimiento de las redes de alcantarillado
- d. Construcción y mantenimiento de sumideros, cámaras de inspección y demás estructuras hidráulicas.

El servicio de alcantarillado cuenta con una flota de camiones hidrocleaner cuyas funciones principales como se han mencionado anteriormente son: succionar los desechos que existan en pozos y sumideros y de limpiar tuberías con su sistema de alta presión.

Tomándose en cuenta que las aguas residuales contienen agentes biológicos como son microorganismos, hongos, parásitos, etc. que son nocivos para la salud del ser humano y para el medio ambiente; resulta de vital importancia asegurar la disponibilidad de los hidrocleaners para que cumplan sus funciones.

Con el propósito de evitar, por ejemplo: que un pozo o un sumidero reboce, causando contaminación ambiental y poniendo en peligro la salud de las personas, también se debe tomar en cuenta que el camión hidrocleaner almacena las aguas residuales succionadas y una falla en el sistema de succión, descarga o de almacenaje tendría también un gran impacto en el medio ambiente y en la salud de los seres humanos, por lo cual es imprescindible formular un plan de mantenimiento a través de una metodología como es el mantenimiento centrado en confiabilidad RCM que minimice la ocurrencia de fallas en este vehículo, considerado como importante, por las funciones que este realiza.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Desarrollar un plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) para los equipos críticos de un vehículo de la flota de Hidrocleaners de la empresa ETAPA EP, para reducir la tasa de fallos.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Para alcanzar el objetivo general, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar la tasa de fallos de un vehículo Hidrocleaner en un periodo de tiempo determinado en su contexto operacional, para obtener un KPI internacional normalizado que permita evaluar la situación actual.

2. Realizar un análisis de criticidad para identificar los equipos críticos de un vehículo Hidrocleaner a los que se aplicarán la metodología RCM.
3. Aplicar la metodología del Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM) según los criterios de la norma SAE-JA- 1011, para obtener la información necesaria para llenar la hoja de información y la hoja de decisión del RCM, que será la base para definir el plan de mantenimiento.
4. Proponer un plan de mantenimiento aplicable a los equipos catalogados como críticos de un vehículo Hidrocleaner, según los resultados de la metodología RCM, que reduzca la tasa de fallos.

1.4 Hipótesis

El desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM) para los equipos críticos de un vehículo Hidrocleaner, reduce la tasa de fallos.

Variable No. 1: Plan de mantenimiento (desarrollado con la metodología RCM)

Variable No. 2: Tasa de fallos.

1.5 Delimitación

La investigación se desarrolló en la flota de vehículos de la empresa ETAPA EP, empresa que se dedica a la provisión de servicios de telefonía, agua potable y alcantarillado; así como los servicios de reparación y mantenimiento asociados a estos. El trabajo se ha enfocado en la flota de camiones hidrocleaner, específicamente se ha tomado como caso de estudio al camión hidrocleaner M-654, para el cual se ha realizado un análisis de criticidad, para identificar los equipos críticos del vehículo; a los cuales se aplicará la metodología RCM (Mantenimiento basado en confiabilidad) para la determinación del plan de mantenimiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Breve historia del RCM – Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

El mantenimiento ha evolucionado desde 1930, se han identificado tres generaciones que destacan por sus diferentes maneras de administrar el mantenimiento (MOUBRAY, 1997).

La primera generación: Este periodo se desarrolla hasta la segunda guerra mundial. Los tiempos de inactividad de los equipos de los que se disponían, no se consideraba de gran impacto debido a que era una generación industrial poco mecanizada.

La confiabilidad de los equipos era alta, porque su diseño era bueno y simple, lo que también repercutía en la rapidez de las reparaciones, estos factores llevó a que en esta generación la prevención de fallas no era un asunto al cual los gerentes dieran tanto interés. El mantenimiento básicamente, consistía en la limpieza y lubricación, para lo cual no se requería disponer de personal de mantenimiento altamente calificado.

La segunda generación: Desde la segunda guerra mundial, surgió la necesidad del desarrollo de más equipamiento, al mismo tiempo que la disposición de mano de obra disminuyó. Estos aspectos, crearon la necesidad de mecanizar más actividades, multiplicando el número de máquinas y su complejidad; como consecuencia la industria se hacía dependiente de las máquinas creadas.

La inactividad de las máquinas, empezó a tener un impacto mayor debido a que la independencia creció y la necesidad de prevenir las fallas a través de un mantenimiento preventivo cobró importancia.

El mantenimiento preventivo empezó a aplicarse desde 1960, la acción preventiva que se realizaba era el reacondicionamiento de los equipos a intervalos fijos de tiempo, este tipo de mantenimiento hizo que los costos de mantenimiento se incrementaran, en

relación otros costos operativos. Este factor dio inicio a la planificación de mantenimiento y los programas de control. Prácticas que hasta el día de hoy se aplican y que son pilares del mantenimiento.

La tercera generación: Los cambios en la industria, que surgieron a mediados del año 1970, produjeron cambios en al área de mantenimiento a las que se les ha denominado “nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas”.

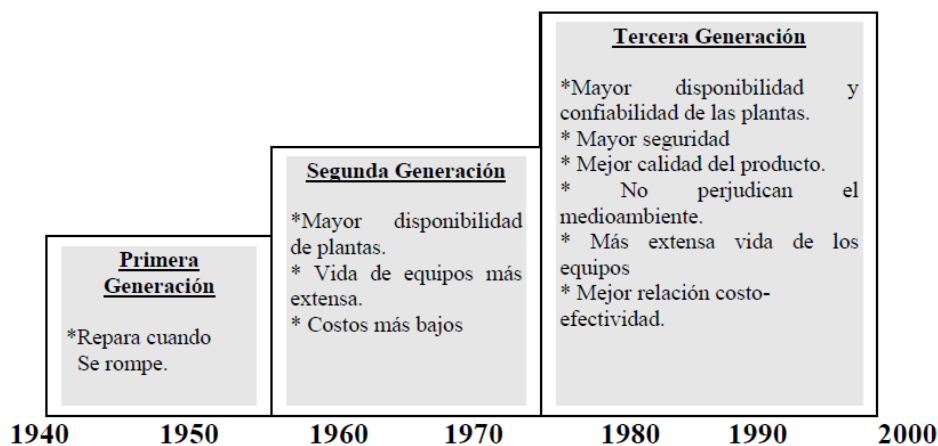


Figura 1-2 Expectativas crecientes en el mantenimiento.

Fuente: MOUBRAY, 1997.

Nuevas expectativas: Los efectos que el tiempo de inactividad producen, pueden clasificarse: efectos en la capacidad productivas de los bienes físicos, reducción en su rendimiento, incremento de costos operativos, afectación al servicio al cliente. Estos problemas ya se habían presentado en los años 1960 y 1970.

Planteamientos claves como garantizar el funcionamiento y la disponibilidad, son esenciales en sectores diversos como: salud, procesamiento de datos, telecomunicaciones y administración de edificios.

La mayor automatización de procesos, implican que se dispondrán de un mayor número de fallos, lo que al mismo tiempo reduce la capacidad de mantener elevados estándares de calidad, ya sea en servicios o productos.

Los fallos, tienen consecuencias en diferentes ámbitos, no solo productivos y medio ambientales, sino también ambientales y de seguridad. Lo que se buscan con el

mantenimiento es la reducción del número de fallos y por ende la reducción de las consecuencias y sus impactos.

Nueva investigación: Las nuevas investigaciones se han enfocado en determinar la relación entre el número de fallos y la edad del equipo. Las investigaciones han demostrado que no es preciso relacionar la edad operativa de los equipos con el número de fallos. Hasta seis modos de fallas pueden producirse por realizar las actividades de mantenimiento preventivas. Hacer correctamente las actividades de mantenimiento, no es lo mismo que hacer las correctas de mantenimiento.

Nuevas técnicas: En los últimos veinte años se han desarrollado nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento. El énfasis que ponen las nuevas técnicas es en las reparaciones y en la administración del mantenimiento. Nuevos proyectos incluyen a:

- Herramientas para toma de decisiones
- Nuevas técnicas de mantenimiento
- Diseño de equipos con énfasis, en mantenibilidad y confiabilidad
- Renovación del pensamiento organizacional

2.2 Historia del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

2.2.1 *Historia del RCM*

Según la norma SAE JA 1011 (SAE:JA1011, 1999), el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, (MCC) o en inglés RCM (Reliability Centred Maintenance); fue desarrollado con el objetivo de mejorar la seguridad y la confiabilidad de los equipos de la industria de la aviación.

Fue documentado por primera vez en 1978, escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de U.S. en 1978. A lo largo de los años, ha sido empleado en diferentes áreas de trabajo con el propósito de formular estrategias de mantenimiento de activos físicos, en casi todos los países industrializados.

En la actualidad, existen normas como la SAE JA 1011 y SAE JA 1012 en las que se describen los criterios mínimos que debe cumplir un proceso para que sea considerado como RCM. Aunque la misma norma SAE JA 1011, indica que no intenta definir un proceso específico; la norma SAE JA 1012, es una Guía que amplifica, y donde se realizan aclaraciones a conceptos y términos clave, especialmente las que son exclusivas de RCM (SAE:JA1012, 2002).

2.3 Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM

Todo procedimiento para el desarrollo de la metodología RCM, debe responder a las siete preguntas que ha definido RCM, es obligatorio seguir el orden que plantea la norma (SAE:JA1011, 1999), en la **tabla 1-2**, se indican las preguntas y el orden:

Tabla 1-2: Las siete preguntas del RCM.

Número de pregunta	Descripción de la pregunta	Requisito
1	¿Cuáles con las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?	Funciones
2	¿De qué manera puede fallar al cumplir sus funciones?	Fallos funcionales
3	¿Cuál es la causa de cada fallo funcional?	Modos de fallo
4	¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo?	Efectos de fallo
5	¿De qué manera afecta cada fallo?	Consecuencias
6	¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada fallo?	Tareas proactivas y frecuencias de ejecución
7	¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?	Acciones predeterminadas

Fuente: SAE:JA1011, 1999

Elaborado por: VILLACRÉS, Sergio, 2016.

Un fallo es definido como “*la incapacidad de un bien de cumplir con las funciones que el usuario espera realice*” (MOUBRAY, 1997), por tal razón lo primero que se debe realizar en el proceso de la aplicación de la metodología RCM, es definir las funciones del activo, éstas indicarán cuándo se ha producido un fallo.

2.3.1 Las funciones

Para responder a la primera pregunta que plantea la metodología RCM; se deben definir las funciones de un activo, según la norma SAE:JA1011,1999; una función es lo que el usuario desea que el activo haga, en la **tabla 2-2** se identifican los aspectos que involucran definir las funciones de un activo.

Tabla 2-2: Aspectos a considerar para definir las funciones de un activo.

Funciones de un activo
Definir el contexto operacional de un activo.
Identificar todas las funciones del activo/sistema (todas las funciones primarias y secundarias, incluyendo las funciones de todos los dispositivos de protección).
Todos los enunciados de una función deben contener un verbo, un objeto, y un estándar de desempeño (cuantificado en cada caso que se pueda hacer).
Los estándares de desempeño incorporados en los enunciados de una función deben tener el nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario del activo/sistema en su contexto operacional.

Fuente: SAE:JA1011, 1999

Elaborado por: VILLACRÉS, Sergio, 2016.

Contexto operacional: Para aplicar la metodología RCM, se debe primeramente definir el contexto operacional del activo que vamos a analizar, esto es definir por parte del usuario qué se desea que el activo haga, sin sobrepasar las características de diseño del mismo, pero considerando el ámbito en el que se desempeña el equipo.

2.3.2 *Los fallos funcionales*

El orden de responder a las preguntas de la metodología RCM, es indispensables ya que la respuesta de la segunda pregunta se deriva de la respuesta de la primera pregunta, al establecer un estándar en cuanto al funcionamiento de un activo, el fallo funcional es el incumplimiento a la función requerida, así lo indica la literatura al afirmar que “*Una falla funcional se define como la incapacidad de todo bien de cumplir una función a un nivel de desempeño aceptable por el usuario*” (MOUBRAY, 1997). En el caso que el activo siga funcionando, pero si no cumple con el desempeño deseado, ya se considera un fallo funcional (UNE 20812, 1995).

2.3.3 *Los modos de fallo*

Cuando ha ocurrido un fallo funcional, lo que se debe hacer es identificar qué es lo que causa este fallo funcional, a la causa se le llama modo de fallo y es definido como “*cualquier suceso que cause una falla funcional*” (MOUBRAY, 1997).

Tabla 3-2: Aspectos a considerar para definir los modos de fallo de un activo.

Modos de fallo
Identificar los modos de falla “probables” que puedan causar cada falla funcional.
El método utilizado para decidir que constituye un modo de falla “probable” debe ser aceptado por el dueño o usuario del activo
Identificar los modos de falla en un nivel de causalidad que haga posible identificar una política de manejo de fallas apropiada.
Las listas de los modos de falla deben incluir los modos de falla que han ocurrido antes, los modos de falla que están siendo prevenidos actualmente por la existencia de programas de mantenimiento, y los modos de falla que no han ocurrido aún pero que se piensan probables (creíbles) en el contexto operacional.
Las listas de los modos de falla deben incluir cualquier evento o proceso que probablemente pueda causar una falla funcional, incluyendo deterioro, defectos de diseño, y errores humanos que pueden ser causados por operadores o mantenedores (a menos que el error humano esté siendo activamente dirigido por un proceso analítico aparte del RCM).

Fuente: SAE:JA1011, 1999

Elaborado por: VILLACRÉS, Sergio, 2016.

2.3.4 *Los efectos del fallo*

Una vez que se han identificado los modos de fallo, se debe describir qué sucede cuando se presentan los modos de fallo. Un efecto del fallo, no debe ser confundido con las consecuencias de un fallo. El efecto del fallo responde a la pregunta, ¿qué sucede cuando

se presenta el modo de fallo?, mientras que las consecuencias se refieren a los efectos que el modo de fallo tiene en áreas como: operativa, económica, seguridad y medio ambiente (Moubray, 1997).

Tabla 4-2: Aspectos a considerar para definir los modos de fallo de un activo.

Efectos de fallo
Los efectos de falla deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la falla.
Los efectos de falla deben incluir toda la información necesaria para soportar la evaluación de las consecuencias de la falla, tales como: a. ¿Qué evidencia (si existe alguna) que la falla ha ocurrido (en el caso de funciones ocultas, que podría pasar si ocurre una falla múltiple)? b. ¿Qué hace (si ocurre algo) para matar o dañar a alguien, o para tener efectos adversos en el ambiente? c. ¿Qué hace (si hace algo) para tener un efecto adverso en la producción o en las operaciones? d. ¿Qué daño físico (si existe alguno) causa la falla? e. ¿Qué (si existe algo) debe ser hecho para restaurar la función del sistema después de la falla?

Fuente: SAE:JA1011, 1999

Elaborado por: VILLACRÉS, Sergio, 2016.

Para realizar la recolección de información, la metodología RCM ha desarrollado una hoja informativa, en el que se presente un resumen de las funciones, fallos funcionales, modos de fallo, efectos y consecuencias.

Tabla 5-2: Hoja de información RCM.

Hoja de Información RCM	Área		Sistema n°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°	
	Sistema		Subsistema n°	Auditor:	Fecha:	de	
Función	Falla funcional		Modo de falla	Efecto de falla			
1	A		1				
			2				
			:				
	B			1			
				2			
				:			
	C			1			
				:			
				n			
	D			1			
				2			
				:			
			n				

Fuente: MOUBRAY, 1997

Elaborado por: VILLACRÉS, Sergio, 2016.

La hoja de información permite, establecer un código para la función y lo que de ello se deriva, por ejemplo: el código **1A1**, se refiere a la función número 1; A, se refiere al fallo funcional A de la función 1 y el tercer dígito, se refiere al modo de fallo 1 del fallo funcional A.

2.3.5 Las consecuencias del fallo

Las consecuencias de cada modo de fallo responden a la pregunta ¿De qué manera afecta cada fallo?, entonces las consecuencias son determinantes para el usuario o dueño para catalogar si los fallos son importantes o no.

Será necesario evaluar dos aspectos:

1. Si vale la pena realizar actividades proactivas para reducir las consecuencias: Si fuese posible reducir los efectos de un fallo, en lo relacionado a su frecuencia de ocurrencia y severidad, consecuentemente se podrán reducir las consecuencias, especialmente cuando la se refiera a consecuencias graves para la seguridad humana, ambiental o económica. Existe la posibilidad que las consecuencias que se deriven de un fallo sean insignificantes; en tal caso la mejor estrategia será un mantenimiento correctivo, dejar que el fallo ocurra para luego realizar las correcciones (MOUBRAY, 1997).

2. Si las actividades proactivas son técnicamente posibles de realizar: Se debe investigar si físicamente es posible aplicar una tarea proactiva que reduzca la consecuencia de los fallos a un grado que sea aceptable por el usuario o dueño del bien.

Las consecuencias deben ser formalmente categorizadas como sigue (SAE:JA1011, 1999):

- Consecuencias provocadas por modos de fallo ocultos y modos de fallo evidentes.
- Consecuencias que tengan afecto sobre la seguridad y/o el ambiente, debe ser distinguidas de los que sólo tengan consecuencias económicas (consecuencias operacionales y no operacionales).
- La valoración de las consecuencias de falla se debe llevar a cabo como si ninguna tarea específica se esté llevando a cabo actualmente para anticipar, prevenir o detectar la falla.

2.3.6 *Funciones evidentes y consecuencias de un fallo*

Según J. Moubray, una función evidente *“es aquella cuya falla es inevitablemente evidente por sí misma para los operarios bajo circunstancias normales”*.

