

Análisis del desgaste prematuro en elementos mecánicos de la caja automática Ecolife usada en buses marca Zhongtong
Analysis of premature wear in mechanical elements of the ecolife automatic box used in zhongtong brand buses

Evelin Lisseth Loor Hernández¹

RESUMEN:

La investigación propuesta, salió de la necesidad de determinar los factores que intervienen para el desgaste prematuro de elementos mecánicos de una caja automática Ecolife, en los buses de una flota determinada; con esta investigación se tendrá herramientas suficientes para determinar el correcto procedimiento a seguir por los propietarios de unidades, evitando así el problema presentado. Esta clase de cajas automáticas están destinadas a vehículos de transporte masivo, los mismos que están iniciando su operación en el país, siendo sus costos elevados por la tecnología que presentan; a lo que se quiere llegar con esta investigación, es a determinar un correcto y acertado plan de mantenimiento para eliminar notablemente un desgaste prematuro, y confirmando que lo indicado por el fabricante tanto en tipo de fluido lubricante como en modo de operación, junto a otros factores es lo correcto y evitará pérdidas económicas. Para obtener los resultados esperados, la investigación se limitará en vehículos del mismo tipo y que trabajan en las mismas rutas, para de esta manera asegurar la viabilidad de esta investigación, obteniendo resultados positivos y esperados por esta flota.

Palabras claves: transmisión automática; fluido lubricante; mantenimiento; desgaste; fricción; diagnóstico electrónico.

ABSTRACT:

The proposed research came from the need to determine the factors involved in the premature wear of mechanical elements of an Ecolife automatic gearbox, in determined fleet of buses. With this investigation, will be available sufficient tools to determine the correct procedure to be followed by unit owners, thus avoiding the presented problem. This class of automatic boxes are intended for mass transport vehicles, the same ones that are starting their operation in the country, their costs being high due to the technology they present; The aim of this research is to determine a correct and successful maintenance plan to notably eliminate premature wear,

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, evelinloor3128@utc.edu.ec

Análisis del desgaste prematuro en elementos mecánicos de la caja automática Ecolife usada en buses marca Zhongtong

and confirming that what is indicated by the manufacturer both in the type of lubricating fluid and in the operating mode, along with other factors is the right thing to do and you will avoid financial loss. In order to obtain the expected results, the research will be limited to vehicles of the same type and that work on the same routes, in order to ensure the viability of this research, obtaining positive and expected results for this fleet.

Keyword: *automatic transmission; lubricating fluid; maintenance; wear; friction; electronic diagnostics.*

Recibido 12 de enero de 2021; revisión aceptada 26 de abril de 2021

1. INTRODUCCIÓN

Las primeras transmisiones automáticas surgieron alrededor del año 1940 facilitando el manejo y ampliando la base de usuarios que podían manejar, mejorando el mercado automotriz; con el paso del tiempo se iban aplicando mejoras, para tener mayor velocidad y menor consumo de combustible; analizando constantemente nuevos y actuales materiales que la componen para evitar desgastes por fricción en bandas, embragues, entre otros componentes. De la mano vino los avances continuos en cuanto a los lubricantes para que respondan correctamente en el mecanismo de cambio, con el fin de proteger de mejor manera los materiales, en todo ese camino se obtuvo algunas novedades como por ejemplo: los lubricantes que se diseñaban para temperaturas normales en una zona, no funcionaban de manera óptima en zonas con temperaturas diferentes, otra novedad que se presentaba era la oxidación prematura por las altas velocidades de las turbinas, y ya se presentó la necesidad de estandarizar los tipos de aceite (color) para poder diferenciarlos de otros aceites que se colocan en los vehículos [1].

Junto con los avances tecnológicos en las transmisiones automáticas y tomando en cuenta que los principales fabricantes son países con una tecnología que avanza día a día, nace la importancia de esta Investigación y es definir un correcto plan de mantenimiento para una caja automática de procedencia alemana, bajo condiciones propias de nuestro País y operación de las mismas, disminuyendo notablemente el desgaste prematuro de elementos de fricción que la componen, alargando así su vida útil.

