

DOI: <https://doi.org/10.23857/fipcaec.v4i4.128>

## **Análisis de indicadores de gestión CMD en el desarrollo de software de mantenimiento para vehículos livianos**

*Analysis of CMD management indicators in the development of maintenance software for light vehicles*

*Análise de indicadores de gerenciamento de CMD no desenvolvimento de software de manutenção para veículos leves*

Bolívar Alejandro Cuaical-Angulo <sup>1</sup>

[bolo\\_c@hotmail.com](mailto:bolo_c@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-1878-2541>

Luis Fernando Buenaño-Moyano <sup>2</sup>

[lfbm334@gmail.com](mailto:lfbm334@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-2194-4102>

Ligia Moreno-Pinduisaca <sup>3</sup>

[lfbm334@gmail.com](mailto:lfbm334@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-6894-5260>

Correspondencia: [bolo\\_c@hotmail.com](mailto:bolo_c@hotmail.com)

\* **Recepción:** 20/ 10/ 2019 \* **Aceptación:** 23/11/ 2019 \* **Publicación:** 03 /12/ 2019

<sup>1</sup> Magíster en Contabilidad y Auditoría, Economista, Docente Facultad de Mecánica de la Carrera de Ingeniería Automotriz en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

<sup>2</sup> Magíster en Gestión del Mantenimiento Industrial, Ingeniero Automotriz, Profesor de Educación Musical - Nivel Técnico Superior, Tecnólogo en Medios Didácticos Musicales, Docente Facultad de Mecánica de la Carrera de Ingeniería Automotriz en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

<sup>3</sup> Magíster en Gestión de Energías, Magíster en Gerencia y Liderazgo Educacional, Ingeniera Mecánica, Docente Facultad de Mecánica de la Carrera de Ingeniería Automotriz en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.



## Resumen

En la presente investigación se desarrolla un software para la Gestión de Mantenimiento vehicular analizando indicadores CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad) realizando el estudio en la flota de vehículos livianos del Consejo Provincial de Chimborazo. Inicialmente, se estudió la situación actual del parque automotor de la flota de vehículos livianos, recopilando información basada en encuestas realizadas al personal administrativo, bodega, conductores y técnicos. En segunda instancia se realiza el cálculo de indicadores CMD en un periodo de seis meses desde Mayo–2016 hasta Octubre–2016 obteniendo resultados de una Disponibilidad alcanzada promedio en la flota de 89,44%, confiabilidad en actividades correctivas de 41,30%, confiabilidad en actividades programadas de 39,83%, mantenibilidad de actividades correctivas de 59,65%, mantenibilidad de actividades programadas de 50,47%. Mediante un análisis de fallas con herramientas como diagrama de Pareto y el método AMFEC se determina la criticidad en los sistemas que componen un vehículo liviano. Para finalizar, se diseña e implementa el software de mantenimiento con una aplicación web ASP.NET, base de datos SQL SERVER y un lenguaje de programación C#. Se determina que el análisis de los indicadores CMD es una adecuada herramienta para el manejo de la gestión de mantenimiento vehicular, reduciendo costos operativos en su proceso.

**Palabras clave:** Gestión de mantenimiento; confiabilidad; mantenibilidad; disponibilidad; software de mantenimiento.

## Abstract

In the present investigation, a software is developed for the Vehicle Maintenance Management analyzing CMD indicators (Reliability, Maintainability and Availability), carrying out the study in the light vehicle fleet of the Provincial Council of Chimborazo. Initially, the current situation of the automotive fleet of the light vehicle fleet was studied, collecting information based on surveys conducted to administrative staff, warehouse, drivers and technicians. In the second instance, the calculation of CMD indicators is carried out in a period of six months from May – 2016 to October – 2016, obtaining results of an average availability reached in the fleet of



89.44%, reliability in corrective activities of 41.30%, reliability in scheduled activities of 39.83%, maintainability of corrective activities of 59.65%, maintainability of scheduled activities of 50.47%. Using a fault analysis with tools such as the Pareto diagram and the AMFEC method, criticality is determined in the systems that make up a light vehicle. Finally, the maintenance software is designed and implemented with an ASP.NET web application, SQL SERVER database and a C # programming language. It is determined that the analysis of the CMD indicators is an adequate tool for the management of vehicle maintenance management, reducing operational costs in its process.

**Keywords:** Maintenance management; reliability; maintainability; availability; maintenance software

## Resumo

Na presente investigação, um software para Gerenciamento de Manutenção de Veículos é desenvolvido analisando os indicadores CMD (Confiabilidade, Manutenção e Disponibilidade), realizando o estudo na frota de veículos leves do Conselho Provincial de Chimborazo. Inicialmente, estudou-se a situação atual da frota automotiva da frota de veículos leves, coletando informações com base em pesquisas conduzidas à equipe administrativa, almoxarifado, motoristas e técnicos. Na segunda instância, o cálculo dos indicadores CMD é realizado no período de seis meses, de maio - 2016 a outubro - 2016, obtendo resultados de uma disponibilidade média alcançada na frota de 89,44%, confiabilidade nas atividades corretivas de 41,30%, confiabilidade nas atividades programadas de 39,83%, manutenção de atividades corretivas de 59,65%, manutenção de atividades programadas de 50,47%. Usando uma análise de falhas com ferramentas como o diagrama de Pareto e o método AMFEC, a criticidade é determinada nos sistemas que compõem um veículo leve. Finalmente, o software de manutenção é projetado e implementado com um aplicativo Web ASP.NET, banco de dados SQL SERVER e uma linguagem de programação C #. É determinado que a análise dos indicadores CMD é uma ferramenta adequada para o gerenciamento da gestão de manutenção de veículos, reduzindo os custos operacionais em seu processo.