La literatura clasifica en tres categorías a las funciones evidentes, su grado de importancia va en orden descendente (MOUBRAY, 1997; SAE:JA101, 1999):

1. **Consecuencias a la seguridad humana y medioambiente:** Se dice que un fallo tiene consecuencias de seguridad humana, cuando el fallo puede dañar o terminar con una vida. Mientras que las consecuencias en el área medioambiental, podrán ser verificadas si el fallo pudiera llevar a una violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional o nacional.
2. **Consecuencias Operativas:** Las consecuencias operativas se encuentran en segundo lugar en grado de importancia. Se afirmará que un fallo tiene consecuencias operativas, si afecta la producción o las operaciones (rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente, o costos operativos, además del costo directo de reparación).
3. **Consecuencias no operativas:** Un fallo de esta categoría no afecta ni a la seguridad, ni a la producción, implica únicamente costos directos de reparación.

2.3.6.1 *Funciones ocultas*

Según J. Moubray, una función oculta “*es aquella cuya falla no será evidente a los operarios bajo circunstancias normales si esta se presenta por sí misma*”, generalmente el fallo será evidente cuando ocurre otro fallo, que evidenciará la función oculta, al presentar un fallo asociado a esta función. Este tipo de función está ligado a equipos de protección que se ponen funcionamiento que existe un fallo en el equipo al que protege (MOUBRAY, 1997).

Los equipos de protección, generalmente son empleados para:

- Alertar a los operadores de condiciones anormales del equipo protegido.
- Apagar el equipo en caso de fallo.
- Eliminar o aliviar las condiciones anormales que siguen a un fallo y que podrían causar daños más serios.
- Reemplazar una función que fallo.
- Prevenir la aparición de situaciones de peligro.

2.3.7 *Selección de las políticas de manejo de fallas*

Una vez que se han identificado las funciones, modos de fallo y efectos; así como las consecuencias de un fallo, el procedimiento continúa con la selección de la política de manejo de fallas, para lo cual se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos (SAE:JA1011, 1999):

- La probabilidad condicional de algunos modos de fallo del equipo se incrementará con el tiempo (o con la exposición al esfuerzo),
- La probabilidad condicional de que otros modos de fallo del equipo no cambiará con el tiempo
- La probabilidad condicional de que otros modos de fallo del equipo tampoco decrecerá con el tiempo.

- Todas las tareas programadas deben ser técnicamente factibles, es decir que sean aplicables al equipo y que valgan la pena hacerlas, es decir que sean efectivas en tratar la causa del fallo.
- Si dos o más políticas de manejo de fallas propuestas son técnicamente aplicables y efectivas, se deberá optar por la selección de la política que sea mejor costo-efectiva.
- La selección de las políticas de manejo de fallas debe llevarse a cabo como si ninguna tarea específica estuviese realizándose actualmente para anticipar, prevenir o detectar la falla del equipo.

2.3.8 Política de manejo de fallas – Tareas programadas

Todas las tareas programadas deben cumplir con los siguientes criterios (SAE:JA1011, 1999):

- Cuando las consecuencias de un modo de fallo tiene efectos sobre la seguridad o el medio ambiente, se debe plantear una tarea que reduzca la probabilidad de ocurrencia del modo de fallo hasta un nivel aceptable para el dueño o usuario del activo.
- Cuando las consecuencias de un modo de fallo que se ocasione un modo de fallo múltiple asociado provocado por un fallo oculto afecta a la seguridad y medio ambiente, se debe plantear una tarea que reduzca la probabilidad de ocurrencia a un nivel que se disminuya la probabilidad de ocurrencia del fallo múltiple asociado, a un nivel que se ha tolerable para el dueño y el usuario.
- Para los modos de fallo que no tengan consecuencias en la seguridad y medio ambiente, se debe verificar que los costos de la tarea que se propone, sea menor que los costos directos o indirectos del modo de fallo, calculados en periodos comparables de tiempo, en caso de ser así la tarea es aplicable.
- Para el caso en el que no se produzcan consecuencias para la seguridad y medio ambiente, en presencia de un modo de fallo oculto que genere un fallo múltiple asociado; los costos directos o indirectos de las tareas que se planteen deben ser menores que los costos directos e indirectos de una falla múltiple más los costos de reparación del fallo oculto, calculado en un periodo de tiempo que sea comparable.

2.3.9 *Manejo de fallas – Cambios una vez y operar hasta fallar*

La aplicación de tareas programadas, no siempre son las más efectivas; por lo que otro tipo de tareas que se pueden adoptar dentro de la política de fallo, es el cambio del sistema o equipo, este tipo de estrategia debe contemplar los siguientes criterios (SAE:JA1011, 1999):

- En los casos donde la falla es oculta, y la falla múltiple asociada tiene consecuencias en la seguridad y en el ambiente, es mandatorio cambios una vez que reduzcan la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable para el dueño o usuario del activo.
- En los casos donde el modo de falla es evidente y tiene consecuencias en la seguridad y en el ambiente, es mandatorio cambios una vez que reduzcan la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable para el dueño o usuario del activo.
- En casos donde el modo de falla es oculto y la falla múltiple asociada no tiene consecuencias en la seguridad ni en el ambiente, cualquier cambio una vez debe ser costo-efectivo en opinión del dueño o usuario del activo.
- En casos donde el modo de falla es evidente y no tiene consecuencias en la seguridad ni en el ambiente, cualquier cambio una vez debe ser costo-efectivo en opinión del dueño o usuario del activo.

Otra manera que se considera para el manejo de fallo es “operar hasta fallar”, esta política debe aplicarse cuando satisfaga los criterios apropiados como sigue:

- Para el caso, en donde el fallo es oculta y no exista ninguna tarea programada apropiada, la falla múltiple asociada no debe tener consecuencias en la seguridad ni el ambiente, entonces se operará hasta que el equipo o sistema falle.
- En casos donde la falla es evidente y no hay ninguna tarea programada apropiada, el modo de falla asociado no debe tener consecuencias en la seguridad ni en el ambiente, entonces se operará hasta que el sistema o equipo falle.

2.3.10 *Un programa de vida*

Una vez que se ha implementado la metodología RCM, en cualquier tipo de infraestructura, se deberá realizar revisiones periódicas, debido a que (SAE:JA1011, 1999):

- a) En la mayoría de casos, la información que inicialmente se emplea para la aplicación de la metodología RCM, es imprecisa; una vez que se inicia con el proceso y se continúa en él, será posible disponer de datos más precisos al transcurrir el tiempo.
- b) La aplicación de la metodología RCM, se realiza inicialmente con determinadas expectativas en cuanto a funcionamiento y desempeño de un sistema o equipo, esto puede cambiar al transcurrir el tiempo; así como la manera en la que es operado el equipo.
- c) La evolución que la tecnología de mantenimiento es constante a través del tiempo.

Por estas razones la metodología RCM, debe ser frecuentemente sometida a revisión, las decisiones que se han tomado así como los documentos de sustento de las políticas de manejo de fallos.

2.4 El grupo de trabajo como componente del RCM

Parte de la metodología RCM, indica la conformación de grupo trabajo, quienes generalmente lo forman, son las personas que conocen los sistemas, que incluye a personal de mantenimiento y operaciones o producción, quienes son capaces de responder a las siete preguntas que plantea el RCM, con entrenamiento sobre lo que se desea lograr, al responder cada pregunta.

La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de que deben de tener un amplio conocimiento de los equipos que se están estudiando. Cada miembro del grupo deberá también haber sido entrenado en RCM. El uso de estos grupos no sólo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte de forma extraordinaria los problemas del mantenimiento y sus soluciones, según lo indica Moubray, 2000.

La conformación típica de un grupo de revisión RCM se muestra en la **figura 2-2**:

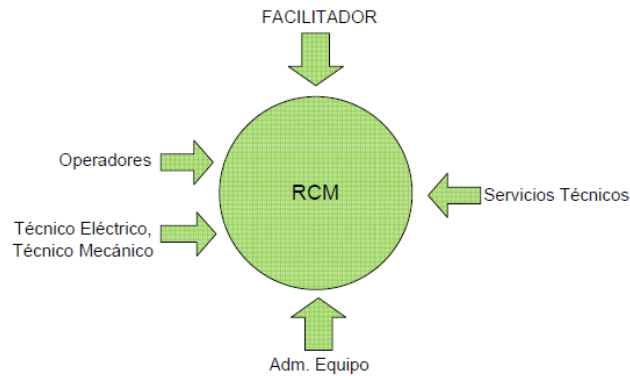


Figura 2-2 Conformación del grupo de trabajo RCM.
Fuente: ROJAS, 2010.

2.5 Tasa de fallos

Todos los equipos en algún momento, presentan fallos; entendiéndose como un fallo al “cese en la capacidad de un elemento para desarrollar una función requerida” (UNE-EN 13306, 2002). El número de fallos puede ser evaluado a través de un indicador, que se obtiene matemáticamente relacionando el número de fallos y un tiempo de operación determinado del equipo.

$$\lambda = \frac{T_f}{T_p} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

En donde:

λ : tasa de fallos (fallos/horas)

T_f : número de fallos totales en el periodo de análisis

T_p : periodo analizado

2.6 Análisis de criticidad de los equipos

El propósito de la presente investigación, está orientada a desarrollar una propuesta de planificación de mantenimiento de los equipos que se denominarán críticos. Para lo cual será necesario realizar un análisis de criticidad. Un análisis de criticidad es una metodología, que puede ser cualitativa o cuantitativa; que se emplea para identificar una jerarquía de criticidad de instalaciones, sistemas, equipos, etc.

La evaluación se realiza a través de la estimación de la ocurrencia de fallas de un periodo de tiempo determinado, y la evaluación del impacto del fallo en el área operativa, económica, de seguridad humana y medio ambiente. La determinación de una jerarquía de criticidad de los sistemas, equipos, etc. servirá como un instrumento para la toma de decisiones, así como para el direccionamiento del esfuerzo y los recursos (AGUERO Y CALIXTO, 2007).

Una vez que se han definido la frecuencia de fallo y el grado de impacto que presente en las diferentes áreas de interés que se analizan, se determina el grado de criticidad a través de la siguiente expresión matemática:

Tabla 6-2: Criterios y cuantificación

Criterios para determinar la criticidad	Cuantificación
<u>Frecuencia de fallas:</u>	
* Mayor a 4 fallas/mes	4
* 2-4 fallas/mes	3
* 1-2 fallas/mes	2
* Mínimo 1 falla/mes	1
<u>Impacto operacional:</u>	
* Parada inmediata de toda la empresa	10
* Parada de la planta(recuperable en otras plantas)	8
* Impacto en los niveles de producción o calidad	6
* Repercute en costos operacionales adicionales (insdisponibilidad)	3
* No genera ningún efecto o impacto significativo sobre las demás operaciones.	1
<u>Flexibilidad operacional:</u>	
* No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	5
* Hay opción de producción a la capacidad mínima permisible	4
* Hay opción de repuesto compartido	3
* Función de repuesto disponible	1
<u>Costo de mantenimiento:</u>	
* Mayor o igual a \$ 3.000,00	2
* Menor a \$ 3.000,00	1
<u>Impacto en la seguridad humana y ambiente:</u>	
* 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

Fuente: AGUERO Y CALIXTO, 2007

Realizado por: Sergio Villacrés

$$\text{Críticidad total} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Ecuación 2-2

$$\text{Críticidad total} = \text{Frecuencia} \times [(\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo Mantenimiento} + \text{Impacto SEH}]$$

Ecuación 3-2

Una vez que se obtiene el valor total de criticidad, se determina el grado de criticidad de los elementos analizados, a través de la matriz que se indica en la figura 3-2.

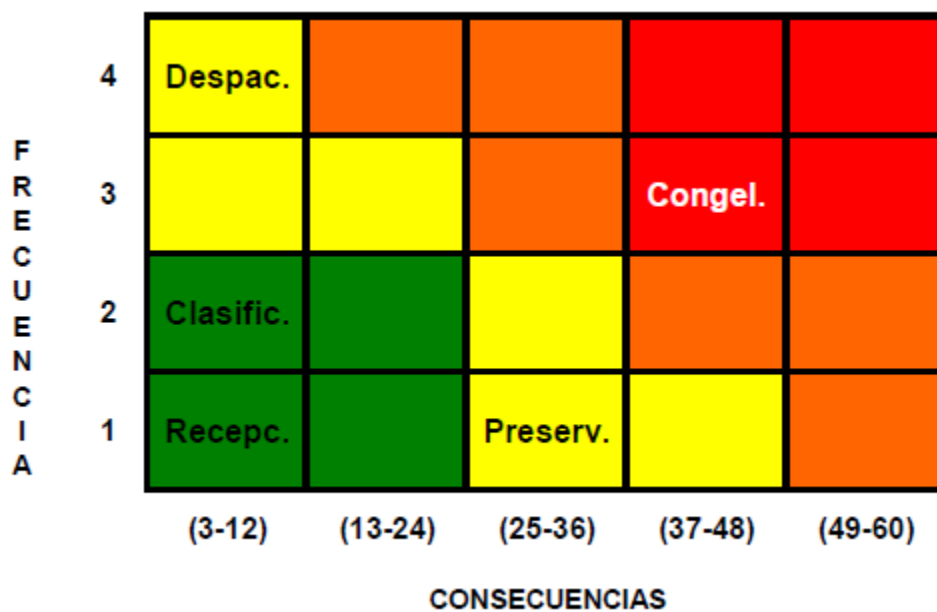


Figura 3-2 Matriz de criticidad.
Fuente: AGUERO Y CALIXTO, 2007

La matriz de criticidad, se expresa una gama de colores que representan un grado de criticidad:

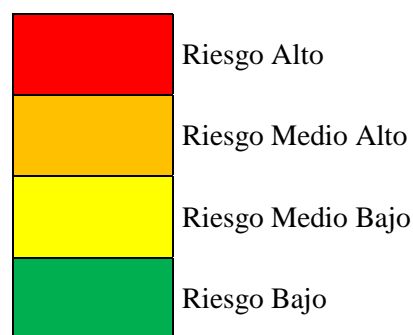


Figura 4-2 Matriz de criticidad.
Fuente: AGUERO Y CALIXTO, 2007

2.7 Metodología de estudio

2.7.1 Tipo de investigación

El enfoque de este trabajo de investigación es del tipo mixto, que aborda aspectos cuantitativos, al realizar la estimación de la tasa de fallos para un periodo de tiempo considerado, así como la determinación de los costos de mantenimiento de un vehículo hidrocleaner M654 de la empresa ETAPA EP. La parte cualitativa, corresponde a la selección de un caso de estudio, a través de un análisis de criticidad.

2.7.2 Método de investigación

El método empleado para llevar a cabo el presente trabajo de investigación, será deductivo: de lo general a lo particular. Se aplicarán técnicas de investigación como:

- Entrevistas al personal técnico y administrativo, relacionado con la administración de los vehículos de la empresa ETAPA EP.
- Análisis cuantitativo de los datos registrados en el software para gestión de mantenimiento SisMAC, para determinar la tasa de fallos en el periodo 2014 y 2015.
- Entrevistas a especialistas el área de mantenimiento del tipo de activo considerado para este estudio.
- Aplicación de criterios metodológicos internacionales del RCM (Mantenimiento Basado en Confiabilidad), a los equipos críticos del vehículo hidrocleaner M654.

La metodología de RCM, es la descrita en la norma *SAE-JA 101* y *SAE-JA 1012*.

El presente trabajo de investigación se desarrolla a través de la aplicación del método que aquí se describe y consta de los siguientes puntos:

1. Determinar la tasa de fallos de un vehículo Hidrocleaner en un periodo de tiempo determinado en su contexto operacional, para obtener un KPI internacional normalizado que permita evaluar la situación actual. Para determinar la tasa de fallos del Hidrocleaner Vactor M654, se recurrirá a los datos ingresados durante el periodo 2014 en el software de gestión de mantenimiento denominado SisMAC, y

adicionalmente se revisará los registros manuales que el personal del taller de mecánica automotriz de ETAPA EP. En función de esta información se procederá a cálculo de la tasa de fallos, a través de un análisis cuantitativo.

2. Realizar un análisis de criticidad para identificar los equipos críticos de un vehículo Hidrocleaner a los que se aplicarán la metodología RCM. El vehículo objeto de este estudio, está compuesto por diferentes equipos y sistemas que interactúan entre sí. Este trabajo de investigación se va a centrar en los equipos o sistemas más críticos del vehículo, para lo cual se definirán de manera conjunta con los técnicos de la empresa ETAPA EP, los criterios que deben constar en la matriz de criticidad, para lo cual se realizarán entrevistas.

Una vez elaborada la matriz, se procederá a la aplicación de la misma, para determinar la criticidad de cada equipo y sistema, lo cual permitirá la determinación de los equipos más críticos, los mismos que serán objeto de la aplicación de la metodología RCM.

3. Aplicar la metodología del Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM) según los criterios de la norma SAE-JA- 1011, para obtener la información necesaria para llenar la hoja de información y la hoja de decisión del RCM, que será la base para definir el plan de mantenimiento.

Esta fase exige una activa participación del personal de la empresa ETAPA E.P. por lo cual se iniciará definiendo las personas que integran el grupo de trabajo de RCM, luego de lo cual se capacitará al mismo en la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, una vez que se cuente con el grupo de trabajo debidamente capacitado se procederá a definir los siguientes aspectos del camión Vactor M654:

- a. Descripción del funcionamiento del Hidrocleaner Vactor M654
- b. El contexto operacional del camión Vactor M654.
- c. Las funciones
- d. Las fallas funcionales
- e. Modos de Fallo

- f. Fallas Funcionales
- g. Efecto de la falla

Toda la información será registrada en la hoja de información RCM, que se observa en la **tabla 5-2**.