El mantenimiento en el que nos enfocaremos en esta Investigación, será el que se nos recomienda ejecutar periódicamente y tratando que se realice antes que ocurra la falla o avería, el mismo se realizará bajo las recomendaciones del fabricante, y se lleva a cabo siguiendo un programa previamente elaborado, detallando así el procedimiento a seguir y las actividades a realizar, optimizando de esta manera tiempo y recursos [2].

Análisis del desgaste prematuro en elementos mecánicos de la caja automática Ecolife usada en buses marca Zhongtong

Las cajas automáticas en vehículos pesados o de transporte masivo se están introduciendo al Ecuador de manera significativa, pese a los mitos que existen en torno a ellas; como por ejemplo, los costos elevados de reparación en el caso que lleguen a fallar, debido a su composición; ya que a diferencia de las cajas manuales que necesita la acción del conductor para presionar el embrague, desconectando el motor de la transmisión y mover la palanca para escoger la marcha necesaria, este tipo de cajas sustituye la acción humano-máquina con válvulas y/o sensores combinados con una computadora para programar el cambio de marcha [3], elementos que tiene mayor valor en el mercado automotriz, y a todo eso se suma la necesidad de contar con personal técnico calificado y capacitado en este tipo de reparaciones de la mano de un correcto mantenimiento específico para esta nueva tecnología y bajo condiciones propias, sin embargo, el estudio de la ergonomía y ha tenido gran influencia en la construcción de buses de transporte masivo con cajas automáticas, por sus largas horas y recorridos de trabajo; viajes en carreteras con colinas, curvas estrechas, grandes pendientes con potencia de motor reducida, luego de regreso al tráfico interurbano o urbano, conducción lenta, frenado y aceleraciones frecuentes, es lo que le da acogida necesaria en el país este tipo de cajas [4].

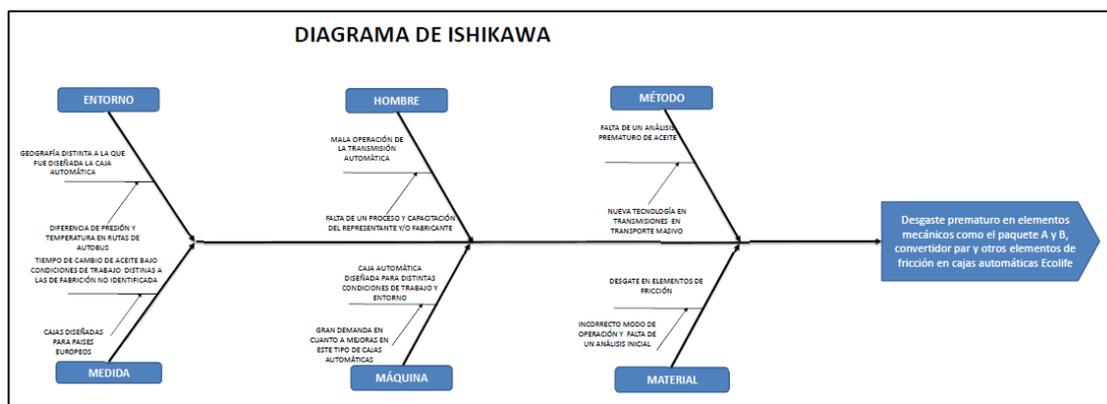


Figura 1. Diagrama de Ishikawa.

La figura 1, se establece la **Formulación del Problema:** Desgaste prematuro en elementos mecánicos como el paquete A y B, convertidor par y otros elementos de fricción en cajas automáticas Ecolife.