**Palavras-clave:** Gerenciamento de manutenção; confiabilidade; manutenibilidade; disponibilidade; software de manutenção

## Introducción

El Por medio de encuestas realizadas en el Consejo Provincial de Chimborazo se logró determinar que no existe un plan de mantenimiento eficiente, por lo que aquellos vehículos pertenecientes a la flota de livianos presentan inconvenientes o simplemente al momento de ser requerido para su uso no se encuentran a disposición del personal, generando con esto gastos extras para la movilización de las personas o simplemente la falta de hacer el mantenimiento en el momento indicado para el vehículo.

Se realizan encuestas al personal técnico y administrativo de mantenimiento en el cual se manifiesta problemas importantes como el que en la institución un 100% de los encuestados manifiestan que el software actual con el que se cuenta es malo, además de que los conocimientos que se posee sobre indicadores de mantenimiento CMD el 1005 dicen ser nulos, y además de que en la organización el 100 % manifiesta que en la institución no existe un control de tiempos en los que los técnicos realizan actividades de mantenimiento.

A pesar de los problemas manifestados por los funcionarios existe una oportunidad de recuperar funcionalidad de la flota de vehículos ya que, al evaluar técnicamente la flota de livianos por parte de los autores de la investigación, se encuentra que el estado de la flota en un 90% es bueno, 9% regular y un 1% es malo.

Pero el problema principal se fundamenta en la disponibilidad que alcanza la flota de vehículos livianos de la institución la cual de acuerdo a estudios previos ronda valores entre el 88% y 89%, lo cual pone de manifiesto que es urgente una evaluación más técnica de indicadores de mantenimiento ya que ellos indican el porcentaje de funcionalidad que alcanza la flota. Siendo importante el tecnificar el cálculo y dotarse en la institución de una herramienta que permita llevar el control de las actividades de mantenimiento y se contribuya además al control de fallas de los vehículos.



Las actividades que se desarrollan en el taller del consejo provincial de Chimborazo están a cargo del jefe de taller y dos mecánicos. El control de las actividades de mantenimiento se las realizaba de forma manual mediante un listado de los vehículos y los días que se destinan para que sean revisados en el taller.

La misión del taller es garantizar la vida útil de los componentes tanto mecánicos como electrónicos que constituyen a los vehículos en la actualidad, proporcionando así un mejor servicio y que se puedan realizar con eficiencia las actividades para los cuales están destinadas las unidades dentro de su cronograma de trabajo.

## **Desarrollo**

### **Mantenimiento**

Mantenimiento se define como un conjunto de actividades necesarias para la mantención o reparación de un bien, de modo que éste puede obtener un estado óptimo de funcionamiento. El mantenimiento se divide en varios tipos dependiendo del tiempo en que se lo realice siendo estos: correctivo, modificativo y preventivo (Dounce Villanueva, 2000 pág. 4).

#### **Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo se refiere a la realización de un conjunto de tareas periódicas y programadas aplicables a todas las instalaciones, máquinas o equipos permitiendo un mayor tiempo de funcionalidad durante su vida útil. Este tipo de mantenimiento es realizado con el objetivo de disminuir la probabilidad de falla, por tal razón, se efectúan las actividades antes de la falla (Torres, 2010 pág. 131).

#### **Mantenimiento correctivo**

Mantenimiento correctivo es un conjunto de actividades que se realizan en una maquina o equipo una vez que se produce el deterioro completo y por consecuencia sufre la pérdida total de su funcionalidad. Este tipo de mantenimiento surge en cualquier instante que puede ser previo o durante la etapa de funcionamiento. Este tipo de mantenimiento tiene influencia total en la

producción y en los costos de los repuestos que deben ser sustituidos de forma inmediata una vez ocurrida la falla o anomalía (Muñoz Abella, 2012).

### **Definición de plan de mantenimiento**

Cuando una empresa que cuenta con un número determinado de vehículos (flota), se ve en la necesidad de tener un plan de mantenimiento mediante el cual se puede conseguir la disminución de averías y optimización de la flota (Casanova Arribas, y otros, 2011 pág. 84):

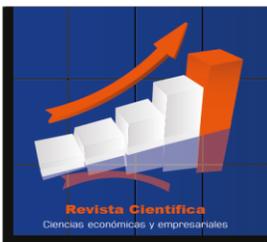
### **Tipos de planes de mantenimiento**

Una de las alternativas de las empresas es la contratación de un técnico o una empresa para que realice las tareas de mantenimiento, pero no siempre resulta beneficioso porque dicha empresa no puede contar con los suficientes recursos, esto obliga a los operarios a realizar estudios sobre los vehículos, maquinarias, etc., siendo el primer mantenimiento por cumplir el que determina el fabricante. Los tipos de planes a elegir son: (CASANOVA ARRIBAS, y otros, 2011 pág. 100):

Planes de mantenimiento basados en recomendaciones de fabricante: este tipo de mantenimiento es de cumplimiento obligado, se basa en normas y aspectos técnicos de reparación que se aprovecha para elaborar las fichas de mantenimiento.