4. Proponer un plan de mantenimiento aplicable a los equipos catalogados como críticos de un vehículo Hidrocleaner, según los resultados de la metodología RCM, que reduzca la tasa de fallos. Una vez que se haya recopilado y registrado la información generada por el grupo natural de trabajo se procederá a determinar las tareas de mantenimiento que constituirán el plan de mantenimiento que será analizado para ver su efectividad en lo referente a reducir la tasa de fallos.

CAPÍTULO III

3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM

3.1 Breve descripción de la empresa ETAPA EP

La Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento ETAPA EP, tiene operaciones en la ciudad de Cuenca y en ciertas áreas rurales de la provincia del Azuay, los servicios que presta son (ETAPA EP, 2015):

- Agua potable
- Alcantarillado
- Saneamiento
- Gestión Ambiental
- Telefonía
- Internet Residencial
- Internet Móvil
- Televisión digital

Cuenta con una flota de aproximadamente 129 vehículos los cuales en su mayoría facilitan el transporte de personal, herramientas y equipos necesarios para ejecutar las diferentes operaciones de empresa.

3.2 Flota de vehículos

Lo flota vehicular de ETAPA E.P está compuesta por: camionetas, camiones, maquinaria pesada, motos e Hidrocleaner que suman un total de 129 vehículos, que contribuyen al desempeño de los diferentes servicios que brinda la empresa ETAPA E.P.

En las tablas: tabla 1-3, tabla 2-3, tabla 3-3, tabla 4-3 se presenta la lista de los vehículos, en donde se indican el departamento al que corresponden, así como la descripción de sus características más relevantes.

Tabla 1-3: Listado de vehículos de la empresa ETAPA EP

Dpto.	Ítem	Cód.	Descripción
ADMINISTRACIÓN	1	M-101	M101 AMA-1964 SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.4L 5P TA 4X4 Motor: J24B1107828 Chasis: 8LDCK8370B0078
	2	M-100	M100 AMA-0552 TOYOTA LAND CRUISER 100 Motor: 2UZ1147775 Chasis: JTEHT05JX72099402 Color: BEIGE
	3	M-102	M102 AMA-0555 TOYOTA LAND CRUISER PRADO VX T/M Motor: 1863703 Chasis: 9FH11VJ9579015093
	4	M-910	M910 HYUNDAI H1 DIESEL TM 4X2 Motor: D4BHC019938 Chasis: KMJWA37HADU484831
	5	M-103	M103 AMA-0556 TOYOTA LAND CRUISER PRADO VX T/M Motor: 1864002 Chasis: 9FH11VJ9579015395
	6	M-104	M104 AMA-0576 TOYOTA E6P LAND CRUISER PRADO 5P TM Motor: 1864956 Chasis: 9FH11VJ9589016293
	7	M-105	M105 AMA-0591 SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P Motor: J20A654257 Chasis: 8LDCK135790013577
	8	M-107	M107 AMA-1963 CHEVROLET LUV DMAX 3.0L DIESEL CD TM 4X4 Motor:4JH1980874 Chasis: 8LBETF3E1B0099468
COMERCIALIZACION	9	MO1201	MO-1201 GA835C A-009809 YAMAHA DT175 Motor: 3TK026839 Chasis: 9FK3TK11571026839
	10	M-400	M400 AMA-0577 TOYOTA E6P LAND CRUISER PRADO 5P TM Motor: 1864947 Chasis: 9FH11VJ9589016291
	11	M-404	M404 AULA MOVIL VOLKSWAGEN Motor: G1T141560 Chasis: 9532F82W2CR242730
	12	M-405	M405 HINO FC9JISA Motor: J05ETC18489 Chasis: 9F3FC9JJSDDXX15546
	13	M-401	M401 AMA-0570 TOYOTA BPT HILUX 4X4 CD AA Motor: 2TR6488492 Chasis: MR0FX22G181012564
	14	M-402	M402 AMA-0546 CHEVROLET LUV D-MAX C/D V6 4X4 Motor: 6VE1252250 Chasis: 8LBETF1G760003014
	15	M-403	M403 AMA-0560 HINO GD1JLUA Motor: J08CTW14905 Chasis: JHDGD1JLU7XX11048
	16	MO1401	MO-1401 A-007203 SUZUKI TS-125 Motor: F103225157 Chasis: 9FSSF11AA93C091490
	17	MO1402	MO-1402 GA834C A-006785 SUZUKI TS-185 Motor: TS1852152671 Chasis: TS185SC18028
TELECOMUNICACIONES	18	M-500	M500 AMA-0575 TOYOTA E6P LAND CRUISER PRADO 5P TM Motor: 1864972 Chasis: 9FH11VJ9589016295
	19	M-501	M501 AMA-0500 TOYOTA LAND CRUISER PRADO GX 3P Motor: 2864221 Chasis: 9FH11UJ9039001557
	20	M-502	M502 AMA-0207 TOYOTA HILUX 4X2 CS Motor: 417306022R Chasis: RN855156360
	21	M-503	M503 AMA-0542 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 268983 Chasis: 9GDNPR7196B004983
	22	M-504	M504 AMA-0547 CHEVROLET LUV D-MAX CD V6 4X4 Motor: 6VE1252410 Chasis: 8LBETF1G760003059
	23	M-505	M505 AMA-0565 CHEVROLET LUV D-MAX CD V6 4X4 Motor: 6VE1274236 Chasis: 8LBETF1G680006571

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Realizado por: VILLACRÉS, SERGIO, 2016.

Tabla 2-3: Listado de vehículos de la empresa ETAPA EP

Dpto.	Ítem	Cód.	Descripción
AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO	24	M-506	M506 AMA-0592 CHEVROLET LUV D-MAX 3.5L V6 CD 4X4 Motor: 6VE1285545 Chasis: 8LBETF3G790021739
	25	M-201	M201 AMA-0233 CHEVROLET LUV C/D 4X2 T/M Motor: 4ZD1375517 Chasis: TFR16HD957106511
	26	M-600	M600 AMA-1069 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DIESEL CD Motor: 4JH1917435 Chasis: 8LBETF3E6B0066515
	27	M-601	M601 AMA-0599 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DIESEL CD Motor: 4JH1796618 Chasis: 8LBETF3EX90028358
	28	M-602	M602 AMA-1034 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DIESEL CD Motor: 4JH1916884 Chasis: 8LBETF3E5B0066523
	29	M-603	M603 AMA-1036 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DIESEL CD Motor: 4JH1918338 Chasis: 8LBETF3F0B0067376
	30	M-604	M604 AMA-1038 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DIESEL CD Motor: 4JH1917947 Chasis: 8LBETF3F0B0067393
	31	M-605	M605 AMA-0108 TOYOTA STOUT Motor: 4Y0355186 Chasis: YK1109005904
	32	M-606	M606 AMA-0523 TOYOTA HILUX 4X4 CD Motor: 3417439 Chasis: 9FH33UNG868009791
	33	M-607	M607 AMA-0537 TOYOTA HILUX 4X4 CD Motor: 3417546 Chasis: 9FH33UNG868009792
	34	M-608	M608 AMA-0538 TOYOTA HILUX 4X4 CD Motor: 3419159 Chasis: 9FH33UNG868010016
	35	M-609	M609 AMA-0600 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DIESEL 4X4 Motor: 4JH1796671 Chasis: 8LBETF3E990028464
	36	M-610	M610 AMA-0539 TOYOTA HILUX 4X4 CD Motor: 3417497 Chasis: 9FH33UNG868009793
	37	M-611	M611 AMA-0540 TOYOTA HILUX 4X4 CD Motor: 3419231 Chasis: 9FH33UNG868010020
	38	M-612	M612 AMA-0557 CHEVROLET LUV DMAX CD V6 4X4 Motor: 6VE1235730 Chasis: 8LBETF1G370005117
	39	M-614	M614 AMA-0541 TOYOTA HILUX 4X4 CD Motor: 3417532 Chasis: 9FH33UNG868009795
	40	M-615	M615 AMA-0501 NISSAN C/D 4X2 M/T Motor: KA24110919A Chasis: 3N6CD13S33K047974
	41	M-616	M616 AMA-0593 CHEVROLET LUV D-MAX 3.5L V6 CD 4X4 Motor: 6VE1285544 Chasis: 8LBETF3G390021740
	42	M-617	M617 AMA-0594 CHEVROLET LUV D-MAX 3.5L V6 CD 4X4 Motor: 6VE1285538 Chasis: 8LBETF3G590021741
	43	M-618	M618 AMA-0543 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 268663 Chasis: 9GDNPR7126B004985
	44	M-619	M619 AMA-0601 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DIESEL 4X4 Motor: 4JH1-796500 Chasis: 8LBETF3E290028466
45	M-620	M620 AMA-0221 TOYOTA HILUX 4X2 CS Motor: 2Y00779196 Chasis: YN800007503	
46	M-621	M621 AMA-0562 TOYOTA AA HIACE DIESEL CARGA Motor: 5L6045038 Chasis: JTFHK02P180003631	

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Realizado por: VILLACRÉS, SERGIO, 2016.

Continuará

Continúa

Dpto.	Ítem	Cód.	Descripción
AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO	47	M-622	M622 AMA-0516 FORD LN8000 Motor: 44936415 Chasis: 1FDYR82E3RVA28970
	48	M-623	M623 AMA-0517 FORD LN8000 Motor: 44941908 Chasis: 1FDYR82E7RVA28969
	49	M-624	M624 AMA-0016 MAN KROLL 32331 DF Motor: 13952335345371 Chasis: XWMA4981208M048801X
	50	M-625	M625 AMA-0077 MAN KROLL 32331 DF Motor: 13952335335371 Chasis: XWMA4981207M048795X
	51	M-626	M626 AMA-0573 FREIGHTLINER FL80 Motor: 9SZ12671 Chasis: 1FVABXAK13DL05595
	52	M-627	M627 AMA-0602 INTERNATIONAL 4400 4X2 Motor: 470HM2U1533452 Chasis: 3HAMKAAR59L072726
	53	M-628	M628 AMA-1035 SUZUKI GRAN VITARA SZ 2.7L V6 5P Motor: H27A292343 Chasis: 8LDCK339XA0039786
	54	M-630	M630 AMA-0512 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 993676 Chasis: 9GDNPR71L4B504009
	55	M-631	M631 AMA-0515 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 220 Chasis: 9GDNPR71L4B505109
	56	M-632	M632 AMA-0514 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 6939 Chasis: 9GDNPR71L4B505506
	57	M-633	M633 AMA-0513 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 994184 Chasis: 9GDNPR71L4B504106
	58	M-634	M634 AMA-0553 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 463886 Chasis: 9GDNPR7117B008804
	59	M-635	M635 AMA-0554 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 464500 Chasis: 9GDNPR7157B008806
	60	M-636	M636 AMA-0566 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 531177 Chasis: 9GDNPR7108B011730
	61	M-637	M637 AMA-0567 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 525604 Chasis: 9GDNPR7128B011406
	62	M-638	M638 AMA-0568 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 525611 Chasis: 9GDNPR7108B011419
	63	M-639	M639 AMA-0569 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 575146 Chasis: 9GDNPR7108B013025
	64	M-640	M640 AMA-1076 NISSAN T5U41 /MINIHYDRO Motor: TD42512639T Chasis: JNB0T5U419A083193
	65	M-641	M641 AMA-0215 ISUZU NPR Motor: 460725 Chasis: JAANPR58GP7100210
	66	M-642	M642 AMA-1046 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DSL CD 4X4 Motor: 4JH1944242 Chasis: 8LBETF3E5B0079918
67	M-643	M643 AMA-1043 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DSL CD 4X4 Motor: 4JH1956475 Chasis: 8LBETF3E0B0089501	
68	M-644	M644 AMA-1044 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DSL CD 4X4 Motor: 4JH1966506 Chasis: 8LBETF3E0B0094150	
69	M-645	M645 AMA-1073 INTERNATIONAL 4300 SBA 4X2 Motor: 2U1575729 Chasis: 3HAMMAAR7BL390993	

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Realizado por: VILLACRÉS, SERGIO, 2016

Continuará....

Continúa

Dpto.	Ítem	Cód.	Descripción
AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO	70	M-646	M646 AMA-1962 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DSL CD 4X4 Motor: 4JH1101255 Chasis: 8LBETF3E2B0103480
	71	M-647	M647 AMA-1961 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DSL CD 4X4 Motor: 4JH1113123 Chasis: 8LBETF3E1B0106550
	72	M-648	M648 AMA-1960 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DSL CD 4X4 Motor: 4JH1114931 Chasis: 8LBETF3E2B0108937
	73	M-649	M649 AMA-1075 VOLSKWAGEN 9150 4X2 Motor: E1T168354 Chasis: 9533D52R8BR130208
	74	M-800	M800 AMA-1070 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DIESEL 4X4 Motor: 4JH1917431 Chasis: 8LBETF3EB0066529
	75	M-801	M801 AMA-0223 TOYOTA LAND CRUSIER Motor: 1FZ0090264 Chasis: FZJ700003319
	76	M-802	M802 AMA-0548 CHEVROLET LUV D-MAX C/D V6 4X4 T/M Motor: 6VE1252414 Chasis: 8LBETF1G560003089
	77	M-803	M803 AMA-0595 CHEVROLET LUV D-MAX 3.5L V6 CD 4X4 Motor: 6VE1285548 Chasis: 8LBETF3G390021737
	78	M-804	M804 AMA-0208 TOYOTA HILUX 4X2 CD Motor: 418995722R Chasis: RN855160855
	79	M-805	M805 AMA-1040 HYUNDAI TQ CARGA 3PAS 2.5 TM DSL AC Motor: D4BH9065447 Chasis: KMFWBX7HAAU212587
	80	M-806	M806 AMA-0596 CHEVROLET LUV D-MAX 3.5L V6 CD 4X4 Motor: 6VE1285543 Chasis: 8LBETF3G590021738
	81	M-852	M852 AMA-0111 CHEVROLET TROOPER UBS16 CLK STD 4X4 Motor: 4ZD1197729 Chasis: UBS16CLK937103044
	82	MO1501-	MO-1501 GA854C A-006812 YAMAHA DT175 Motor: 3TS078409 Chasis: 3TS078616
	83	M-651	M651 AMA-1072 CHEVROLET NMR 85H CAMION CHAS. CAB Motor:4JJ1147731 Chasis: JAANMR85HC7100319
	84	M-650	M650 AMA-1072 CHEVROLET NMR 85H CAMION CHAS. CAB Motor:4JJ1147731 Chasis: JAANMR85HC7100319
	85	M-652	M652 AMA-1077 INTERNATIONAL VACTOR 7400 SBA 4X2 2100 Motor:2U1592035 Chasis: 1HTWCADRXCJ082014
	86	M-653	M653 INTERNATIONAL VACTOR 7400 SBA 4X2 2100 Motor: Chasis:
	87	M-654	M654 AMA-1078 INTERNATIONAL 7400 SBA TM 8.7 2P 6X4 Motor:2U1587925 Chasis: 1HTWGADT1CJ650800
	88	M-655	M655 AMA-1067 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DSL CD 4X4 Motor: 4JH1183277 Chasis: 8LBETF3E0C0145146
	89	M-656	M656 AMA-1068 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DSL CD 4X4 Motor: 4JH1186844 Chasis: 8LBETF3E0C0145163
	90	M-658	M658 AMA-1153 HINO GD1JLUA Motor: J05ETC17757 Chasis: 9F3FC9JJSJSDXX15066
	91	M-807	M807 AMA-1199 MAZDA BT50 ACTION FLAC 2.6 CD 4X4 Motor: G6414251 Chasis: 8LFUNY064FMJ05436
	92	MO1601-	MO-1601 GA836C A-008555 SUZUKI TS185 Motor: TS1852169315 Chasis: 9FSSG11A96C024552

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Realizado por: VILLACRÉS, SERGIO, 2016