Una transmisión automática tiene como finalidad proporcionar diferentes rangos de velocidad que va desde neutro, reversa y marchas hacia adelante; y cuya función principal es incrementar el par o fuerza torsional entre el motor y las ruedas propulsoras, y de esta manera el resultado obtenido es el rendimiento de vehículo [5]. Las cajas automáticas Ecolife con tecnología alemana han sido introducidas al país en buses de alta gama, ofreciendo ventajas como, disminución de consumo de combustible y por tanto las emisiones de CO₂, incremento de

Análisis del desgaste prematuro en elementos mecánicos de la caja automática Ecolife usada en buses marca Zhongtong

eficiencia, más ligeras y resistentes, más silenciosas por la reducción del régimen del motor y que el trayecto sea más cómodo, ya que el cambio de marchas será más rápido y suave [6], sin embargo, las mismas requieren un análisis profundo en cuanto al desgaste prematuro que están presentando en ciertos elementos mecánicos.

El correcto funcionamiento de las cajas automáticas depende en su mayoría de la lubricación y el tipo de fluido lubricante que se utilice, analizando características y propiedades de los mismos. En este tipo de cajas de cambios es muy recomendable utilizar siempre fluidos hidráulicos del tipo exacto que recomiende el fabricante, para asegurar de esta forma el funcionamiento óptimo del sistema [7]. Los elementos mecánicos que más presentan un desgaste, son los paquetes, convertidor par, entre otros elementos de fricción, ocasionando estos daños costos elevados de reparación y pérdidas económicas significativas a los propietarios de los mismos en cuanto a la producción, teniendo en cuenta que son vehículos de trabajo.

El fluido de lubricación aparte de lubricar, enfriar y limpiar los componentes, tiene la función de transferir potencia al convertidor de par y proporcionar la presión necesaria para aplicar los diferentes embragues, paquetes entre otros componentes [5]. Por la falta de un análisis de los causales, tomando en cuenta factores importantes como son las geográficas de las rutas, temperaturas, presiones, kilometraje, tiempo de mantenimiento, homologaciones de fluidos; se está reduciendo la vida útil de estas cajas.

Objetivo General

Analizar las causales del desgaste prematuro de elementos mecánicos, de una caja de Transmisión Automática Ecolife, partiendo del análisis de aceite y los cambios de temperatura que sufre la mismas.

2. METODOLOGÍA

- El enfoque de esta investigación se lo realizará de forma cuantitativa, debido a que se partirá de la toma de distintas variables y mediciones en torno a la investigación propuesta.
- La investigación es de tipo experimental, ya que se manejará variables en condiciones altamente controladas, y se observará como estas dan resultados o datos como resultado del muestreo realizado. Permitiendo de esta manera establecer diferentes Hipótesis y contrastarlas a través de un método científico
- La técnica de la recolección de información se realizará por toma de mediciones, según las variables propuestas.

Análisis del desgaste prematuro en elementos mecánicos de la caja automática Ecolife usada en buses marca Zhongtong

- Se partirá de la siguiente hipótesis: El desgaste prematuro de elementos mecánicos de la caja Ecolife, se da a consecuencia de la falta de un diagnóstico acertado del tiempo (kilometraje) de cambio y el tipo de fluido lubricante utilizado, teniendo en cuenta factores de operación, características geográficas de rutas en las que operan los vehículos.

2.1. Variables del proceso

Tabla 1. Variables independientes.

Descripción	Unidad	Instrumento
R.P.M	rev/min	TESTMAN
Temperatura	°C	TESTMAN
Viscosidad	mm ² /s	Viscosímetro
Modo de Conducción	-	TESTMAN
Códigos de falla	-	TESTMAN

Tabla 2. Variables dependientes

Descripción	Unidad	Instrumento
Intervalo de mantenimiento	h	Cálculos
Desgaste	m.m.	Pie de Rey
Costo VAN / TIR \$	\$	Ecuaciones

2.2. Planificación de Mantenimiento

La planificación del mantenimiento es un conjunto de actividades que nos indican el campo de acción en el que se debe actuar y las oportunidades para realizarlas de manera satisfactoria, partiendo de los recursos y medios necesarios para poder llevarlos a cabo.