Planes de mantenimiento basados en la experiencia y en los datos históricos: es un plan eficiente, la desventaja que presenta radica en la recogida de la información necesaria para después aplicarla al plan de mantenimiento.

Planes de mantenimiento basados en los análisis de fallos de los vehículos: cuando se tiene el total conocimiento de un vehículo, el técnico se permite intuir en qué momento va ocurrir la disfunción, es de gran importancia aquí los datos históricos de los vehículos.



## Disponibilidad

Como disponibilidad se entiende la probabilidad de que un elemento o equipo realice su función de forma satisfactoria cuando sea requerido después del comienzo de su operación, en condiciones estables. El tiempo total que se considera es la suma de los tiempos: de operación, activo de reparación, inactivo, en mantenimiento preventivo, administrativo, sin producir y logístico (Mora Gutiérrez, 2009 pág. 67).

**Disponibilidad Alcanzada:** Es aplicable en situaciones que se busca controlar las tareas de mantenimiento planeadas y las correctivas por separado. Requiere un manejo preciso de la información. Usa parámetros como MTBM (Tiempo medio entre mantenimientos),  $MTBM_C$  (Tiempo medio entre mantenimientos correctivos),  $MTBM_P$  (Tiempo medio entre mantenimientos preventivos), MTTR (Tiempo medio para reparar),  $M_P$  (Tiempo medio duración de mantenimiento preventivo), M (Tiempo medio de mantenimiento activo), etc.

$$D_A = \frac{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}}{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}} + \frac{\frac{MTTR}{MTBM_C} + \frac{M_P}{MTBM_P}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}} \quad [1]$$

## Confiabilidad

La confiabilidad es definida como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales esta designado. Las mediciones de confiabilidad y mantenibilidad se las realiza en términos de probabilidad, la cual se define como el resultado de dividir el número de veces de los casos estudiados (intentos o eventos) entre el número total posible de casos (intentos o eventos) (Mora Gutiérrez, 2009 pág. 95).

## Mantenibilidad

La mantenibilidad se refiere a la probabilidad de que un equipo sea capaz de regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de ocasionarse una avería, falla o interrupción, mediante una reparación que implica actividades de mantenimiento para eliminar la interrupción. Para restaurar el nivel de confianza de funcionalidad al equipo, las reparaciones se las realiza con el personal adecuado, con las habilidades necesarias y las herramientas idóneas con información técnica pertinente (Mora Gutiérrez, 2009 pág. 104).

## Distribución de probabilidad de Weibull

El modelo probabilístico de Weibull es muy flexible, debido a que esta ley tiene tres parámetros que permite “ajustar” los resultados experimentales y operacionales. La ley de Weibull cubre todos los casos en que la tasa de fallos  $\lambda$  es variable y permite ajustarse a los periodos del elemento (curva de la bañera). Para la utilización del modelo de Weibull se necesita la toma de datos de funcionamiento ( $TBF$ = intervalo entre dos fechas de averías). Estos resultados permiten estimar la función de repartición  $F(t)$  que corresponde a cada instante  $t$  (Torres, 2010).

Función de Distribución Acumulada.

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad [2]$$

Función de Supervivencia (Confiabilidad).

$$R(t) = e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad [3]$$

## Importancia del Problema

El desconocimiento de un método efectivo para el manejo de flotas automotrices generalmente se lo asocia con la falta de control en los diferentes departamentos de mantenimiento vehicular, y



esto ocasiona gastos operativos innecesarios provocando un aumento de costos de mano de obra, reparación y mantenimiento. Los gastos operativos que se tuvieron durante los siete meses estudiados estaban en un valor promedio de \$ 13.450,90 con un valor máximo de \$ 15.759,20 y un valor mínimo de \$ 9.354,57, pero principalmente valores altos de mantenibilidad correctiva entre las 72,60h y 53,52h, valores bajos de confiabilidad correctiva entre 43,42h y 42,18h y disponibilidades alcanzadas que rondan el 88% y 89% son los indicadores que en realidad impactan sobre el funcionamiento de la flota de vehículos livianos de esta institución. El desconocer esta información promueve que la gestión se haga a ciegas con consecuencias que se pueden evidenciar en los vehículos con la aparición de averías tanto reparables como no reparables que impactan directamente sobre la disponibilidad de la flota. Los indicadores de mantenimiento son una herramienta que proporciona una información si el plan de mantenimiento establecido en el software es eficiente o se necesita realizar modificaciones. Con estas dos herramientas se pretende salvaguardar a los vehículos de la flota de livianos y proporcionar beneficios al taller de consejo provincial de Chimborazo en el control de operaciones a realizar.

## **Materiales y Métodos**

### **Metodología de observación**

Para llevar a cabo la investigación se necesita la visualización de una serie de datos, componentes, estado de vehículos, estado de herramientas, personal para la posterior toma de decisiones con el objetivo de elaborar un plan de mantenimiento bastante eficiente.