Tabla 3-3: Listado de vehículos de la empresa ETAPA EP

Dpto.	Ítem	Cód.	Descripción
AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO	93	MO1602-	MO-1602 GA825C A-008556 SUZUKI TS185 Motor: TS1852169662 Chasis: 9FSSG11A06C024617
	94	MO1603-	MO-1603 GA850C A-008557 SUZUKI TS185 Motor: TS1852169286 Chasis: 9FSSG11A46C024541
	95	MO1604-	MO-1604 A-008558 SUZUKI TS185 Motor: TS1852169511 Chasis: 9FSSG11A46C024796
	96	MO1606-	MO-1606 GA852C A-008560 SUZUKI TS185 Motor: TS1852167742 Chasis: 9FSSG11A35C024206
	97	MO1607-	MO-1607 GA824C A-008561 SUZUKI TS185 Motor: TS1852167720 Chasis: 9FSSG11A85C024198
	98	MO1608-	MO-1608 GA823C A-008562 SUZUKI TS185 Motor: TS1852169504 Chasis: 9FSSG11A66C024783
	99	MO1609-	MO-1609 GA831C A-009767 YAMAHA DT175 Motor: 3TK026840 Chasis: 9FK3TK11571026840
	100	MO1611-	MO-1611 GA832C A-009772 YAMAHA DT175 Motor: 3TK026836 Chasis: 9FK3TK11571026836
	101	MO1612-	MO-1612 GA851C A-009768 YAMAHA DT175 Motor: 3TK026838 Chasis: 9FK3TK11571026838
	GESTION AMBIENTAL	102	M-900
103		M-901	M901 AMA-0549 CHEVROLET LUV D-MAX C/D V6 4X4 Motor: 6VE1252716 Chasis: 8LBETF1G060003159
104		M-902	M902 AMA-0558 CHEVROLET LUV DMAX Motor: 6VE1261711 Chasis: 8LBETF2G470000538
105		M-903	M903 AMA-0234 TOYOTA DYNA Motor: 14B1534341 Chasis: BU2110003442
106		M-904	M904 AMA-0502 CHEVROLET NPR71L CHASIS CABINADO Motor: 930922 Chasis: 9GDNPR71L3B989005
107		M-906	M906 AMA-0571 TOYOTA BPT HILUX DC 4X4 AA Motor: 2TR6484078 Chasis: MR0FX22G481307867
108		M-907	M907 AMA-1041 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DSL CD 4X4 Motor: 4JH1949012 Chasis: 8LBETF3E4B0085127
109		MO1901	MO-1901 GA833C A-008734 SUZUKI TS185 Motor: TS1852170255 Chasis: 9FSSG11A66C024976
110		MO1902	MO-1902 GA853C A-008735 SUZUKI TS185 Motor: TS1852170281 Chasis: 9FSSG11A16C024965
111		MO1903	MO-1903 GA830C A-008736 SUZUKI TS185 Motor: TS1852170282 Chasis: 9FSSG11A66C024962
112		MO1904	MO-1904 GA857C A-008737 SUZUKI TS185 Motor: TS1852170225 Chasis: 9FSSG11A36C024997
113		MO1905	MO-1905 GA841C HONDA XL200 Motor: MD28E9A202575 Chasis: 9C2MD2892AR202575
114		MO1906	MO-1906 GA839C HONDA XL200 Motor: MD28E9A202577 Chasis: 9C2MD2896AR202577
115		MO1907	MO-1907 GA843C HONDA XL200 Motor: MD28E9A202406 Chasis: 9C2MD2891AR202406

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Realizado por: VILLACRÉS, SERGIO, 2016

Tabla 4-3: Listado de vehículos de la empresa ETAPA EP

Dpto.	Ítem	Cód.	Descripción
GESTION AMBIENTAL	116	MO1908	MO-1908 GA840C HONDA XL200 Motor: MD28E9A202353 Chasis: 9C2MD2896AR202353
	117	MO1909	MO-1909 GA842C HONDA XL200 Motor: MD28E9A202366 Chasis: 9C2MD2894AR202366
	118	MO1910	MO-1910 GA844C HONDA XL200 Motor: MD28E9A202523 Chasis: 9C2MD2895AR202523
	119	MO1911	MO-1911 S/PLACA HONDA XL200 Motor: MD28E9A202357 Chasis: 9C2MD2891AR202357
	120	MO1912	MO-1912 GA845C HONDA XL200 Motor: MD28E9A202584 Chasis: 9C2MD2893AR202584
	121	M-905	M905 AMA-1225 TOYOTA HILUX Motor: 2235841 Chasis: 9FH33UNG8Y8000465
PARQUE NACIONAL EL CAJAS	122	M-950	M950 AMA-0550 CHEVROLET LUV D-MAX C/D V6 4X4 Motor: 6VE1252871 Chasis: 8LBETF1G760003174
	123	M-951	M951 AMA-0551 CHEVROLET LUV D-MAX C/D V6 4X4 Motor: 6VE1252874 Chasis: 8LBETF1G960003175
	124	M-952	M952 AMA-1045 CHEVROLET LUV D-MAX 3.0L DSL CD 4X4 Motor: 4JH1995286 Chasis: 8LBETF3E6B0103031
	125	MO1951	MO-1951 GA855C A-004358 SUZUKI TS185 Motor: TS1852122436 Chasis: TS1852161643
	126	MO1952	MO-1952 GA828C A-007899 SUZUKI TS185 Motor: TS1852164291 Chasis: T9FSSG11A74C022537
	127	MO1953	MO-1953 GA829C A-007900 SUZUKI TS185 Motor: TS1852165452 Chasis: 9FSSG11A75C023107
	128	MO1954	MO-1954 GA826C A-009761 YAMAHA DT175 Motor: 3TK026827 Chasis: 9FK3TK11571026827
	129	MO1955	MO-1955 GA827C A-009762 YAMAHA DT175 Motor: 3TK026831 Chasis: 9FK3TK11571026831

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Realizado por: VILLACRÉS, SERGIO, 2016

La distribución de la flota de vehículos en los seis departamentos de la empresa, se presentan en la **tabla 5-3**, el departamento con mayor número de vehículos corresponde al departamento de agua potable y alcantarillado, que utiliza 77 vehículos para cumplir con sus funciones.

La flota de vehículos de los departamentos de: administración, comercialización, gestión ambiental, parque nacional El Cajas, está compuesta por camionetas, jeeps y motocicletas. Algunas de las funciones del departamento de telecomunicaciones, son: instalar nuevas líneas telefónicas y reparar las líneas en las que se haya reportado algún daño, para cubrir esta demanda la empresa ha decidido dar estas actividades a contratistas externos, quienes deberán disponer de personal, herramientas y vehículo; por lo cual este departamento posee una reducida flota de vehículos.

Tabla 5-3: Distribución vehicular en la empresa ETAPA E.P.

CÓDIGO	CANTIDAD
ADMINISTRACION	8 Vehículos
COMERCIALIZACION	9 Vehículos
TELECOMUNICACIONES	7 Vehículos
AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO	77 Vehículos
GESTION AMBIENTAL	20 Vehículos
PARQUE NACIONAL EL CAJAS	8 Vehículos

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Realizado por: VILLACRÉS, SERGIO, 2016

3.3 Camiones hidrocleaner de la empresa ETAPA EP.

Lo flota de camiones Hidrocleaner está conformado de diez (10) unidades; con años de fabricación que van desde 1986, que son los más antiguos (30 años desde su fabricación), y 2012 considerados como relativamente nuevos (4 años desde su fabricación). En la figura. 1-3, se presenta la distribución de los vehículos hidrocleaner según sus años de fabricación. El promedio de años de fabricación es de 13,5 años; los vehículos considerados como más nuevos tienen 4 años de fabricación.

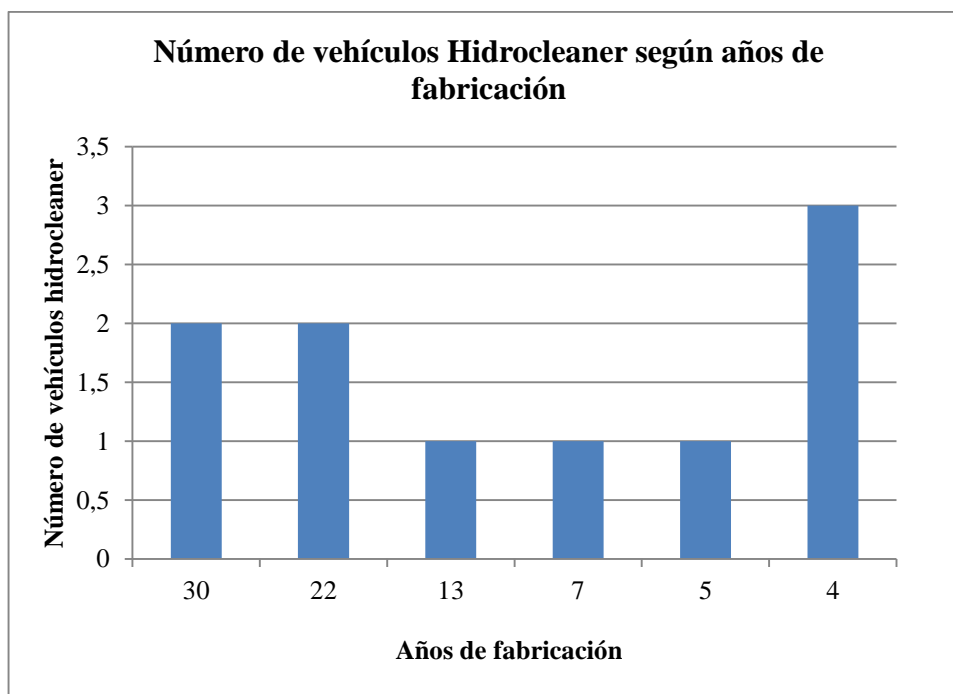


Figura 1-3 Vehículos hidrocleaner según sus años de fabricación.

Fuente: ETAPA EP, 2015.

En la **tabla 6-3** se presenta la lista de hidrocleaner que ETAPA E.P. posee; según los registros de fallos en año 2014, la flota registró un total de 73 fallos.

Tabla 6-3: Listado de camiones hidrocleaner de ETAPA E.P.

Item	Código	Descripción	Año fabricación	No. Fallas 2014
1	M-622	M622 AMA-0516 FORD LN8000 Motor: 44936415 Chasis: 1FDYR82E3RVA28970	1994	6
2	M-623	M623 AMA-0517 FORD LN8000 Motor: 44941908 Chasis: 1FDYR82E7RVA28969	1994	10
3	M-624	M624 AMA-0016 MAN KROLL 32331 DF Motor: 13952335345371 Chasis: XWMA4981208M048801X	1986	8
4	M-625	M625 AMA-0077 MAN KROLL 32331 DF Motor: 13952335335371 Chasis: XWMA4981207M048795X	1986	5
5	M-626	M626 AMA-0573 FREIGHTLINER FL80 Motor: 9SZ12671 Chasis: 1FVABXAK13DL05595	2003	8
6	M-627	M627 AMA-0602 INTERNATIONAL 4400 4X2 Motor: 470HM2U1533452 Chasis: 3HAMKAAR59L072726	2009	10
7	M-645	M645 AMA-1073 INTERNATIONAL 4300 SBA 4X2 Motor: 2U1575729 Chasis: 3HAMMAAR7BL390993	2011	6
8	M-652	M652 AMA-1077 INTERNATIONAL VACTOR 7400 SBA 4X2 2100 Motor:2U1592035 Chasis: 1HTWCADRXCJ082014	2012	7
9	M-653	M653 INTERNATIONAL VACTOR 7400 SBA 4X2 2100 Motor: Chasis:	2012	1
10	M-654	M654 AMA-1078 INTERNATIONAL 7400 SBA TM 8.7 2P 6X4 Motor:2U1587925 Chasis: 1HTWGADT1CJ650800	2012	12

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Realizado por: VILLACRÉS, SERGIO, 2016

3.4 Selección del caso de estudio

Los camiones Hidrocleaner constituyen el tipo de vehículo más importante para ETAPA E.P. debido al servicio que prestan referente a la limpieza de sumideros y rebocos de pozos y a la no factibilidad económica para alquilar o contratar camiones de este tipo.

En el año 2012 ETAPA E.P. procedió a adquirir tres nuevos hidrocleaner a los cuales se les asignó los códigos M652, M653 y M654. El vehículo hidrocleaner M654, considerado como un vehículo relativamente nuevo, paradójicamente es el que presenta el mayor número de fallas en el año 2014, como se puede observar en la **figura 2-3** comparado con el vehículo hidrocleaner que tiene más de 30 años de fabricación, que

presentó 8 fallos en el año estudiado. El significativo número de fallos, en comparación con el resto de vehículos de la flota; hace emergente la necesidad de determinar un plan de mantenimiento que considere los modos y efectos de fallo.

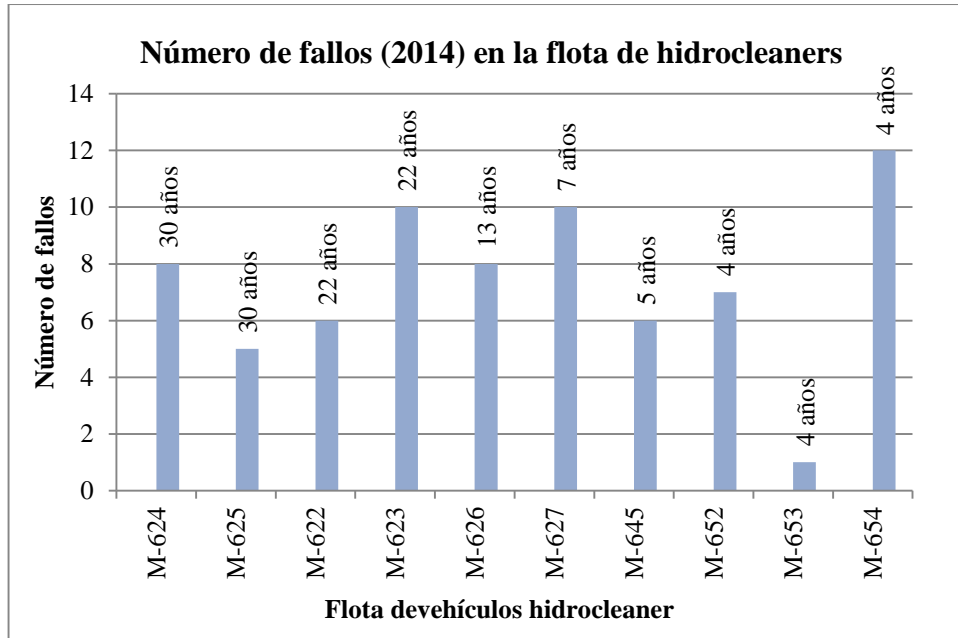


Figura 2-3 Fallos en el año 2014 en la flota de vehículos hidrocleaner.
Fuente: ETAPA EP, 2015.
Realizado por: VILLACRÉS, SERGIO, 2016.

3.4.1 Breve descripción del camión hidrocleaner M654

El Hidrocleaner M654 es un vehículo succionador de marca VACTOR de la serie 2100 (ver la figura 3-3), el mismo que se encuentra instalado sobre un camión de marca International, cuya principal función es de succionar fluidos que contengan sólidos en suspensión; este vehículo hidrocleaner desempeña dos opciones de succión:

- La primera opción de succión es por la parte posterior del camión, el cual permite succionar fluidos con sólidos suspendidos de hasta 6 pulgadas de diámetro con una manguera de hasta 30 metros de longitud, como se observa en las figura 3-3 y figura 4-3.
- La segunda opción de succión es por la parte frontal del camión el cual permite succionar fluidos con sólidos suspendidos de hasta 8 pulgadas de diámetro con una manguera de hasta 10 metros de longitud, esto se ilustra en la figura 5-3



Figura 3-3 Camión hidrocleaner M-654

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Realizado por: VILLACRÉS, Sergio, 2015.



Figura 4-3 Equipos de succión del camión hidrocleaner M-654

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Realizado por: VILLACRÉS, Sergio, 2015.



Figura 5-3 Principales componentes del camión hidrocleaner M-654
Fuente: VACTOR, 2010

El vehículo hidrocleaner M654 VACTOR 2100, está constituido por los siguientes equipos:

- Motor de combustión interna.
- Transmisión de potencia
- Tanque de 8 m³
- Tanque de agua limpia de 1 m³
- Bomba Hidráulica
- Compresor de lóbulos.
- Motor hidráulico del compresor de lóbulos
- Bomba para lavado
- Motor hidráulico para la bomba de lavado
- Filtro ciclón
- Chasis
- Cabina
- Válvulas, tuberías, mangueras y accesorios
- Sistema hidráulico del Hidrocleaner
- Sistema hidráulico del camión

3.5 Descripción del departamento automotriz

Las actividades de mantenimiento tanto preventivo como correctivo son ejecutadas parte en talleres contratados y otra parte por el taller automotriz que ETAPA E.P. posee, el mismo que está sujeto a la subgerencia administrativa; esta subgerencia dispone de un departamento que se encarga del mantenimiento de los vehículos que es el departamento de seguridad y transporte, para la gestión del departamento se ha nombrado a un administrador; el administrador se apoya en un asistente que se encarga de las actividades administrativas del taller automotriz y su oficina. En la **figura 6-3**, en donde se representa el organigrama del departamento de mantenimiento.

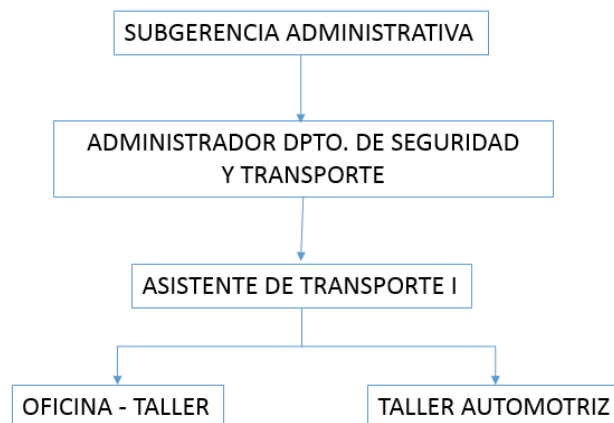


Figura 6-3 Organigrama del departamento de mantenimiento

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Elaborado por: VILLACRÉS, Sergio, 2015.

El departamento dispone de una herramienta informática que utiliza el software para gestión de mantenimiento SisMAC para el control, programación, evaluación y optimización de la gestión de mantenimiento de la flota de equipos automotrices.

El trabajo de gestión de mantenimiento de los hidrocleaners, empieza cuando el operador del vehículo ha detectado alguna anomalía en el funcionamiento y lo reporta verbalmente al asistente de transportes; quien a través del software SisMAC genera una orden de trabajo que tiene diseñado SisMAC. En el formato de orden de trabajo que se observa en la **figura 7-3**, se registra varios datos, entre los principales están:

- Número de orden de trabajo (OT)
- Código y descripción del vehículo
- Fecha de emisión de la orden de trabajo (OT)
- Fecha de inicio de trabajos
- Descripción de trabajos a realizar
- Fecha, hora y kilometraje con el que ingresa el vehículo al taller
- Fecha y hora con la que el vehículo sale del taller
- Personal que intervino en la ejecución de las tareas
- Lista de repuestos y materiales empleados
- Persona que autoriza el trabajo
- Tipo de trabajo (correctivo o preventivo)

Una vez que se han realizado los trabajos de mantenimiento, el chofer del vehículo termina el procedimiento, firmado el documento, con lo que el responsable del vehículo hidrocleaner acepta y da testimonio de los trabajos realizados. El llenar esta información en el documento de mantenimiento (orden de trabajo), tiene algunos objetivos, como son:

- Disponer de un documento, que autorice los trabajos a realizar.
- Tener un documento, que es una evidencia física de que se realizaron los trabajos; con las respectivas firmas de responsabilidad.
- Registro de datos los cuales serán ingresado en SisMAC y procesados para realizar el cálculo de los diferentes índices de mantenimiento.