En la planificación debemos tener en cuenta los siguientes recursos:

- Planes de mantenimiento, desarrollados y aplicables.
- Manejo de repuestos y partes, stock o facilidad de obtenerlos.
- Recursos Humanos, capacitados y calificados.
- Manejo de contratistas, calificados.
- Recursos físicos, facilidad y accesibilidad a realizar las actividades propuestas.
- Recursos financieros, proyección de gastos necesarios para el cumplimiento.

Para el desarrollo de la Gestión de mantenimiento se realizan los siguientes pasos y/o fórmulas:

- Análisis de criticidad (C)

Análisis del desgaste prematuro en elementos mecánicos de la caja automática Ecolife usada en buses marca Zhongtong

- Criterio de selección del tipo de mantenimiento a nivel de máquina.
- Determinación del estado técnico en mantenimiento preventivo planificado
- Determinación del tiempo real de operación (HROP)
- Determinación de la cantidad de fallas (NTMC)
- Tiempo de eliminación de las fallas o por acciones de mantenimiento programado (HTMC)
- Tiempo medio entre fallas (TMEF)
- Tiempo medio para la reparación (TMPR)
- Disponibilidad de equipos (DIS)
- Duración del ciclo de reparación (T)
- Determinación del tiempo entre operaciones del ciclo (t_o)
- Cálculo del tiempo entre reparaciones (t_r)

2.3. Costo de Mantenimiento

Para obtener el costo del mantenimiento por facturación y el costo para la eliminación de las fallas por tipo de equipo en cada mes, se utilizan también las órdenes de mantenimiento. En ellas se refleja la información relacionada con el costo de la mano de obra empleada durante la ejecución de los diferentes trabajos, el costo de los materiales utilizados en el mantenimiento o reparación [10].

$$\text{COMF} = \frac{\text{FEP}}{\text{CTMP}} \quad (1)$$

- **Costo de mantenimiento por facturación**

Donde: COMF: Costo de mantenimiento por facturación; [\$]. FEP: Facturación de la empresa en el período; [\$]. CTMP: Costos totales de mantenimiento en ese período; [\$]

$$\text{COEF} = \text{CM} + \text{SD} + \text{OG} \quad (2)$$

- **Costo de mantenimiento para eliminación de fallas**

Donde: COEF: Costo de mantenimiento para eliminación de fallas; [\$]. CM: Consumo de materiales; [\$]. SD: Salarios devengados; [\$]. OG: Otros gastos; [\$].

2.4. Instrumento para determinar fallas y sub características en Cajas Automáticas Ecolife

Análisis del desgaste prematuro en elementos mecánicos de la caja automática Ecolife usada en buses marca Zhongtong

Las fallas de este tipo de cajas se determinan mediante un diagnóstico electrónico, el mismo que se lo realiza con la herramienta llamada ZF-TESTMAN, esta búsqueda dirigida de fallos le permite al personal técnico calificado encontrar rápidamente el fallo en el sistema de transmisión, y una vez detectado el mismo, el software propone medidas de correctivas [11].

Según el producto ZF, pueden ajustarse todos los datos específicos del vehículo o bien seleccionarse y adaptarse los programas de marcha (dependiendo de la versión y aplicación del software ZFTESTMAN).

Programación (flasheado)

Pueden instalarse archivos de programación disponibles (dependiendo de la versión y aplicación del software ZF-TESTMAN).



Figura 2. Interfaz de comunicación ZF-TESTMAN.

Fuente: [11]

2.5. Equipamiento de laboratorio para el análisis de propiedades del aceite.

- Espectrómetro de masa
- Viscosímetro
- Analizador de partículas

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis del desgaste prematuro en elementos mecánicos de la caja automática Ecolife usada en buses marca Zhongtong

El análisis de aceite consiste en un diagnóstico realizado por un laboratorio certificado, el mismo que nos expresa los resultados de los materiales contaminantes encontrados en el aceite, y la viscosidad del mismo, el análisis se lo realizo al 19% del total de la flota de 80 unidades.