### **Metodología documental bibliográfica**

Para la elaboración de este estudio es indispensable una metodología documental bibliográfica, herramienta que permite recolectar información de libros, manuales, folletos, revistas, artículos científicos, fichas técnicas lo que permite el entendimiento de cómo realizar un plan de mantenimiento automotriz con la ayuda de un software informático con indicadores de mantenimiento CMD.

### **Estudio de la situación actual y preparación de los históricos de falla**

Para el desarrollo eficiente de la investigación, como primer paso se realiza una evaluación por medio de encuestas al personal administrativo, bodega, conductores y técnicos de los talleres de la forma que se lleva a cabo la gestión de mantenimiento en la flota vehicular, determinando una gestión desorganizada lo que conlleva a una serie de incumplimientos y falta de control en actividades de mantenimiento.

Los resultados se detallan a continuación:

- Los objetivos, programas y planes de mantenimiento para la flota de vehículos, se los realiza de una manera desordenada y desorganizada.
- Carencia de planificación de actividades de mantenimiento y de control de destinados hacia los técnicos al momento de realizar mantenimiento.
- Los formatos establecidos no están bajo criterios técnicos de los inventarios en el departamento de bodega, registros de automóviles, registros de actividades realizadas y tiempos de falla.
- El manejo manual y deficiente para el control y realización de actividades de mantenimiento para la flota vehicular.
- Altos costos operativos en el mantenimiento ya que no se usan indicadores de mantenimiento Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.

### **Cálculo de indicadores de mantenimiento CMD**

El cálculo de indicadores CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad) se lo realiza siguiendo un procedimiento y un orden, que en cualquiera de los pasos pueden surgir inconvenientes si no se revisa la información previa pertinente que puede ser manuales, documentos técnicos o simplemente una bibliografía seleccionada.

Figura 1. Proceso de medición CMD.



Fuente: autores, Ecuador, 2017

**Obtención de datos:** Todos los datos requeridos y necesarios para la medición de los indicadores de mantenimiento CMD se obtuvieron de las oficinas del Consejo Provincial de Chimborazo. Los datos obtenidos fueron en forma digital del registro histórico de fallas de los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre del 2016, en el cual constan las fallas, repuestos, personal, taller y costos que implica el mantenimiento de cada vehículo en los meses antes mencionados.

**Preparación de datos:** Los tiempos de cada actividad constan en los registros proporcionados por el personal administrativo del Consejo Provincial de Chimborazo, de manera que se pudieron clasificar en tiempos útiles, tiempos de falla, mantenimientos y demás actividades que pudieran ser útiles en dependencia a la disponibilidad a calcular.

**Disponibilidad a calcular:** La disponibilidad seleccionada es la alcanzada, la cual es seleccionada debido a que hace énfasis y análisis de mantenimientos de actividades programadas como correctivas.

**Tabla 1.** Tiempos involucrados en mantenimiento.

FECHA	TIEMPO DE ACTIVIDAD (h)	TBMp (h)	TMp (h)	TBMc (h)	TTR
4 de Mayo	6			24	6
12 de Mayo	2,5	88	2,5		
16 de Mayo	6,5	24	6,5		
17 de Mayo	4	8	4		

Fuente: Autores, Ecuador, 2017

**Método de máxima verosimilitud:** los datos recaudados y ordenados son analizados mediante el método de máxima verosimilitud, el mismo que no necesita un método de alineación.

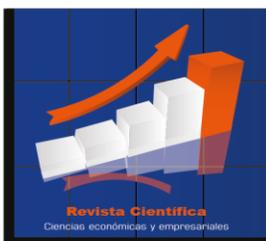
**Análisis mediante el modelo de Weibull:** los tiempos que corresponden a las actividades de mantenimiento programadas como correctivas, así como los tiempos de reparación son analizados mediante el análisis de Weibull, donde se encuentran los factores como el parámetro de forma  $\beta$  y el parámetro de escala  $\eta$  tanto para el análisis de confiabilidad como para la mantenibilidad.

**Pruebas de bondad de ajuste:** las pruebas de bondad de ajuste de STATGRAPHICS permiten el entendimiento si es que los datos analizados son provenientes de una distribución ajustada. Para esto el análisis de pruebas de ajuste toma en cuenta el planteamiento de dos hipótesis que se muestran a continuación (Statgraphics, 2006):

- Hipótesis Nula: los datos resultan de muestras independientes de la distribución especificada.
- Hipótesis Alternativa: los datos no resultan de muestras independientes de la distribución especificada.