3.5.1 Ciclo de la orden de trabajo correctiva

Toda orden de trabajo tiene un ciclo de vida y debido a que se desea conocer la información respecto al registro de fallas; las cuales se documentan en el formato de la orden de trabajo correctiva (ver **figura 7-3**); procedemos a describir a través del diagrama de la **figura 8-3** en que consiste el ciclo de vida de una OT de este tipo.

- Traslado del vehículo al taller:** Cuando el operador de un vehículo detecta alguna anomalía en el funcionamiento del vehículo del cual es responsable, procede a llevarlo al taller de la empresa.

ETAPA EP		ETAPA		ORDEN DE TRABAJO		No. 3746	
UBICACION VH-AGUA-M_201__-MMC0001 Motor de combustión - M201 AMA-0233 CHEVROLET LUV GD 4X2 T/M Motor: 4ZD1375517							
DESCRIPCION DEL TRABAJO Cambio de aceite y filtro del motor. / Verificación del nivel de aceite							
SOLICITA	VEHI/TALLER	EJECUTA	VEHI/TALLER	PRVDR.	NORMAL		<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA PROG.	FECHA INICIO	FECHA FIN	DIRECTA	<input type="checkbox"/>	PROGRAMADA	<input checked="" type="checkbox"/>	IMPORTANTE
10/02/2016	10/02/2016	10/02/2016					URGENTE
TAREAS [-] VH-AGUA-M_201__-MMC0001 Cambio de aceite y filtro del motor. [-] VH-AGUA-M_201__-MMC0001 Verificación del nivel de aceite				TAREAS EXTRAS REALIZADAS			
				KILOMETRAJE / HOROMETRO: (Km/Hr) 531669			
				FECHA Y HORA INGRESO: 10-02-2016 9:00			
				FECHA Y HORA SALIDA: 10-02-2016 12H			
				MOTIVO DE RETRAZO (FECHA Y HORA):			
<i>Reporte clave parts \$ 360</i>							
PERSONAL REQUERIDO ABRIL EDGAR -UUR- [0:0] CHILAN P. ARTURO -RRR597- [0:0] <i>\$ 1146</i>				MATERIALES Y REPUESTOS <i>1 litro de aceite 1 filtro de aceite</i>			
OBSERVACIONES DE SEGURIDAD <i>O. Aceite A</i>				Firma del Chofer <i>[Firma]</i>			
EMITE	10/02/2016	APRUEBA	10/02/2016	CIERRA	<input type="checkbox"/>		
<i>[Firma]</i> OSCAR FAICAN OWFG01		<i>[Firma]</i> OSCAR FAICAN OWFG01					

Figura 7-3 Formato de orden de trabajo de mantenimiento
Fuente: ETAPA EP, 2015.

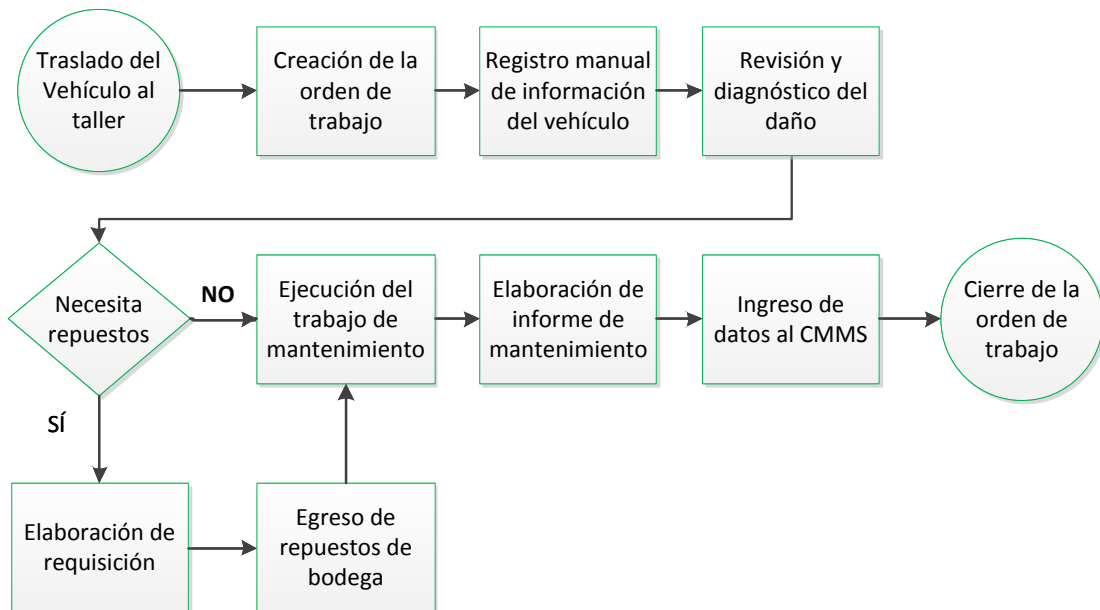


Figura 8-3 Ciclo de la orden de trabajo correctiva.

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Elaborado por: VILLACRÉS, Sergio, 2015.

2. **Creación de la orden de trabajo:** El chofer debe acercarse al asistente de transporte para que él proceda a emitir e imprimir la OT correctiva correspondiente, con los datos básicos como son: nombre del chofer, código y descripción del vehículo.
3. **Registro manual de información:** El chofer lleva la OT impresa al encargado del taller para que él, realice el ingreso del vehículo y registre la fecha, hora, kilometraje con la que ingresa el vehículo al taller y el técnico responsable de ejecutar el trabajo.
4. **Revisión y diagnóstico del daño:** El técnico responsable de ejecutar el trabajo, procede a revisar el vehículo, en el cual se ha reportado la falla y procede a realizar un diagnóstico de la misma. Si él puede repararlo, inmediatamente lo repara; en el caso que se requiera de repuestos, elabora la lista de éstos.
5. **Elaboración de requisición:** El asistente de transportes procede a elaborar, la o las requisiciones de repuestos y materiales que haya solicitado el técnico asignado.

- 6. Ejecución del trabajo de mantenimiento:** Una vez que se ha diagnosticado la falla y recibido los repuestos y materiales si fueren necesarios, el o los técnicos asignados proceden a ejecutar el trabajo respectivo.
- 7. Elaboración del informe de mantenimiento:** El técnico asignado procede a elaborar un informe de los trabajos realizados y registra las horas de trabajo de cada técnico que ha intervenido y registra la fecha y la hora que se solventó la falla. Luego, procede a entregar el vehículo al operador el cual verifica que se haya resuelto el problema que tenía el mismo. Si está a conformidad procede a firmar la orden de trabajo, recibiendo vehículo.
- 8. Ingreso de datos al CMMS:** La orden de trabajo, con los datos en el taller se entrega al asistente de transportes; que es la persona encargada de ingresar la información al software SisMAC, que es el CMMS que utiliza la empresa para el control del mantenimiento.
- 9. Cierre de la orden de trabajo:** Una vez registrados los datos, el asistente de transportes procede a cerrar la orden de trabajo en SisMAC, almacenándose la información en el servidor central que posee la empresa. Esta información, será la base que SisMAC, emplee para elaborar los indicadores de mantenimiento.

3.6 Administración del servicio de los camiones hidrocleaner

Los clientes de ETAPA E.P., tanto los ubicados en el sector urbano como rural pueden llamar al call center para requerir los servicios de un camión Hidrocleaner. Este llamado se registra en un sistema informático, cada uno de los llamados se imprime y son repartidos entre los diferentes camiones Hidrocleaner, en el formato que se presenta en la **figura 9-3**.

Cada camión hidrocleaner tiene un equipo de trabajo conformado por dos o tres personas, uno de ellos es el responsable del mismo y es el encargado de reportar los trabajos concluidos. Para eso se ha diseñado el formato que se presenta en la **figura 10-3**.

Empresa Publica Municipal de Telefonos, Agua Potable y Alcantarillado - ETAPA
 Fecha: 17/12/15 Orden de Trabajo Hora: 08:35:45

Nº Orden....: 3102436 Origen: Fecha Inicio: 9/12/2015
 Cod Cliente.: 4045381 Estado Orden: Fecha Ofrece: 10/12/2015
 Céd/Ruc.....: 1708929110 1 INGRESADO Fecha Fin...: 0/00/0000
 Nombre.....: PRADO IDROVO EMERITA DE JESUS
 Instalación.: A0096890 000096890 270200300 Manz Zagn Clave Catastral:
 Principal...: CAMINO VECINAL S - N
 Secundaria..: TARQUI TANILOMA
 Referencia...:
 Contactos...: 2830290/0998128012 Lectura:
 Tipo Trabajo: 5820 Alcantarillado
 Observación.: Tarqui-Taniloma casa con porton negro parte posterior de zoologi
 co. solicita limpieza de fosa septica. Cristian Vintimilla.

Digite: 5=Consultar Detalle de la Gestión, 7=Imprimir Orden Nº Imp: 0
 Gest Fecha Usuario Asignado Requerimiento Estado
 _ 1 9/12/2015 BERNAL ALVEAR LORENA Limpieza de fosas septicas INGRESADO
 _ 2 9/12/2015 ABRIL GUERRERO NANCY Limpieza de fosas septicas ASIGNADO D

F3=Salir F5=Renovar F10=Menu F12=Cancelar

Figura 9-3 Formato de una orden de trabajo del hidrocleaner
 Fuente: ETAPA EP, 2015.

PARTE DIARIO DE TRABAJO MANTENIMIENTO URBANO - RURAL
SUBGERENCIA DE OPERACIONES DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
E.T.A.P.A. E.P.

PARTE N° 0009793

NOMBRE DEL TRABAJADOR	DIRECCIÓN: _____	NOMBRE ABONADO: _____
	CODIGO DEL PROYECTO: _____	CÓDIGO: _____
	FECHA: _____	TÉLEFONO: _____
		NRO. MEDIDOR: _____

DESCRIPCIÓN	EQUIPO UTILIZADO				PERSONAL UTILIZADO			MATERIAL UTILIZADO													
	HIDROCLE	RETROEXC	COMPRESOR	VOLOJETA	INSPIC	ALBANIL	PEON	CEMENTO	GRAVA	ARENA	TUBOS DE FORM (mm)				TAPAS DE FORM			OTROS			
	HORAS	HORAS	HORAS	HORAS	HORAS	HORAS	HORAS	CUNTAL	M3	M3	D=150	D=200	D=300	D=400	D=600	D=400	D=500	D=700	BROCAL	REJILLA	
RELLENOS	1																				
LIMPIEZA DE POZO Y COLOCACION DE TAPA	2																				
CONSTRUCCIÓN DE POZOS DE REVISIÓN	3																				
CONSTRUCCIÓN DE SUMIDEROS	4																				
LIMPIEZA DE CÁMARAS TELEFÓNICAS	5																				
LIMPIEZA DE COLECTORES	6																				
LIMPIEZA DE DOMICILIARIAS	7																				
LIMPIEZA DE FOSAS SÉPTICAS	8																				
LIMPIEZA DE SUMIDEROS	9																				
LIMPIEZA INTERIOR DOMICILIOS	10																				
RECUPERACIÓN Y/O REPARACIÓN DE POZOS	11																				
REPARACIÓN COLECTORES	12																				
REPARACIÓN DE DOMICILIARIAS	13																				
REPARACIÓN DE SUMIDEROS	14																				
CONSTRUCCIÓN DE TRAMOS DE ALCANT.	15																				
MANTENIMIENTO INTERCEPTOR TOMBAMBA	16																				
MANTENIMIENTO INTERCEPTOR TARQUI	17																				
MANTENIMIENTO INTERCEPTOR YANUNCAY	18																				
MANT. INTERCEPTOR MACHANGARA Y MILCHICHIG	19																				
OTROS (ARRIÉLOS, BODEGA, LAVADO DE PLATAFORMAS)	20																				
COLABORACIÓN HIDROCLEANERS CON OTROS MUNICIPIOS	21																				
OTROS	22																				

Figura 10-3 Reporte de trabajos realizados por un hidrocleaner
 Fuente: ETAPA EP, 2015.

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO RCM PARA EL CAMIÓN M-654

4.1 Determinación de tasas de fallos de los equipos del camión M-654 en el año 2014.

En el año 2014, desde el mes de enero a diciembre se han registrado diferentes fallas en los equipos del hidrocleaner.

Tabla 1-4: Historial de fallas del hidrocleaner M654 en el año 2014

Historial de fallas del camión hidrocleaner M654 (año 2014 - millas recorridas: 16.120)			
Equipo	Fecha	Falla	Efecto
Blower	02/01/2014	Rotura de manguera de conexión	Fuga de aire
Motor	18/03/2014	Trizadura de la cañería	Fuga de aceite por la trizadura en cañería
Chasis del Camión	07/04/2014	Fusible quemado	Se apagaba el vehículo repentinamente
	02/05/2014	Quemadura de válvula selenoide	No acciona el freno de motor
	01/07/2014	Soplo un retén de la caja de la dirección hidráulica	Fuga de aceite, sonido extraño y endurecimiento de la dirección
	07/08/2014	Perforación del diafragma del pulmón	Baja en presión del sistema de frenos de aire y se bloquea el vehículo
	12/08/2014	Desgaste en el sello mecánico de la bomba	Subida de temperatura del motor (alarma en panel)
	14/08/2014	Quemadura de válvula selenoide	No se accionaba el freno de motor
	02/09/2014	Quemadura de válvula selenoide	No se accionaba el freno de motor
	04/09/2014	Daño de válvula selenoide de combustible	Se apagaba el vehículo repentinamente
	08/12/2014	Descentrado de la polea del ventilador // rotura de banda de ventilador	Activación de alarmas en el panel

Fuente: ETAPA EP, 2015.

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Para el cálculo de la tasa de fallas, se empleará la fórmula general de cálculo de acuerdo a la siguiente expresión, indicada en la ecuación 1-2:

$$\lambda = \frac{T_f}{T_P}$$

En donde:

λ : tasa de fallos (fallos/horas)

T_f : número de fallos totales

T_p : periodo total

4.1.1 *Cálculo de la tasa de fallos del Blower del camión M-654*

El periodo total (T_p), que se tomará para la determinación de la tasa de fallos es el periodo de un año que equivale a 8760 horas, el año analizado corresponde al 2014.

T_f : 1 fallo

T_p : 8760 horas

$$\lambda = \frac{1}{8760} = 0,000114 \frac{\text{fallos}}{\text{hora}}$$

4.1.2 *Cálculo de la tasa de fallos del motor del camión M-654*

El periodo total (T_p), que se tomará para la determinación de la tasa de fallos es el periodo de un año que equivale a 8760 horas, el año analizado corresponde al 2014.

T_f : 1 fallo

T_p : 8760 horas

$$\lambda = \frac{1}{8760} = 0,000114 \frac{\text{fallos}}{\text{hora}}$$

4.1.3 *Cálculo de la tasa de fallos del chasis del camión M-654*

El periodo total (T_p), que se tomará para la determinación de la tasa de fallos es el periodo de un año que equivale a 8760 horas, el año analizado corresponde al 2014.

T_f : 9 fallos

T_p : 8760 horas

$$\lambda = \frac{9}{8760} = 0,0010274 \text{ fallos/hora}$$

4.1.4 Cálculo de la tasa de fallos del camión hidrocleaner M-654

Considerando que los equipos que componen el camión y que han fallado, se encuentran dispuestos en serie la fórmula que se empleará para el cálculo de la tasa de fallos global del camión, es la siguiente:

$$\lambda_{del\ camión} = \lambda_{equipo\ 1} + \lambda_{equipo\ 2} + \dots + \lambda_{equipo\ n}$$

$$\lambda_{del\ camión\ 2014} = 0,000114 + 0,000114 + 0,0010274 = 0,001255\ fallos/hora$$

$$\lambda_{del\ camión\ 2014} = 11\ fallos/año$$

4.2 Determinación de los equipos críticos del camión M-654

Para el análisis de criticidad, se utilizará la metodología cualitativa que es de fácil manejo, que emplea la frecuencia de fallo y criterios de evaluación, que se enfocan en identificar el grado de impacto en las áreas: operacionales, verifica si existe flexibilidad operacional, evalúa el impacto en los costos de mantenimiento y el impacto en la seguridad humana y el ambiente.

El valor de criticidad total, se obtendrá del producto entre la frecuencia de la ocurrencia y el valor de la consecuencia; para lo cual se emplearán las siguientes fórmulas.

$$\textit{Criticidad total} = \textit{Frecuencia de ocurrencia} \times \textit{Consecuencia}$$

$$\textit{Criticidad total} = \textit{Frecuencia de ocurrencia} \times [\textit{Impacto operacional} * \textit{flexibilidad operacional} + \textit{Costo de mantenimiento} + \textit{Impacto seguridad humana y ambiente}]$$

Para evaluar el impacto de la falla, se han determinado los criterios que se describen en la **tabla 2-4**, los mismos han sido adaptados para que sean aplicables al tipo de equipos que se analizan. En la **tabla 2-4** se presentan los criterios y la cuantificación correspondiente a cada uno, siendo los valores más altos los que indican que tienen un impacto mayor.