3.1. Contaminación

Un factor importante para el análisis de la contaminación de aceite es el promedio del kilometraje del total de la flota, la misma que estaría en 179.867 Km

El rango aceptable de:

- Fe 180 mg/kg (Piñones, Eje de masa)
- Al <100 mg/kg (Carcaza)
- Cu <100 mg/kg (Sincronizados)
- Si <100 mg/kg (Discos de embrague)
- H2O <0.1%

Por lo que tenemos los siguientes resultados:

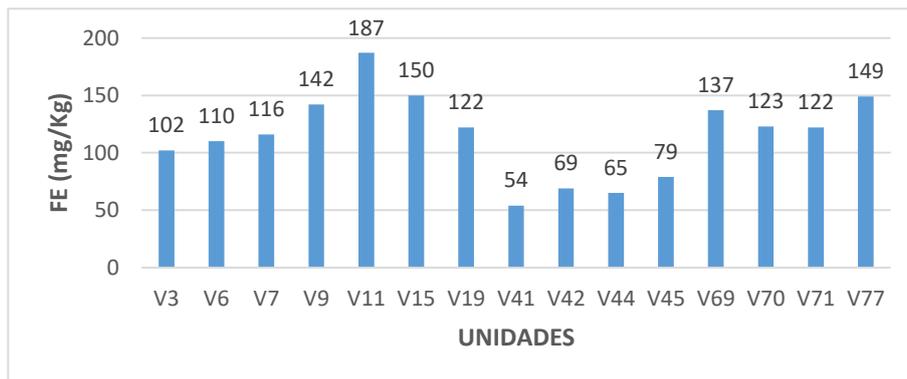


Figura 3. Contaminación de Fe en el Aceite.

De las 15 unidades que se realizó el análisis de aceite se puede determinar que la unidad V11 esta para revisión por una alta presencia Fe en el aceite (Figura 3), y las unidades V15, V69 y V77 estarían en seguimientos constante.

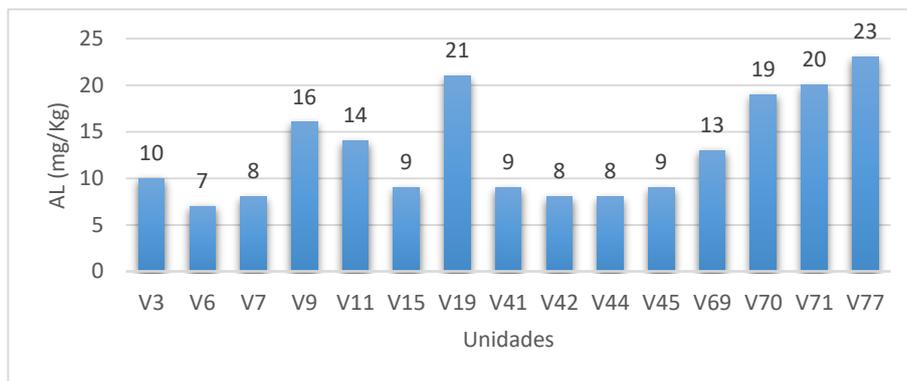


Figura 4. Contaminación de Al en el Aceite.

De las 15 unidades que se realizó el análisis de aceite se puede determinar que ninguna unidad supera el límite condinatorio de presencia de Al (Figura 4), sin embargo, las unidades V19, V70, V71, V77 estarían en seguimiento constante.