### Prueba Kolmogorov-Smirnov

La prueba de Kolmogorov-Smirnov realiza una comparación de la distribución de acumulación de los datos con la distribución de acumulación ajustada. En la evaluación se realiza entre la



distribución de acumulación ajustada con cada uno de los datos y procede con el cálculo de distancias entre la c.d.f. empírica por encima de la c.d.f. ajustada (Statgraphics, 2006):

$$D^+ = \max_i \left\{ \frac{i}{n} - z_{(i)} \right\} \quad [4]$$

Y luego realiza el cálculo de la distancia de la c.d.f. empírica por debajo de la c.d.f. ajustada:

$$D^- = \max_i \left\{ z_{(i)} - \frac{i-1}{n} \right\} \quad [5]$$

La estadística Kolmogorov resulta ser la más grande de las dos distancias (Statgraphics, 2006).

$$D = \max(D^+, D^-) \quad [6]$$

### Prueba de Anderson-Darling $A^2$

En esta prueba ya no es las distancias lo que se toma en consideración de las c.d.f. sino más bien se basa en el cálculo de un área entre la c.d.f. empírica y la c.d.f. ajustada, a continuación, se presenta la forma del cálculo de esta área (Statgraphics, 2006):

$$A^2 = -n - \frac{\sum_{i=1}^n ((2i-1) \ln(z_{(i)}) + (2n+1-2i) \ln(1-z_{(i)}))}{n} \quad [7]$$

Por último, el software realiza un cálculo de un P-valor aproximado en ambas pruebas de ajuste, este valor ayuda a determinar si la distribución seleccionada ajusta bien los datos con un nivel de significancia del 5%, los valores del P-valor que permiten aceptar o rechazar una distribución se interpretan de la siguiente forma (Statgraphics, 2006):

- “ $\geq 0.10$ ” si la estadística es menor o igual al valor tabulado para  $\alpha=0.10$ .
- “ $< 0.10$ ” si la estadística es mayor o igual al valor tabulado para  $\alpha=0.10$  y menor o igual al valor tabulado para  $\alpha=0.05$ .
- “ $< 0.05$ ” si la estadística es mayor o igual al valor tabulado para  $\alpha=0.05$  y menor o igual al valor tabulado para  $\alpha=0.01$ .

– “<math>\alpha=0.01</math>” si la estadística es mayor o igual al valor tabulado para  $\alpha=0.01$

**Tabla 2.** Confiabilidad para los MTBMp.

Mes	MTBMp	Distribución	Kolmogorov-Smirnov		Anderson Darling		Beta	Eta	Confiabilidad R(t)
			Valor P	Cumplimiento	Valor P	Cumplimiento			
May-16	71,8987	Weibull	0,1716	Sí	$\geq 0,10$	Sí	1,1479	75,5072	38,8548
Jun-16	105,593	Log logística 3P	0,1457	Sí	$\geq 0,10$	Sí			37,5784
Jul-16	78,1610	Weibull	0,0753	Sí	$\geq 0,10$	Sí	1,2849	83,9931	40,1057
Ago-16	74,1203	Weibull	0,2209	Sí	$\geq 0,10$	Sí	1,2396	79,4267	39,9372
Sep-16	98,4201	Log logística 3P	0,3211	Sí	$\geq 0,10$	Si			40,9295
Oct-16	70,4521	Weibull	0,1522	Sí	$\geq 0,10$	Sí	1,4066	77,3558	41,6119

Fuente: Autores.

**Tabla 3.** Confiabilidad para los MTBMc.

Mes	MTBMc	Distribución	Kolmogorov-Smirnov		Anderson Darling		Beta	Eta	Confiabilidad R(t)
			Valor P	Cumplimiento	Valor P	Cumplimiento			
May-16	96,3157	Weibull	0,8596	Sí	$\geq 0,10$	Sí	1,6340	107,6250	43,4269

Jun-16	66,2945	Weibull	0,7931	Sí	$\geq 0,10$	Sí	1,2069	70,5795	39,5661
Jul-16	98,2649	Weibull	0,7165	Sí	$\geq 0,10$	Sí	1,5211	109,0300	42,5818
Ago-16	76,7662	Weibull	0,5704	Sí	$\geq 0,10$	Sí	1,1460	80,5803	38,8312
Sep-16	95,7369	Log logística 3P	0,3192	Sí	$\geq 0,10$	Si			41,2237
Oct-16	108,1520	Weibull	0,6390	Sí	$\geq 0,10$	Sí	1,4726	119,5260	42,1861

Fuente: Autores.

**Tabla 4.** Mantenibilidad para los Mp.

Mes	Mp	Distribución	Kolmogorov-Smirnov		Anderson Darling		Beta	Eta	Mantenibilidad M(t)
			Valor P	Cumpl e	Valor P	Cumpl e			
May-16	4,7976	Weibull	0,113	Sí	$\geq 0,10$	Sí	2,4051	5,4116	52,6921
Jun-16	3,8309	Weibull	0,188	Sí	$\geq 0,10$	Sí	3,0730	4,2854	50,7649
Jul-16	4,5700	Weibull	0,179	Sí	$\geq 0,10$	Sí	3,2194	5,1010	50,4402
Ago-16	4,3412	Weibull	0,163	Sí	$\geq 0,10$	Sí	2,9995	4,8615	50,9384
Sep-16	4,6398	Weibull	0,219	Sí	$\geq 0,10$	Sí	3,3057	5,1720	50,2612

Oct-16	5,605 6	Weibull 3P	0,201 0	Sí	$\geq 0,1$ 0	Sí	2,527 2	5,243 9	47,7282
--------	------------	------------	------------	----	-----------------	----	------------	------------	---------

Fuente: Autores.