Para la aplicación de la metodología de análisis de criticidad, se requiere tener información histórica del mantenimiento del vehículo que se analiza, como: número de fallas, costos de mantenimiento, etc.

La empresa ETAPA EP, emplea como herramienta para la gestión de mantenimiento un software denominado SisMAC, de donde se ha extraído la información del vehículo M654, registrada en el año 2014, periodo en el que el vehículo ha recorrido 16.120 Millas. En la **tabla 3-4**, de acuerdo a las órdenes de trabajo emitidas en el año 2014, se indica el número de fallos de cada equipo analizado.

En la **tabla 4-4**, se presenta los fallos registrados en el año 2014, durante este periodo se ha registrado que tres equipos del vehículo M654, presentaron al menos un fallo. El chasis es el equipo que presentó nueve fallos, lo que representa el mayor número de fallos en el período de estudio.

Por otra parte, el fallo que generó el mayor número de horas de operación perdidas se produjo en el chasis; el operador del vehículo hidrocleaner M654 describió el modo de fallo de la siguiente manera *“Se apagaba el vehículo repentinamente- no existía señal de corriente - borrar códigos de error y cambio de la válvula selenoide de combustible”*; el número de horas que produjo este fallo es de 890 horas.

Este mismo fallo es el que registró el mayor costo total, el mismo que incluye los costos de reparación y los costos determinados por pérdidas en operación, el costo total fue de USD 19.688,58. En la **tabla 4-4**, se presenta información como: los tiempos de parada y los costos de mantenimiento de los equipos del vehículo M654, que se han considerado para el análisis de criticidad.

Tabla 2-4: Criterios para cuantificar el análisis de criticidad de equipos.

CRITERIOS PARA DETERMINAR LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS	
DESCRIPCIÓN DE LOS CRITERIOS	Cuantificación
<i>Frecuencia de fallos:</i>	
* Mayor a 4 fallos/año	4
* 2-4 fallos/año	3
* 1-2 fallos/año	2
* Mínimo 1 fallo/año	1
<i>Impacto operacional:</i>	
* Parada inmediata de todo el camión hidrocleaner	10
* Parada inmediata de todo el camión hidrocleaner (recuperable con otro camión)	8
* Impacto en los niveles de producción o calidad	6
* Repercute en los costos operacionales adicionales (indisponibilidad)	3
* No genera ningún efecto o impacto significativo sobre las demás operaciones	1
<i>Flexibilidad operacional:</i>	
* No existe otra opción de producción y no hay forma de recuperarlo	5
* Hay opción de producción a la capacidad mínima permisible	4
* Hay opción de repuestos	3
* Función de repuesto disponible	1
<i>Costo de mantenimiento:</i>	
* Mayor o igual a \$ 3.000,00	2
* Menor a \$ 3.000,00	1
<i>Impacto en la seguridad humana y ambiente:</i>	
* 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

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Tabla 3-4: Número de fallos del camión hidrocleaner M654.

Número de fallos registrados en el vehículo M654 en el año 2014				
Sistema	Equipos	# OT	Número de fallos	Descripción del trabajo realizado
CAMION HIDROCLEANER	Blower	957	1	Cambio de manguera del silenciador del sistema Vector.
	Motor	1183	1	Arreglo de la cañería del medidor de aceite y arreglo de la barra de dirección.
	Chasis	1248	9	Revisión de cortocircuito - cambio selenoide de paso de combustible
		1323		Cambio de válvula del ahogador (válvula solenoide)
		1542		Relleno de aceite hidráulico en caja de dirección
		1672		Cambio de la cámara de freno posterior (pulmón)
		1695		Realizar trabajos para desmontaje de bomba de agua
		1710		Por cambio de válvula
		1784		Arreglo de la válvula electro neumática
		1793		Revisión con scanner falla y códigos de error - revisar apagado de motor.
2191	Reparación y cambio de modulo del ventilador.			

Fuente: ETAPA EP. Software para gestión de mantenimiento SisMAC.

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Tabla 4-4: Historial de fallos y costos del hidrocleaner M654 en el año 2014.

Historial de fallos del camión hidrocleaner M654 (año 2014 – millas recorrido en el año: 16.120 millas)										
Sistema	Equipos	# ot	Fecha y hora de parada	Fecha y hora de arranque	Descripción de fallo	Horas calendario de parada	Horas de operación perdidas	Costo repara. USD	Costo de alquiler USD 85 x hora	Costo total
CAMION HIDROCLEANER M-654	Blower	957	02/01/2014 9:03	03/01/2014 11:03	Rotura de manguera de conexión - fuga de corriente de aire.	2	2	13,24	170	183,24
	Motor	1183	17/03/2014 9:00	18/03/2014 11:00	Trizadura de la cañería- fuga de aceite por la trizadura en cañería.	26	11	131,53	935	1066,53
	Chasis	1248	07/04/2014 16:30	07/04/2014 17:00	Se apagaba el vehículo repentinamente- no existía señal de corriente.	0,5	0,5	4,58	42,5	47,08
		1323	02/05/2014 8:30	02/05/2014 11:00	Se quemó la válvula selenoide.	2,5	2,5	22,91	212,5	235,41
		1542	01/07/2014 8:45	01/07/2014 9:00	Soplo un retén de la caja de la dirección hidráulica - fuga de aceite sonido extraño y endurecimiento de la dirección.	0,25	0,25	1,21	21,25	22,46
		1672	07/08/2014 8:00	07/08/2014 16:00	Baja en presión del sistema de frenos de aire y se bloquea el vehículo - perforación del diafragma del pulmón.	8	8	132,40	680	812,4
		1695	25/07/2014 8:22	25/07/2014 15:22	Subida de temperatura del motor (alarma en panel) - desgaste en el sello mecánico de la bomba.	7	7	94,08	595	689,08
		1710	14/08/2014 8:00	14/08/2014 8:30	Se quemó la válvula selenoide.	0,5	0,5	4,58	42,5	47,08
		1784	02/09/2014 9:00	02/09/2014 11:00	Se quemó la válvula selenoide.	2	2	36,36	170	206,36
		1793	04/09/2014 10:00	11/10/2014 12:00	Se apagaba el vehículo repentinamente- no existía señal de corriente - borrar códigos de error y cambio de la válvula selenoide de combustible.	890	215	1413,58	18275	19688,58
2191	08/12/2014 8:00	08/12/2014 10:00	Se descentro la polea ventilador - rotura de banda de ventilador, // cambio de kit del embrague neumático del ventilador.	2	2	2938,00	170	3108		
Valores totales:						940,75	250,75	4792,47	21313,75	26102,22

Fuente: ETAPA EP. Software para gestión de mantenimiento SisMAC.
 Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Una vez que se dispone de la información necesaria para realizar el análisis de criticidad, se procede a realizar los cálculos, que permitan determinar, cuál de los equipos es el más crítico, en la **tabla 5-4** se indican los equipos a los que se evaluará su criticidad, con el código respectivo.

Tabla 5-4: Listado de equipos para análisis de criticidad

Equipos para análisis de criticidad	
Código	Descripción de los equipos
MMC01	Motor de combustión interna.
MST01	Transmisión de potencia
MDP01	Tanque de 8 m ³
MDP02	Tanque de agua limpia de 1 m ³
MCP01	Compresor de lóbulos.
MBB01	Bomba para lavado
MSP01	Filtro ciclón
MCK01	Chasis del camión
MCB01	Cabina

Fuente: ETAPA EP, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.2.1 *Cálculo de criticidad del MMC01-Motor de combustión interna.*

Frecuencia de ocurrencia: 2 fallos /año

Consecuencia: $10 \cdot 5 + 2 + 4 = 56$

Criticidad total: $2 \cdot 56 = 112$

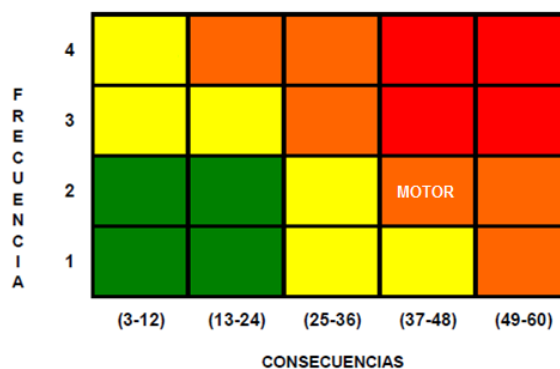


Figura 1-4 Criticidad del MMC01-Motor de combustión interna.

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.2.2 Cálculo de criticidad del MST01-Transmisión de potencia

Frecuencia de ocurrencia: 1 fallo /año

Consecuencia: $10 \cdot 5 + 2 + 4 = 56$

Criticidad total: $1 \cdot 56 = 56$

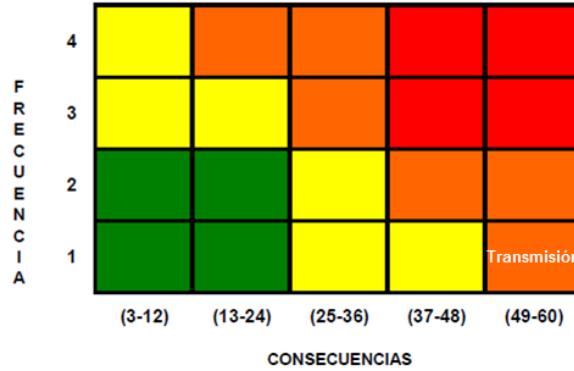


Figura 2-4 Criticidad del MST01-Transmisión de potencia
Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.2.3 Cálculo de criticidad del MDP01-Tanque de 8m³

Frecuencia de ocurrencia: 1 fallo /año

Consecuencia: $10 \cdot 3 + 1 + 8 = 39$

Criticidad total: $1 \cdot 39 = 39$

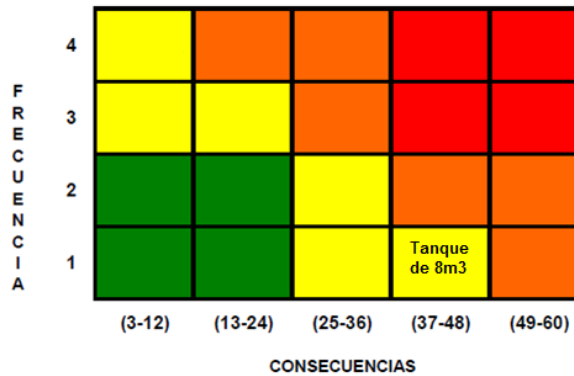


Figura 3-4 Criticidad del MDP01-Tanque de 8m³
Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.2.4 Cálculo de criticidad del MDP02- Tanque de agua limpia de 1m³

Frecuencia de ocurrencia: 1 fallo /año

Consecuencia: $1 \cdot 3 + 1 + 4 = 8$

Criticidad total: $1 \cdot 8 = 8$

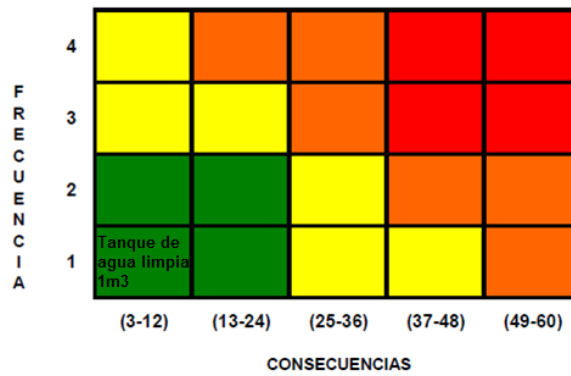


Figura 4-4 Criticidad del MDP02-Tanque de 1m³
Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.2.5 Cálculo de criticidad del MCP01- Compresor de lóbulos

Frecuencia de ocurrencia: 2 fallos /año

Consecuencia: $10 \cdot 5 + 2 + 4 = 56$

Criticidad total: $2 \cdot 56 = 112$

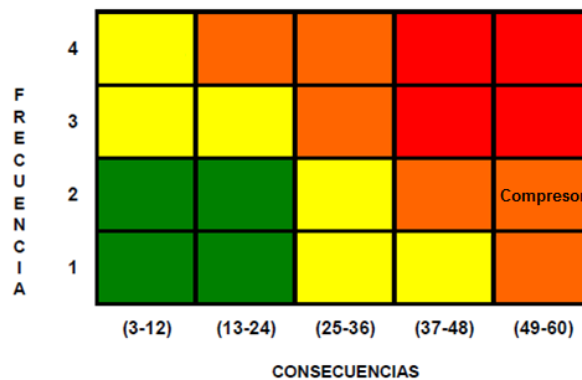


Figura 5-4 Criticidad del MCP-01-Compresor de lóbulos
Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.2.6 Cálculo de criticidad del MBB01- Bomba para lavado

Frecuencia de ocurrencia: 1 fallo /año

Consecuencia: $1 \cdot 1 + 1 + 4 = 6$

Criticidad total: $1 \cdot 6 = 6$

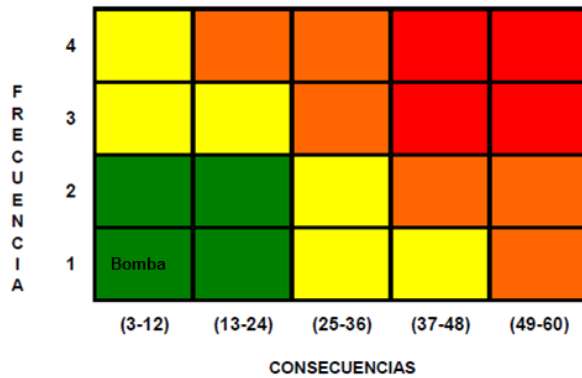


Figura 6-4 Criticidad del MBB01-Bomba para lavado
Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.2.7 *Cálculo de criticidad del MSP01- Filtro ciclón*

Frecuencia de ocurrencia: 1 fallo /año

Consecuencia: $10 \cdot 3 + 1 + 6 = 37$

Criticidad total: $1 \cdot 37 = 37$

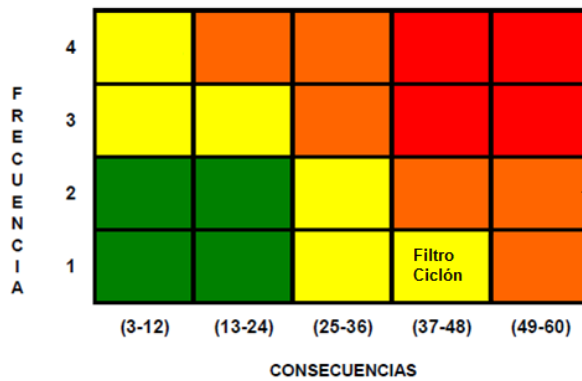


Figura 7-4 Criticidad del MSP01-Filtro ciclón
Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.2.8 *Cálculo de criticidad del MCK01- Chasis del camión*

Frecuencia de ocurrencia: 4 fallos /año

Consecuencia: $10 \cdot 5 + 2 + 4 = 56$

Criticidad total: $4 \cdot 56 = 224$

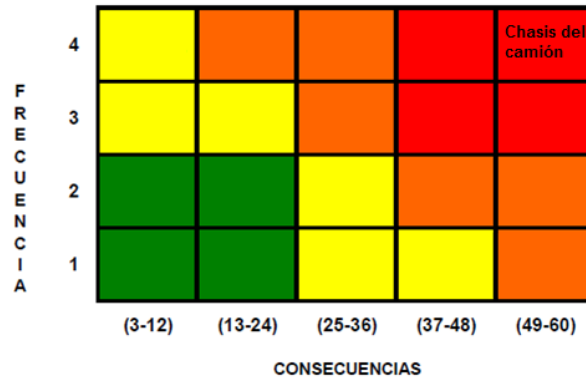


Figura 8-4 Criticidad del MCK01-Chasis del camión
Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.2.9 Cálculo de criticidad del MCB01- Cabina del camión

Frecuencia de ocurrencia: 1 fallo /año

Consecuencia: $6*5 + 1+4 = 35$

Criticidad total: $1*35 = 35$

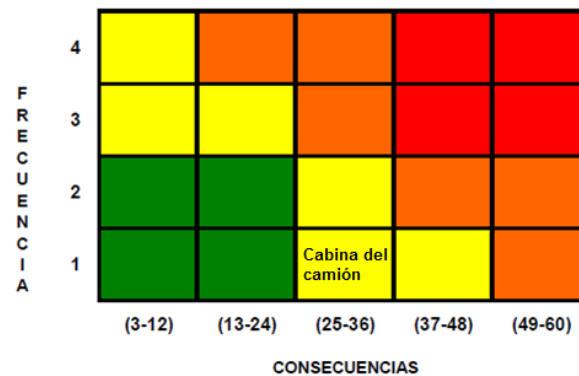


Figura 9-4 Criticidad del MCB01-Cabina del camión
Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.2.10 Análisis de criticidad de los equipos del camión hidrocleaner M654.

En la **tabla 6-4**, se presenta el análisis de criticidad de los equipos del vehículo M654, para la evaluación de la criticidad, se ha realizado una entrevista a los responsables del mantenimiento de los vehículos de la empresa ETAPA EP, quienes como conocedores de los equipos, dan su valoración del impacto de las consecuencias de un fallo sobre las áreas que se analizan como: operativa, costos de mantenimiento y seguridad humana y ambiental.

Tabla 6-4: Análisis de criticidad de los equipos del vehículo M654.