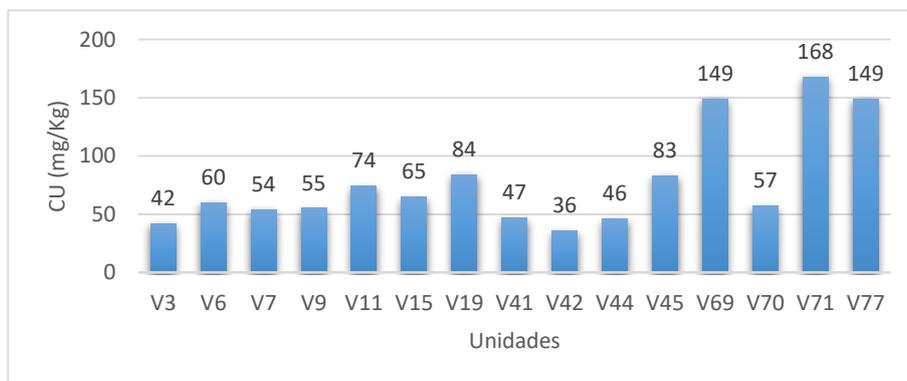


Figura 5. Contaminación de CU en el Aceite.

De las 15 unidades que se realizó el análisis de aceite se puede determinar que las unidades V69, V71 y V77 necesitarían una revisión por una alta presencia Cu en el aceite (Figura 5), y las unidades V11, V19 y V45 estarían en seguimientos constante.



Figura 6. Contaminación de SI en el Aceite.

3.2. Viscosidad

Partiendo de la importancia de la viscosidad como propiedades de un aceite lubricantes, y comparando con las propiedades de aceite recomendado por el fabricante se puede analizar la variación o pérdida de propiedades con el tiempo de uso del mismo.

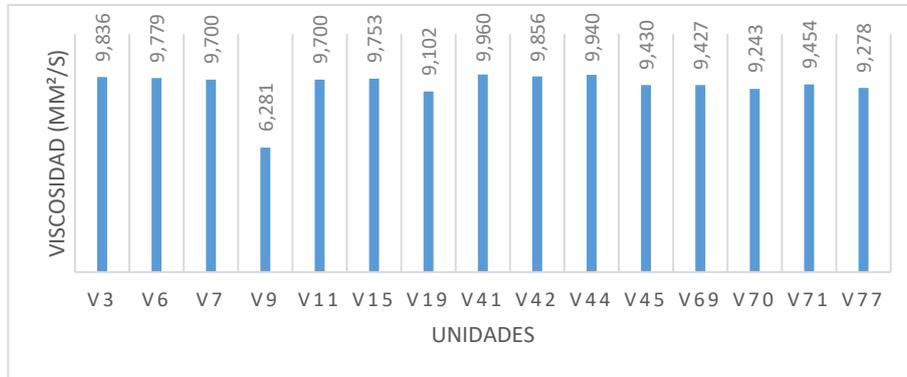


Figura 7. Análisis de Viscosidad.

De las 15 unidades que se realizó el análisis de aceite, y se puede determinar la unidad V9 es la que presente un bajo índice de viscosidad (figura 7), mientras que el resto de unidades se mantienen superiores a 9 mm²/s.

3.3. Temperatura

El análisis de temperatura de aceite es otro factor importante al momento de determinar si la caja de cambios está fallando, o tener en cuenta que unidades son necesarias hacer un seguimiento, con el fin de evitar daños significativos.

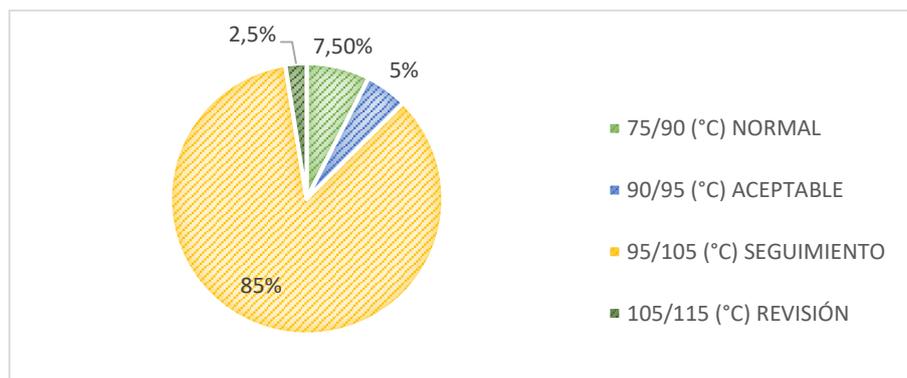


Figura 8. Análisis Temperatura (°C).