**Tabla 5. Mantenibilidad para los MTTR.**

Mes	MTTR	Distribución	Kolmogorov-Smirnov		Anderson Darling		Beta	Eta	Mantenibilidad M(t)
			Valor P	Cumple	Valor P	Cumple			
May-16	5,891 4	Weibull 3P	0,421 1	Sí	$\geq 0,1$ 0	Sí	1,042 8	4,596 4	72,6090
Jun-16	4,379 0	Weibull	0,315	Sí	$\geq 0,1$ 0	Sí	1,560 4	4,872 3	57,1122
Jul-16	6,951 0	Weibull	0,421	Sí	$\geq 0,1$ 0	Sí	2,280 6	7,803 9	53,6058
Ago-16	5,647 8	Log logística 3P	0,421 1	Sí	$\geq 0,1$ 0	Sí			70,7806
Sep-16	4,772 4	Log logística 3P	0,159 4	Sí	$\geq 0,1$ 0	Sí			50,2746
Oct-16	6,411 0	Weibull	0,638	Sí	$\geq 0,1$ 0	Sí	2,191 7	7,239 0	53,5255

Fuente: Autores.

### Elaboración del plan de mantenimiento

La elaboración del plan de mantenimiento abarca fichas técnicas de los vehículos, sistema de codificación propuesto, fichas de mantenimiento rutinario, herramientas y suministro de repuestos necesarios, manuales e información técnica, análisis de fallas AMFEC y ficha de actividades de mantenimiento programado. El diseño de un software de mantenimiento ayuda en la gestión y control tanto de indicadores CMD como de actividades de mantenimiento vehicular,



el diseño del software es realizado con una aplicación web ASP.NET, motor de base de datos SQL SERVER 2008 y un lenguaje de programación C#.

### **Análisis de modos de fallas, efectos y criticidad AMFEC**

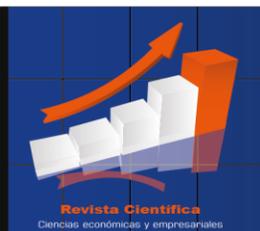
El análisis AMFEC se lo realiza primeramente partiendo de una clasificación de sistemas, componentes, función, falla funcional, modo de falla y la consecuencia de la misma. Una vez obtenida la clasificación anterior, el siguiente paso es la obtención de los parámetros para el cálculo del índice de prioridad de riesgo que son: Ocurrencia, Detectabilidad y la Consecuencia de las fallas estudiadas (Bestratén Belloví, y otros, 2004).

El índice de Prioridad de Riesgo (IPR) es el resultado de la multiplicación de los tres factores necesarios para el estudio AMFEC: Ocurrencia, Detectabilidad y Consecuencia (Tamariz Silva, 2012).

La criticidad de los elementos representa la forma en que una falla presentada puede afectar tanto a la producción como a otros factores como el medio ambiente, para determinar su valor se procede a clasificarla por niveles pudiendo ser: alto, medio y bajo. La ocurrencia de fallas es detallada en los registros de mantenimiento y la detectabilidad se la puede determinar con la experiencia de los técnicos que realizan las actividades correctivas, el producto de la ocurrencia y la detectabilidad nos da la frecuencia de las fallas. Por último, se debe establecer los valores de la consecuencia de las fallas teniendo en cuenta diversos factores los cuales son (Buenaño Moyano, 2016):

- Seguridad y Salud Ocupacional (SO)
- Medio Ambiente (MA).
- Costos de mantenimiento (CM).
- Impacto a la producción (IP).
- Tiempo de reparación (TTR).

Sistema	Componente	Modo de falla	Ocurrencia	Detectabilidad	Consecuencia					IPR	Categoría
					S	M	C	I	TT		
					O	A	M	P	R		
Frenos	Freno de estacionamiento	Mecanismo defectuoso	4	4	4	2	3	4	3	27	ALTO
	Sensor de ruedas	Deterioro físico	5	3	2	3	3	4	3	22	ALTO
		Unidad de inducción defectuoso	5	4	2	3	3	4	3	30	ALTO
	Unidad hidráulica	Electroválvulas defectuosas	4	5	3	3	3	4	4	34	ALTO
		Motor eléctrico averiado	4	5	2	3	3	4	4	32	ALTO
		Bomba hidráulica defectuosa	4	5	2	3	3	4	4	32	ALTO
		Acumulador defectuoso	3	5	2	3	3	4	4	24	ALTO
Dirección	Caja de dirección	Acoplamiento interno defectuoso	4	5	2	2	3	4	4	30	ALTO
Motor	Cámara de combustión	Incrustaciones en el	3	5	3	5	3	5	5	31	ALTO



	interior										
	Juego excesivo entre válvula y guía	3	4	4	4	3	4	4	22	8	<b>ALTO</b>
	Gases de combustión penetran sistema de refrigeración	4	4	4	4	3	4	4	30	4	<b>ALTO</b>
	Aceite penetra en circuito de refrigeración	4	4	4	4	3	4	4	30	4	<b>ALTO</b>
	Mezcla del líquido refrigerante con aceite	3	4	4	4	3	4	4	22	8	<b>ALTO</b>

**Tabla 6.** Cálculo del índice de Prioridad de Riesgo.

**Fuente:** autores, Ecuador, 2017

**Diseño e implementación del software de mantenimiento**

En el empleo para realizar el software se utiliza la aplicación ASP.NET que es una aplicación de páginas web, control de base de datos con SQL SERVER 2008 y le lenguaje de programación C#.