Evaluación de la criticidad de los equipos del sistema hidrocleaner M-654		Frecuencias de fallas				Impacto operacional				Flexibilidad operacional				Costo de mtto.		Impacto en la seguridad humana y ambiente:				Frecuencia de ocurrencia	Consecuencias	Criticidad	
		* Mayor a 4 fallas/año	* 2-4 fallas/año	* 1-2 fallas/año	* Mínimo 1 falla/año	* Parada inmediata de todo el camión hidrocleaner	* Parada inmediata de todo el camión hidrocleaner (recuperable con otro camión)	* Impacto en los niveles de producción o calidad	* Repercute en los costos operacionales adicionales (indisponibilidad)	* No genera ningún efecto o impacto significativo sobre las demás operaciones	* No existe otra opción de producción y no hay forma de recuperarlo	* Hay opción de producción a la capacidad mínima permisible	* Hay opción de repuestos	* Función de repuesto disponible	* Mayor o igual a \$ 3.000,00	* Menor a \$ 3.000,00	* Afecta a la seguridad humana tanto externa como interna	* Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	* Afecta las instalaciones o personas causando daños severos				
		4	3	2	1	10	8	6	3	1	5	4	3	1	2	1	8	6	4				
Cód.	Descripción de los equipos																						
MMC01	Motor de combustión interna.			2		10				5				2				4	2	56	112		
MST01	Transmisión de potencia				1	10				5				2				4	1	56	56		
MDP01	Tanque de 8 m3				1	10						3		1	8			1	39	39			
MDP02	Tanque de agua limpia de 1 m3				1				1			3		1				4	1	8	8		
MCP01	Compresor de lóbulos.			2		10				5				2				4	2	56	112		
MBB01	Bomba para lavado				1				1				1	1				4	1	6	6		
MSP01	Filtro ciclón				1	10						3		1		6		1	37	37			
MCK01	Chasis del camión	4				10				5				2				4	4	56	224		
MCB01	Cabina del camión				1					5				1				4	1	35	35		

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

En la tabla 7-4 se presente un resumen del análisis de criticidad de los equipos del vehículo M654, se ha identificado a un solo equipo con riesgo alto, el cual es el chasis del camión, tres equipos tiene un riesgo medio alto, estos son; motor de combustión interna, transmisión de potencia y el compresor de lóbulos.

Tabla 7-4: Resultados de criticidad de los equipos del vehículo M654.

Cód.	Descripción de los equipos	Criticidad	
MMC01	Motor de combustión interna.	Riesgo Medio Alto	Orange
MST01	Transmisión de potencia	Riesgo Medio Alto	Orange
MDP01	Tanque de 8 m ³	Riesgo Medio Bajo	Yellow
MDP02	Tanque de agua limpia de 1 m ³	Riesgo Bajo	Green
MCP01	Compresor de lóbulos.	Riesgo Medio Alto	Orange
MBB01	Bomba para lavado	Riesgo Bajo	Green
MSP01	Filtro ciclón	Riesgo Medio Bajo	Yellow
MCK01	Chasis del camión	Riesgo Alto	Red
MCB01	Cabina del camión	Riesgo Medio Bajo	Yellow

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.3 Descripción del contexto operacional del camión hidrocleaner M-654

El vehículo hidrocleaner M654, es parte de la flota de vehículos hidrocleaner, brinda sus servicio en la zona urbana y rural del cantó Cuenca, su régimen de trabajo es de lunes a viernes desde las 8:00 am hasta las 16:00 pm (8 horas diarias); este vehículo tiene como función principal succionar fluidos con sólidos suspendidos de hasta 6 pulgadas por la succión posterior y hasta de 8 pulgadas de diámetro por la succión frontal.

4.4 Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE)

Una vez que se ha aplicado el análisis de criticidad, éste dio como resultado que el equipo más crítico es el chasis del camión, el cual se desglosa en los siguientes componentes:

- Sistema de frenado
- Sistema eléctrico
- Sistema de dirección
- Sistema de suspensión
- Sistema hidráulico

Luego de definir cuál es el equipo más crítico, el método de RCM indica que se debe realizar un análisis AMFE (Análisis de Modos de Fallos y Efectos); en el caso del presente estudio se hará el AMFE de los componentes del equipo más crítico, el chasis. En las tablas desde la **tabla 8-4** hasta la **tabla 17-4**, se presentan la función, el fallo funcional, el modo de fallo y los efectos que éstos provocan de los sistemas componentes del chasis; así como la hoja de información RCM; en el que se evalúan las consecuencias de los efectos del fallo y se establecen las tareas sean preventivas o correctivas con las frecuencias y el especialista encargado de la ejecución para contrarrestar los efectos del fallo.

4.4.1 Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) del sistema de frenado

Tabla 8-4: Análisis de modos de fallo y efectos del sistema de frenado.

Hoja de información RCM		Sistema		Sistema n°	Facilitador:	Fecha:	Hoja n°
		Equipo		Subsist. N°	Auditor:	Fecha:	De
		Camión hidrocleaner M654		M654	Ing. Sergio Villacrés	18-03-16	1
		MCK01 Chasis / sistema de frenado		001		18-03-16	1
Comp	Función	Falla funcional		Modo de falla	Efecto de falla		
Sistema de freno	1	A	No detiene	1	Desgaste excesivo de los elementos de frenado	Cuando el operar acciona el freno el vehículo no frena inmediatamente.	
				2	Mala calibración	Cuando el operar acciona el freno el vehículo no frena inmediatamente y jala la dirección	
				3	Rotura de diafragma de los pulmones accionadores	Cuando pisa el freno se oye una fuga de aire en los pulmones y no se detiene	
				4	Elementos de frenado se cristalizan	Existe un olor a quemado y no frena	
		B	Se frena sin que el operador accione el freno	1	Fuga de aire en sistema neumático	La presión en el manómetro que está en el panel de instrumentos registra un descenso. Se enciende la lámpara testigo. Se frena el carro.	

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Tabla 9-4: Hoja de decisión RCM del sistema de frenado.

Hoja de decisión RCM			Descripción del vehículo CAMIÓN HIDROCLEANER M654							Area n° M654		Facilitador: Ing. Sergio Villacrés		Fecha: 18/03/16		Hoja N° 1			
			Sistema CHASIS / SISTEMA DE FRENADO							Cod. Sistema: M654-MCK01-001		Auditor:		Fecha: 18/03/16		de 1			
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acciones a falta de			Tareas Propuestas		Frecuencia Inicial		A realizar por:		
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	S	N	N	S	N	N							Inspección de los elementos de frenado	10.000 mi	Mecánico Automotriz	
1	A	2	S	S	N	N	N	S	N							Calibración de los frenos	10.000 mi	Mecánico Automotriz	
1	A	3	S	S	N	N	N	N	S							Cambio de pulmón	30.000 mi	Mecánico Automotriz	
1	A	4	S	S	N	N	N	N	N							Rediseño - Desarrollar procedimiento de operación		Jefe de mantenimiento	
1	B	1	S	S	N	N										Mantenimiento correctivo		Jefe de mantenimiento	

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.4.2 Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) del sistema eléctrico

Tabla 10-4: Análisis de modos de fallo y efectos del sistema eléctrico

Hoja de información RCM		Sistema		Sistema n°	Facilitador:	Fecha:	Hoja n°
		CAMION HIDROCLEANER M654		M654	Ing. Sergio Villacrés	18/03/16	1
		Equipo		Subsist. N°	Auditor:	Fecha:	de
		MCK01 CHASIS / SISTEMA DE ELECTRICO		002		18/03/16	1
COMP	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA	
Sistema de eléctrico	Proveer de energía eléctrica para iluminación y el funcionamiento del motor	A	No provee energía eléctrica a la iluminación	1	Quema de fusibles	No se encienden las luces	
				2	Corto circuito	No se encienden las luces	
	B	No provee energía eléctrica al motor	1	Se acciona un código de falla como son: temperatura, presión de aceite, etc	No se enciende motor y se encienden lámparas testigos		
			2	Rotura de cables de conexión	No se enciende motor y se encienden lámparas testigos y se enciende un código de error		

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Tabla 11-4: Hoja de decisión RCM del sistema eléctrico

Hoja de decisión RCM							Descripción del vehículo				Área n°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°		
							CAMIÓN HIDROCLEANER M654				M654	Sergio Villacrés	18/03/16	1		
Referencia de Información							Evaluación de las consecuencias				Acciones a falta de			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
							H1	H2	H3							
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
1	A	1	S	N	N	N	N	N	N				Cambio de fusibles	Sin frecuencia	Automotriz eléctrico	
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Cambio de cables o elemento eléctrico dañado	Sin frecuencia	Automotriz eléctrico	
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Reparación del sistema eléctrico	Sin frecuencia	Automotriz eléctrico	
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N				Reparación del sistema eléctrico	Sin frecuencia	Automotriz eléctrico	

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.4.3 Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) del sistema de dirección

Tabla 12-4: Análisis de modos de fallo y efectos del sistema de dirección

Hoja de información RCM		Sistema		Sistema n°	Facilitador:	Fecha:	Hoja n°
		CAMION HIDROCLEANER M654		M654	Ing. Sergio Villacrés	18/03/16	1
COMP.	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA		
Sistema de dirección	Dirigir el vehículo según lo requiera el operador	A No responde la dirección a los requerimientos del operador	1	Fuga del aceite hidráulico	Al mover el volante suena y es muy dura para girarla		
			2	Nivel bajo de aceite de hidráulico	Al mover el volante suena y es muy dura para girarla		
			3	Deterioro mecánico en los varillajes de la dirección	Se endurece la dirección, chillido de las ruedas se arrastran en vez de girar		
		B Vibración de la dirección	1	Desgaste de las piezas mecánicas de la dirección	Vibración en el volante		
			2	Desbalanceo de las ruedas y/o torcedura de los aros	Vibración en el volante		

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Tabla 13-4: Hoja de decisión RCM del sistema de dirección.

Hoja de decisión RCM			Descripción del vehículo							Área n°			Facilitador:		Fecha:		Hoja n°								
			CAMIÓN HIDROCLEANER M654							M654			Sergio Villacrés		18/03/16		1								
			SISTEMA							SISTEMA N°			Auditor:		Fecha:		de								
			CHASIS / SISTEMA DE DIRECCIÓN							M654-MCK01-003					18/03/16		1								
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1			H2			H3			Acciones a falta de			Tareas Propuestas			Frecuencia Inicial		A realizar por:	
							S1			S2			S3												
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4													
							N1	N2	N3																
1	A	1	S	N	N	S	S	N	N				Revisión del nivel de aceite y fugas en el sistema hidráulico			1 semana		Mecánico Automotriz							
1	A	2	S	N	N	S	S	N	N				Revisión del nivel de aceite			1 semana		Mecánico Automotriz							
1	A	3	S	S	N	N	N	N	N				Reparación del sistema de varillaje					Mecánico Automotriz							
1	B	1	S	N	N	S	N	S	N				Cambio programado de terminales, pines y bocines			35.000 mi		Mecánico Automotriz							
1	B	2	S	N	N	S	S	N	N				Revisión de los aros, balanceo y rotación de llantas			10.000 mi		Mecánico Automotriz							

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.4.4 Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) del sistema de suspensión

Tabla 14-4: Análisis de modos de fallo y efectos del sistema de suspensión

Hoja de información RCM		Sistema		Sistema n°	Facilitador:	Fecha:	Hoja n°
		CAMION HIDROCLEANER M654		M654	Ing. Sergio Villacrés	18/03/16	1
Comp.	Función	Falla funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
Sistema de suspensión	Absorbe la vibración o impactos generados por el desnivel del suelo	A	No absorbe	1	Desgaste partes móviles de la suspensión: terminales, pines, bocines y bujes de ballestas	Golpeteo en la suspensión	
				2	Rotura de amortiguadores	Inestabilidad del vehículo y golpeteo	
	Pegar las llantas al suelo	B	No pega	1	Amortiguadores reventados	Al mover la dirección no responde adecuadamente	
				2	Rotura o desgaste de pines y bocines	Golpeteo en la suspensión	

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Tabla 15-4: Hoja de decisión RCM del sistema de suspensión.

Hoja de decisión RCM							Descripción del vehículo			Área n°	Facilitador:	Fecha:	Hoja n°		
							Sistema			Sistema n°	Auditor:	Fecha:	de		
							CAMIÓN HIDROCLEANER M654			M654	Sergio Villacrés	18/03/16	1		
							CHASIS / SISTEMA DE SUSPENSIÓN			M654-MCK01-004		18/03/16	1		
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acciones a falta de			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
							N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambio periódico de pines, bocines, terminales y bujes	35.000 mi	Mecánico Automotriz
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S				Cambio periódico de amortiguadores	35.000 mi	Mecánico Automotriz
1	B	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambio periódico de amortiguadores	35.000 mi	Mecánico Automotriz
1	B	2	S	N	N	S	N	N	S				Cambio periódico de pines, bocines, terminales y bujes	15.000 mi	Mecánico Automotriz

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.4.5 Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) del sistema hidráulico

Tabla 16-4: Análisis de modos de fallo y efectos del sistema de hidráulico.

Hoja de información RCM		Sistema		Sistema N°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°	
		CAMION HIDROCLEANER M654		M654	Ing. Sergio Villacrés	18/03/16	1	
Comp.	Función	Falla funcional	Modo de falla		Efecto de falla			
Sistema hidráulico	Transmitir presión adecuada a los elementos que lo requieran para ser accionados	A	No se transmite la presión	1	Fuga de aceite hidráulico	No funcionan los diferentes accionamientos hidráulicos.		
				2	Daño bomba hidráulica	No funcionan los diferentes accionamientos hidráulicos.		
				3	Rotura de mangueras y cañerías hidráulicas.	No funcionan los diferentes accionamientos hidráulicos.		
				4	Soplado de sellos en los acoples y conexiones	No funcionan los diferentes accionamientos hidráulicos.		
				5	Trabado de válvulas	No funcionan los diferentes accionamientos hidráulicos.		
		B	No hay presión adecuada	1	Obstrucción de una válvula reguladoras de presión o válvulas reguladoras de caudal (governores)	No funcionan correctamente los diferentes accionamientos hidráulicos.		
				2	Fuga de aceite hidráulico	No funcionan correctamente los diferentes accionamientos hidráulicos.		
				3	Obstrucción de filtros hidráulicos	No funcionan correctamente los diferentes accionamientos hidráulicos.		

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Tabla 17-4: Hoja de decisión RCM del sistema hidráulico.

Hoja de decisión RCM			Descripción del vehículo							Área N°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°		
			CAMIÓN HIDROCLEANER M654							M654	Ing. Sergio Villacrés	18/03/16	1		
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				Sistema			Acciones a falta de			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
							CHASIS / SISTEMA DE HIDRÁULICO			S1	S2	S3			
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S	N	N				Revisión del sistema hidráulico en búsqueda fugas o goteo.	Semanal	Mecánico Automotriz
1	A	2	S	S	N	N	N	N	S				Cambio programado de bomba hidráulica.	50.000 millas	Mecánico Automotriz
1	A	3	S	S	N	N	S	N	N				Revisión del sistema hidráulico en búsqueda fugas o goteo.	Semanal	Mecánico Automotriz
1	A	4	S	S	N	N	S	N	N				Revisión del sistema hidráulico en búsqueda fugas o goteo.	Semanal	Mecánico Automotriz
1	A	5	S	S	N	N	S	N	N				Chequear las lecturas de manómetro de presión	Semanal	Mecánico Automotriz
1	B	1	S	S	N	N	S	N	N				Chequear las lecturas de manómetro de presión	Semanal	Mecánico Automotriz
1	B	2	S	S	N	N	S	N	N				Revisión del sistema hidráulico en búsqueda fugas o goteo.	Semanal	Mecánico Automotriz
1	B	3	S	S	N	N	S	N	N				Chequear las lecturas de manómetro de presión	Semanal	Mecánico Automotriz

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.5 Plan de mantenimiento de los equipos críticos del camión M-654

En la elaboración del plan de mantenimiento mediante la metrología RCM participó el personal de ETAPA E.P. que conocen el funcionamiento y tienen experiencia en el mantenimiento de este tipo de vehículos, a continuación en la **tabla 18-4** se presenta el plan de mantenimiento resultado de la implementación de la metodología RCM.

Tabla 18-4: Plan de mantenimiento según RCM, para el vehículo M654.

Código	Componente	Actividad	Frecuencia	Departamento responsable
MCK-001	SISTEMA DE FRENADO	Inspección de los elementos de frenado	10.000 millas	Taller automotriz
		Calibración de los frenos	10.000 millas	Taller automotriz
		Cambio de pulmón	30.000 millas	Taller automotriz
MCK-003	SISTEMA DE LA DIRECCION	Revisión del nivel de aceite y fugas en el sistema hidráulico de la dirección	1 semana	Taller automotriz
		Cambio programado de terminales, pines y bocines	35.000 millas	Taller automotriz
		Revisión de los aros, balanceo y rotación de llantas	10.000 millas	Taller automotriz
MCK-004	SISTEMA DE LA DIRECCION	Cambio periódico de pines, bocines, terminales y bujes	35.000 millas	Taller automotriz
		Cambio periódico de amortiguadores	35.000 millas	Taller automotriz
MCK-005	SISTEMA DE LA HIDRAULICO	Revisión del sistema hidráulico en búsqueda de fugas o goteo.	10.000 millas	Taller automotriz

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Adicionalmente, se elaboró un plan de mantenimiento con las actividades adicionales mínimas para el resto de componentes de del camión M654, que se deben aplicar como mantenimiento preventivo. En la **tabla 19-4**, se presenta este plan; en el que se establecen: componente en el que se va a realizar la actividad con su respectivo código, la actividad, la frecuencia y el departamento responsable.

Tabla 19-4: Tareas básicas de mantenimiento preventivo para el vehículo M654.