En la Figura 8 se puede apreciar que un 85 % de las unidades a presentando niveles de temperatura entre 95 a 105 °C, y es importante el seguimiento que se realice, ya que es otro factor importante para determinar el mantenimiento apropiado que se debe realizar en esas

Análisis del desgaste prematuro en elementos mecánicos de la caja automática Ecolife usada en buses marca Zhongtong

unidades; también hay que tener en cuenta que el 2,5 % de unidades que están para revisión, los propietarios de las unidades han decidido parar su funcionamiento.

3.4. Propuesta de Plan de Mantenimiento de Resultados

A partir de los resultados obtenidos a partir de variantes identificadas en este proceso de investigación y bajo el enfoque de la situación problemática propuesta se desarrolla el Plan de Mantenimiento que se debe llevar a cabo en la Cajas Automáticas Ecolife, demostrando la viabilidad del instrumento metodológico desarrollado y propuesto.

3.4.1. Estado Técnico del Mantenimiento Preventivo Planificado

Bajo los esquemas de mantenimiento realizados hasta la actualidad, el **rendimiento obtenido es de 69.09%**, por lo que determinados que la Caja Automática Ecolife de la flota analizada se encuentra en un estado MALO, y sería las consecuencias de la falta de un Correcto Plan de Mantenimiento.

3.4.2. Selección de un Plan de Mantenimiento

Según los criterios propuestos el plan de mantenimiento que son necesario realizar a la caja de cambio es **Preventivo con medición de parámetros y síntomas**, considerando que los síntomas se analizaron según lo indicado por los conductores de las unidades y realizando una prueba de ruta, y las mediciones de parámetros se realizaron con el elemento de diagnóstico electrónico.

se analiza los principales elementos de la caja se obtiene que el mantenimiento a realizar es el **Predictivo, Preventivo con medición de parámetros y síntomas y Preventivo según índices de fiabilidad**, dependiendo del elemento.

3.4.3. Evaluación periódica

Desarrollados todos los pasos a seguir en esta investigación, y una organizado el sistema de mantenimiento, se procede a la evaluación del mismo:

Tabla 4. Disponibilidad técnica del equipo.

Tiempo de operación (horas)	Cantidad de fallas (unidad)	Tiempo de eliminación de fallas por acciones de mtto.	Tiempo entre fallas (horas)	Tiempo medio de reparación (horas)	Disponibilidad de equipos (%)
-----------------------------	-----------------------------	---	-----------------------------	------------------------------------	-------------------------------

Análisis del desgaste prematuro en elementos mecánicos de la caja automática Ecolife usada en buses marca Zhongtong

		Programado (horas)			
HROP	NTCM	HTMC	TMEF	TMPR	DISP
7714,19	11,00	\$ 52,50	701,29	4,77	99,32%

Según los resultados de la disponibilidad técnica del equipo, se tiene un valor de 99,32%, se debe, que, al ser vehículos de transporte urbano, y ser parte de una flota, los mismos se los puede reemplazar o sustituir de manera inmediata con otra unidad, para de esta manera solventar temas mecánicos que afectan a su funcionamiento.

3.4.4. Costo de mantenimiento

Tabla 5. Costo de mantenimiento.