El software de mantenimiento cuenta con las siguientes funciones:

- **Gestión de Autos:** Muestra el listado de vehículos pertenecientes a la flota de livianos donde consta: marca, modelo, numero motor, numero chasis, placa y código propuesto.
- **Gestión de Productos:** En esta sección permite la visualización y el ingreso de los productos tanto repuestos, combustibles y lubricantes.
- **Gestión de Órdenes:** La gestión de órdenes se refiere al desarrollo de la orden de reparación bien si es interna (actividades a desarrollar en el taller del GADPCH) o si es externa.
- **CMD:** Permite el ingreso de los tiempos referidos a actividades de mantenimiento como lo son TBMp, TBMc, Tmp y TTR para después proceder al control de indicadores CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad).
- **Plan de Mantenimiento:** Muestra el plan de mantenimiento programado establecido para la flota de vehículos livianos del Consejo Provincial de Chimborazo.
- **Registro de Mantenimiento:** En esta sección constan las actividades de mantenimiento realizadas en la flota de vehículos.
- **Reporte de Órdenes:** Permite la exportación de todas las órdenes o datos relevantes a una ficha de Excel u otro programa.
- **Reporte CMD:** Permite la exportación de tiempos empleados en mantenimiento para el cálculo según una distribución seleccionada.
- 
- **RESULTADOS**

**CMD periodo mayo-octubre 2016.**

Los valores de los indicadores CMD para el periodo mayo-octubre 2016 se presentan a continuación:

**Tabla 7.** Valores de disponibilidad alcanzada mayo-octubre 2016.

Mes	MTBMp	Mp	MTBMc	MTTR	MTBM	$\bar{M}$	D <sub>A</sub>
May-16	71,8987	4,7976	96,3157	5,8914	41,1675	5,2651	88,6608
Jun-16	105,593	3,8309	66,2945	4,3790	40,7257	4,1676	90,7166
Jul-16	78,1610	4,5700	98,2649	6,9510	43,5338	5,6248	88,5578
Ago-16	74,1203	4,3412	76,7662	5,6478	37,7100	4,9830	88,3283
Sep-16	98,4201	4,6398	95,7369	4,7724	48,5300	4,7100	91,1584
Oct-16	70,4521	5,6056	108,1520	6,4110	42,6616	5,1344	89,2577

Fuente: autores, Ecuador, 2017

**Tabla 8.** Confiabilidad acciones correctivas y programadas

CONFIABILIDAD				
MES	MTBMp	CONFIABILIDAD	MTBMc	CONFIABILIDAD
MAYO-16	71,8987	38,8548	96,3157	43,4269
JUNIO-16	105,593	37,5784	66,2945	39,5661
JULIO-16	78,1610	40,1057	98,2649	42,5818
AGOSTO-16	74,1203	39,9372	76,7662	38,8312
SEPTIEMBRE-16	98,4201	40,9295	95,7369	41,2237
OCTUBRE-16	70,4521	41,6119	108,1520	42,1861

Fuente: Autores, Ecuador, 2017

**Tabla 9.** Valores de disponibilidad mayo-junio 2017

<b>MANTENIBILIDAD</b>				
<b>MES</b>	<b>Mp</b>	<b>MANTENIBILIDAD</b>	<b>MTTR</b>	<b>MANTENIBILIDAD</b>
<b>MAYO-16</b>	4,7976	52,6921	5,8914	72,6090
<b>JUNIO-16</b>	3,8309	50,7649	4,3790	57,1122
<b>JULIO-16</b>	4,5700	50,4402	6,9510	53,6058
<b>AGOSTO-16</b>	4,3412	50,9384	5,6478	70,7806
<b>SEPTIEMBRE-16</b>	4,6398	50,2612	4,7724	50,2746
<b>OCTUBRE-16</b>	5,6056	47,7282	6,4110	53,5255

Fuente: Autores, Ecuador, 2017

<i>Mes</i>	<i>MTBMp</i>	<i>Mp</i>	<i>MTBMc</i>	<i>MTTR</i>	<i>MTBM</i>	<i>M</i>	<i>D<sub>A</sub></i>
<b>May-17</b>	72,8540	1,8894	108,2610	2,8586	43,5484	2,2793	95,0264
<b>Jun-17</b>	68,2542	1,9265	101,3754	2,8685	40,79062	2,3055	94,6503

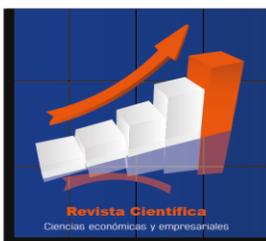
Fuente: autores, Ecuador, 2017

## Discusión

Los resultados son claros y muestran un aumento en el indicador de disponibilidad que es un valor dependiente de los parámetros de confiabilidad (MTBMp y MTBMc), mantenibilidad (Mp y MTTR). El estudio se realizó con el objetivo de crear un plan de mantenimiento que si es eficiente arroja los resultados anteriormente descritos. Los indicadores de mantenimiento muestran que el plan de mantenimiento propuesto mejoró tanto al cuidado de toda la flota de livianos como una mejor gestión en los talleres del Consejo Provincial de Chimborazo.