Sistema		Sistema N°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
CAMION HIDROCLEANER M654		M 654	Ing. Sergio Villacrés	18/03/2014	1
Equipo		Subsistema N°	Auditor:	Fecha:	de
CHASIS		M654-MCK01		21/03/2014	1
Código	Componente	Actividad		Frecuencia	Departamento responsable
MMC	MOTOR	Cambio de aceite y filtro de motor		5.000 millas	Taller automotriz
		Cambio de filtro de combustible		5.000 millas	Taller automotriz
		Cambio de filtro de aire		10.000 millas	Taller automotriz
MCK-003	SISTEMA DE LA DIRECCION	Cambio de aceite hidráulico de la dirección		50.000 millas	Taller automotriz
MST	TRANSMISIÓN DE POTENCIA	Cambio de aceite de la caja de cambios		50.000 millas	Taller automotriz
		Cambio de aceite de la caja COTA		50.000 millas	Taller automotriz
		Cambio de aceite de la corona		50.000 millas	Taller automotriz
MCP	BLOWER	Cambio de aceite		500 horas	Taller automotriz
MCK-001	SISTEMA DE FRENADO	Cambio de líquido de freno		50.000 millas	Taller automotriz
		Cambio de zapatas		50.000 millas	Taller automotriz

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.6 Evaluación de la tasa de fallos luego de la aplicación del RCM en el vehículo M654.

Una vez que se implementó la metodología RCM por un periodo de 12 meses, se procedió a la verificación de la tasa de fallo en el año 2015, con la información que fue extraída del software para gestión de mantenimiento SisMAC. En la tabla 12-4, se presenta el registro de fallos del vehículo M654, se observa que el único equipo que ha fallado es el motor, el mismo que registró seis (6) fallos durante el año 2015, el chasis que fue determinado como crítico, no registró ningún fallo, este puede considerarse como un indicador de que las actividades planteadas fruto de la aplicación de la metodología RCM, fueron eficaces.

Si se compara la tabla 4-4 de resultados del 2014 con la tabla 12-4 del 2015 podemos apreciar que el chasis produjo 11 fallos y luego que se cambió el cableado blindado y el

módulo electrónico no volvió a fallar; en cambio en el 2015 el sistema de freno de motor es el único sistema que género fallos.

Tabla 20-4: Historial de fallos y costos del hidrocleaner M654 en el año 2015.

Historial de fallas del camión hidrocleaner M654 (año2015 – 16132 millas)										
Sistema	Equipos	# OT	Fecha y hora de parada	Fecha y hora de arranque	Falla	Horas calendario de parada	Horas de operación perdidas	Costo reparación USD.	Costo de alquiler USD 85 x hora	Costo total
CAMION HIDROCLEANER M-654	Motor	2473	20/02/2015 15:30	20/02/2015 18:00	No funciona el freno de motor. Válvula selenoide quemada	2,5	2,5	22,91	212,5	235,4
		2808	15/05/2015 10:00:00	15/05/2015 12:00:00	No se accionaba el freno de motor - Daño Retenes	2	2	41,18	170	211,2
		2853	29/05/2015 8:00	29/05/2015 18:00	No funciona el freno de motor. Válvula selenoide quemada	10	8	698,88	680	1379
		3312	07/10/2015 8:00	07/10/2015 13:00	No funciona el freno de motor. Válvula selenoide quemada	5	5	168,88	425	593,9
		3398	28/10/2015 16:30	29/10/2015 9:00	Rotura de cañerías	16,5	1	74,96	85	160
		3419	04/11/2015 8:56	06/11/2015 8:56	Daño fuera de máquina	48	16	90	1360	1450
						940,75	250,75	1096,81	2932,5	4029

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

Elaborador por: VILLACRÉS, Sergio, 2015

4.6.1 Cálculo de la tasa de fallos del camión M-654

Para la determinación de la tasa de fallos en el año 2015, el periodo total (T_p) que se tomará es de 12 meses que equivale a 8760 horas.

T_f : 1 fallo

T_p : 8760 horas

$$\lambda = \frac{6}{8760} = 0,00068 \frac{\text{fallos}}{\text{hora}}$$

$$\lambda_{\text{del camión 2015}} = 6 \text{ fallos/año}$$

4.7 Discusión de resultados

4.7.1 Comparación de resultados entre el año 2015 y 2014

En la **figura10-4**, se representa gráficamente el número de fallos registrado durante los dos periodos de estudio, se observa que en el año 2014 el número de fallos en el vehículo M654 es el doble de los que presentaron en el año 2015; esto significa una reducción en el 50% del número de fallos en el vehículo M654.

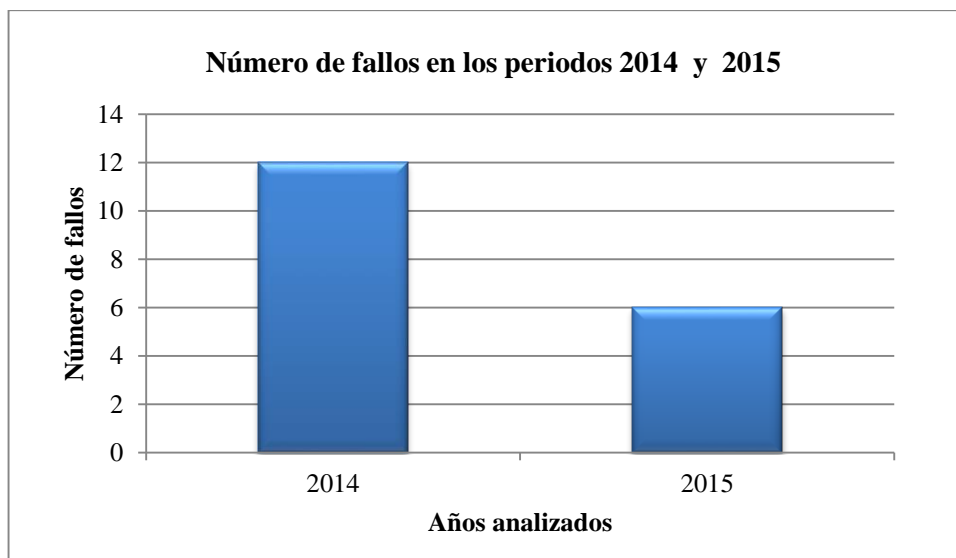


Figura 10-4 Número de fallos en los periodos 2014 y 2015.
Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

En el año 2015, no solo se redujo el número de fallos; sino también las horas calendario de parada y por tanto las horas de operación perdidas se redujeron en 86%, esta comparación se puede observar en la **figura 11-4**.

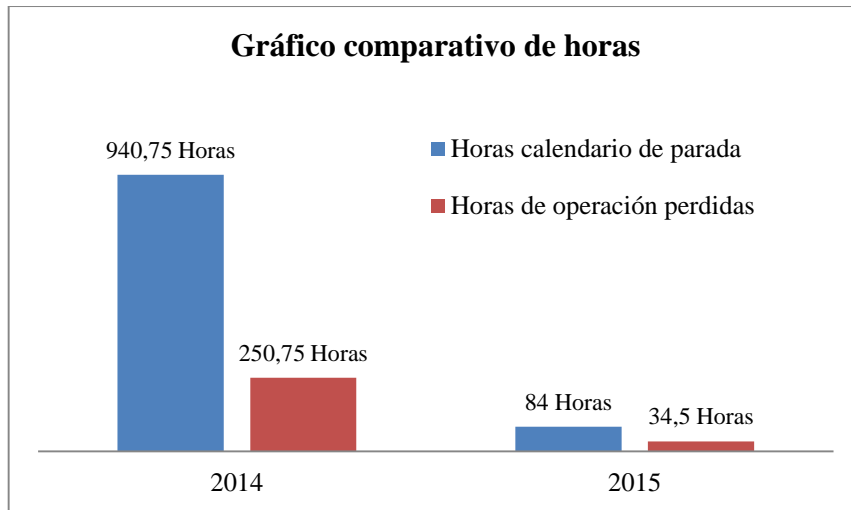


Figura 11-4 Gráfico de horas calendario de parada y operación.
Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

En la **figura12-4**, se presentan los resultados de los costos que produjeron todos los fallos registrados en los vehículos, coincide que al reducir el número de fallos también redujo los costos que producen este tipo de fallos. Los costos más elevados se dieron en el año 2014 y corresponden a pérdidas por horas no operadas.

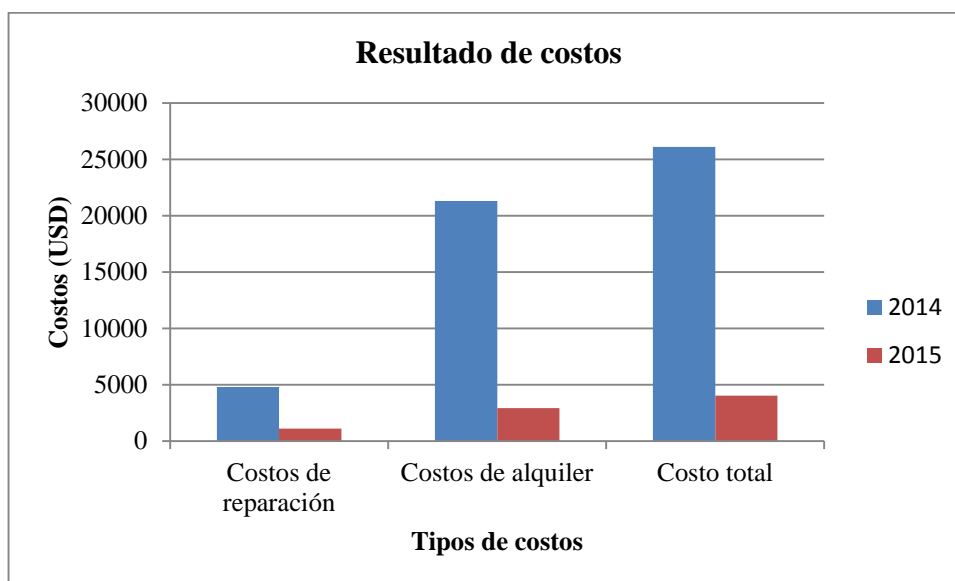


Figura 12-4 Resultados de costos.
Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2015

CONCLUSIONES

Luego de realizar la presente investigación, se presentan las siguientes conclusiones en concordancia con los objetivos que han sido planteados:

El cálculo de la tasa de fallos se realizó en el vehículo hidrocleaner M654, que fue el que presentó mayor número de fallos, en el año 2014, periodo de estudio de esta investigación. El valor de la tasa de fallos, que se determinó es de: $\lambda_{del\ camión\ 2014} = 11\ fallos/año$.

Previo el análisis de la aplicación de la metodología RCM, se determinaron los equipos críticos del vehículo hidrocleaner M654, resultando que existe un (1) solo equipo con riesgo alto, que es el chasis; tres (3) equipos con riesgo medio alto (Motor de combustión interna, Transmisión de potencia, Compresor de lóbulos); tres (3) equipos con riesgo medio bajo y dos (2) equipos con riesgo bajo.

En el proceso de aplicación de la metodología RCM, en base a los datos registrados en el software SisMAC y con la participación del personal taller automotriz se realizó el Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) de cinco (5) sistemas del vehículo hidrocleaner M654 (sistema de frenado, eléctrico, dirección, suspensión, hidráulico). De este análisis se obtuvo que el sistema eléctrico del chasis presentaba un fallo recurrente que generó más de 890 horas calendario de parada, 215 horas de parada operativa y un costo asociado de USD 19.688,58 para la empresa en el año 2014.

A través de la aplicación de la metodología RCM; se ha determinado el plan de mantenimiento que permita la reducción de la tasa de fallos en los componentes del chasis, que es el equipo crítico. Para 26 modos de fallo analizados, se logró determinar una actividad preventiva para 22 de ellos y para los 4 modos de fallo restantes se ha planificado actividades de mantenimiento correctivo. Para el modo de fallo que generó la mayor cantidad de horas de parada y de costos de mantenimiento, se corrigió cambiando el cableado blindado y el módulo electrónico. Este plan de mantenimiento, entró en vigencia a partir del primero de enero del año 2015.

Luego de la aplicación del plan de mantenimiento a partir del año 2015 y de haber ejecutado las actividades correctivas (determinadas a través de la aplicación de la metodología RCM), se determinó que la tasa de fallos se redujo de 11 a 6 fallos por año; esto representa una reducción del 45% de la tasa de fallos en el nuevo periodo de analizado.

RECOMENDACIONES:

Del presente trabajo de investigación se puede realizar las siguientes recomendaciones:

Realizar periódicamente un análisis de criticidad, debido a que la tasa de fallos no es un valor constante en el tiempo.

Revisar periódicamente los planes de mantenimiento, obtenidos a través de la metodología RCM; debido a que el contexto operativo del vehículo cambia.

Capacitar al personal de mantenimiento del taller en la metodología RCM; para que ésta pueda implementarse en el resto de vehículos de la flota.

Capacitar al personal de mantenimiento en temas referentes a gestión de mantenimiento, con énfasis en la planificación de mantenimiento.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

RCM: Reliability Centered Maintenance.

ETAPA EP: Empresa Pública de Telefonía, Agua Potable y Alcantarillado

SisMAC: Sistema de mantenimiento asistido por computador.

AMFE: Análisis modal de fallos y efectos.

CMMS: Computer Maintenance Management System

λ : tasa de fallos

R(t): Riesgo

P(t): Probabilidad de ocurrencia de un evento

C(t): Consecuencias que produce la ocurrencia del evento.

T_f : Número de fallos presentados en un periodo de tiempo determinado.

T_p : periodo de análisis de la tasa de fallos.

A.C.: Análisis de criticidad

BIBLIOGRAFÍA

1. AENOR EN 13306. (2011). Norma UNE-EN 13306. Terminología de Mantenimiento, Madrid, España: AENOR.
2. AENOR UNE-IEC 60300-3-10. (2007). Norma UNE-IEC 60300-3-10. Gestión de la Confiabilidad parte 3-10 Guía aplicación Mantenibilidad, 35. Madrid, España: AENOR.
3. AGUERO, M. y CALIXTO, I. (2007). Análisis De Criticidad Integral De Activos. *R2M. S.A Reliability and Risk Management*, Maracaibo-Venezuela, no. 58, pp. 1-14. [Consulta: 20 diciembre 2016]
Disponible en: <http://www.academia.edu/>
4. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., & BATISTA, P. (2004). Metodología de la Investigación (Tercera Edición ed.). México DC, México: McGraw-Hill.
5. MIL-STD-2173(AS), (1998). Reliability-Centered Maintenance Requirements of Naval Aircraft, Weapons System and Support Equipment, U.S.A. DEPARTMENT OF DEFENSE.
6. MORA, A. (2005). Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio. Medellín, Colombia: Ultragráficas.
7. MOUBRAY, J., (1997). *RCM 2*. Segunda Edición. New York - Estados Unidos: Industrial Press Inc. pp. 1-300.
8. NAVAIR-00-25-403, (2005). Guidelines for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process. Direction of commander, NAVAL AIR SYSTEMS COMMAND.

9. NORMA SAE-JA-1011, (1999). Society of Automotive Engineers Inc. EVALUATION CRITERIA FOR RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE (RCM) PROCESSES. USA, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001
10. NORMA SAE-JA-1012; (2002). Society of Automotive Engineers Inc. GUIA PARA EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC).USA, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001
11. ROJAS, R. (2010). *Plan para la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad para plantas de concreto en proyectos*. Tesis maestría.
12. SEXTO, L.F. (2014). (Primera Edición) Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).Material de estudio en Maestría de Gestión del Mantenimiento Industrial. [Consulta: 10 diciembre 2015].
13. SEXTO, L.F. (2014). (Primera Edición) Ingeniería de la Fiabilidad. Material de estudio en Maestría de Gestión del Mantenimiento Industrial. [Consulta: 15 diciembre 2015].
14. TORRES, L. D. (2005). *Mantenimiento su implementación y gestión*. Buenos Aires, Argentina: Universitas
15. UNE-20812, 1995. *Técnicas de análisis de fiabilidad de los sistemas. Procedimiento de análisis de los modos de fallo y sus efectos (AMFE)*. 1995. S.l.: s.n.
16. VACTOR (2010). *Manual de operación VACTOR 2100*. Estados Unidos.

ANEXOS

Anexo A Documento que valida el costo hora de alquiler de un hidrocleaner.

www.gestionderiesgos.gob.ec/sngr-contribuye-con-la-limpieza-de-sumideros-en-loja/ ▼ 🗨️ 🔄 🔍 *Buscar*



Secretaría de Gestión de Riesgos

MENÚ

Secretaría de Gestión de Riesgos > Comunicamos > Noticias > SNGR contribuye con la limpieza de sumideros en Loja

SNGR contribuye con la limpieza de sumideros en Loja



LOJA (LOJA).- Con la finalidad de contribuir con la limpieza de tuberías y sumideros obstruidos por las fuertes lluvias presentadas en los últimos meses en Loja, la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) a través la Dirección Provincial, gestionó con la Empresa Pública Municipal (ETAPA) de Cuenca, el envío de un hidrocleaner, que se encuentra trabajando en diversos sectores de la ciudad.

El alquiler de este equipo paliará los efectos de la estación invernal evitando inundaciones, ya que extrae el material granular proveniente de los drenes longitudinales y transversales de los sistemas de alcantarillado de la urbe lojana, asolvado por las intensas y recurrentes lluvias.

La SNGR cancelará a ETAPA \$ 4.250,00 por cincuenta horas de trabajo, cada hora tiene un valor de \$ 85.00. **(SRC)**

Anexo B Diagrama de decisión (Moubray, 2004)