## Conclusiones

Se acento una disminución en del número de actividades correctivas o en su defecto el tiempo empleado en ejecutarlas en aproximadamente 49.54%, al disminuir el valor del Tiempo medio para reparar (MTTR) debido a la implementación de un nuevo plan de mantenimiento y el uso del software diseñado pasando de 4,37h en junio de 2016 a 2,86h en junio de 2017.



El tiempo medio entre mantenimiento programado (MTBMp) se presentan con una ligera tendencia a ser constantes o estables, estando por debajo de los Tiempos medios entre mantenimientos correctivos (MTBMc) lo que significa un control efectivo de actividades correctivas en los vehículos de la flota.

Los tiempos medios para realizar actividades de mantenimiento programado (Mp) se ajustan a los tiempos propuestos en el plan de mantenimiento y no producen variaciones significativas, indicando que la mantenibilidad de la flota ha mejorado aproximadamente un 58.79%, pasando de 3,83h que duraron los mantenimientos programados en junio 2016 a 1,92h en junio de 2017.

Se acento la disponibilidad de los vehículos en un 94.65% al disminuir los valores de tiempos medios de mantenimientos activos ( $\bar{M}$ ), disminuyendo de 4,16h en junio de 2016 a 2,27h en junio de 2017, logrando controlar las paradas innecesarias de la flota vehicular.

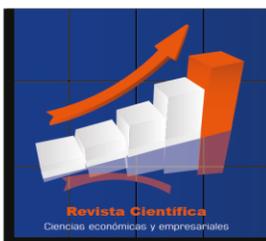
## Referencias

1. Bestratén Belloví, Manuel; & Orriols Ramos, Rosa (2004) *Análisis modal de fallas y efectos*. AMFE. SEAT, S.A. Recuperado de: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp\\_679.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_679.pdf).
2. Buenaño Moyano, Luis Fernando. (2016). Plan de gestión de mantenimiento basado en el análisis de índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de las locomotoras tipo bbb 2400 de ferrocarriles del ecuador empresa pública. *Tesis de Maestría, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016.* pp. 130-160. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5119#sthash.QyU5Wjv.dpuf>.

3. Casanova Arribas, Rubén; & Barrera Doblado, Óscar.(2011) *Logística y comunicación en un taller de vehículos*. 2ª ed. Madrid : Ediciones Paraninfo, SA., pp. 14-102.
4. Dounce Villanueva, E.(2000) *La productividad en el mantenimiento industrial*. 2ª ed.México : Compañía Editorial Continental, S.A. DE C.V., pp. 2-60.
5. Mora Gutiérrez, A.(2009) *Mantenimiento planeación, ejecución y control*. Bogotá : Alfaomega Colombiana S.A., pp. 49-140.
6. Muñoz Abella, Belén (2012).*Mantenimiento industrial*. Recuperado de: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf>.
7. Statgraphics (2011).*Ajustando Distribución (Datos No Censurados)*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/13500831/Ajustando-Distribucion-Datos-No-Censurados>.
8. Tamariz Silva, Francisco Xavier.(2012) Implementación de metodología amfe (análisis de modo de falla y efecto en la línea de cocinas de la empresa induglob s.a.*Tesis Doctoral, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador*. 2012. pp. 10-45. Recuperado de: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2714/1/08685.pdf>.
9. Torres, L. D. (2010) *Mantenimiento su implementación y gestión*. 3ª ed.Córdoba : Universitas, pp. 17-300.

## References

1. Bestratén Belloví, Manuel; & Orriols Ramos, Rosa (2004). Modal analysis of failures and effects. AMFE. SEAT, S.A. Recovered from: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp\\_679.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_679.pdf).



2. Buenaño Moyano, Luis Fernando. (2016). Maintenance management plan based on the analysis of reliability, maintainability and availability indices of the locomotives type bbb 2400 of railways of Ecuador public company. Master thesis, Polytechnic School of Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 130-160. Recovered from: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/5119#sthash.xQyU5Wjv.dpuf>.
3. Casanova Arribas, Rubén; & Barrera Doblado, Óscar. (2011) Logistics and communication in a vehicle workshop. 2nd ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, SA., Pp. 14-102.
4. Dounce Villanueva, E. (2000) Productivity in industrial maintenance. 2nd ed. Mexico: Compañía Editorial Continental, S.A. DE C.V., pp. 2-60.
5. Mora Gutiérrez, A. (2009) Maintenance planning, execution and control. Bogotá: Alfaomega Colombiana S.A., pp. 49-140.
6. Muñoz Abella, Belén (2012). Industrial maintenance. Recovered from: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf>.
7. Statgraphics (2011). Adjusting Distribution (Uncensored Data). Recovered from: <https://es.scribd.com/document/13500831/Ajustando-Distribucion-Datos-No-Censurados>.

8. Tamariz Silva, Francisco Xavier. (2012) Implementation of amfe methodology (failure mode analysis and effect on the kitchen line of the induglob saTesisDoctoral company, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. 2012. pp. 10-45. Recovered from: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2714/1/08685.pdf>.
9. Torres, L. D. (2010) Maintenance its implementation and management. 3rd ed. Cordoba: Universitas, pp. 17-300.

©2019 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).