Facturación de la empresa en el período (\$)	Costos totales de Mtto. en ese período (\$)	Costo de mantenimiento por facturación	Consumo de materiales (\$)	Salarios devengados (\$)	Otros gastos (\$)	Costo de mtto. por eliminación de fallas
FEP	CTMP	COMF	CM	SD	GO	COEF
\$700.000,00	\$1.340,00	\$522,39	\$5.943,49	\$140,70	\$50,00	\$6.134,19

Se concluye que el costo de mantenimiento por facturación (COMF) alcanza el valor de 522,39 \$; y estaría dentro de los rangos de un valor permisible dentro de los gastos totales de la empresa. El costo para eliminación de fallas (COEF) 6134,19 \$, a partir de este valor se determinará la rentabilidad de las actividades de mantenimiento en la empresa.

Y bajo los conceptos de VAN y TIR, se puede sugerir a los propietarios de vehículos con cajas automáticas Ecolife, realizar un ahorro programado de 141,67\$, para cubrir los gastos de eliminación de fallas que se presentaría en los ciclos analizados, y confirmando siempre la rentabilidad del plan de mantenimiento sugerido en esta investigación, ya que la TIR sería del 22% quedando dentro de la tasa de interés.

4. CONCLUSIONES

- El desgaste prematuro de elementos mecánicos de las cajas automáticas, se ha dado en su mayoría, por no identificar las acciones a seguir y el tiempo que se debe realizar los

Análisis del desgaste prematuro en elementos mecánicos de la caja automática Ecolife usada en buses marca Zhongtong

mantenimientos, por esta razón, y bajo los esquemas de mantenimiento realizados hasta la actualidad, el rendimiento obtenido es de 69.09%, con un estado MALO.

- El porcentaje de disponibilidad técnica se obtuvo el 99,32%, debido a que son vehículos reemplazables, por lo que la es fácil la planificación del mantenimiento o corrección de fallas.
- Costo de mantenimiento por facturación (COMF) alcanza el valor de 522,39 \$; y estaría dentro de los rangos de un valor permisible dentro de los gastos totales de la empresa. El costo para eliminación de fallas (COEF) 6134,19 \$
- Se obtiene un valor actual neto de 9117,31 \$, para el mismo caso el valor de la TIR calculado es de 55%, siendo este mayor que la tasa de interés, confirmando de esta manera la rentabilidad de los procesos de mantenimiento al ser aplicado correctamente a los vehículos con cajas automáticas Ecolife.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Widman, «WIDMAN INTERNATIONAL SRL,» [En línea]. Available: <https://www.widman.biz/boletines/50.php>. [Último acceso: 01 09 2020].
- [2] Á. Bernal, Manejo y Optimización de las Operaciones de Mantenimiento Preventivo y Correctivo en un Taller Automotriz, Guayaquil, 2012.
- [3] J. A. Carvallo Toral y P. X. Dávila Vintimilla, Plan de Capacitación de Mantenimiento y utilización adecuada de lubricantes para Transmisiones Automáticas de vehículos livianos, Azual: Universidad el Azuay, 2011.
- [4] Z. P. p. A. y. Autocares, «ZF Friedrichshafen AG,» [En línea]. Available: https://www.zf.com/products/en/buses/products_29245.html. [Último acceso: 31 08 2020].
- [5] Anónimo, Transmisiones Automáticas (CAPACITACIÓN GENERAL MOTORS), Latacunga, 2014.
- [6] A. Grossl, Interviewee, EcoLife 2: el nuevo estándar para las transmisiones de autobuses urbanos. [Entrevista]. 17 Octubre 2019.
- [7] J. Borja, J. Fenoll y J. Seco de Herrera, Sistema de Transmisión y Frenado, España: MacMillan, 2008.
- [8] S. García, Organización de Gestión Integral de Mantenimiento, Madrid: Díaz de Santo S. A., 2003.
- [9] E. Neto, Mantenimiento Industrial, Macas: Ilustrados, 2008.
- [10] A. Azoy, «Método para el cálculo de indicadores,» Ingeniería Agrícola, vol. 4, n° 4, pp. 45-49, 2014.
- [11] C. d. C. Zf, Manual ZF, Alemania - Colombia: Copyright © ZF Friedrichshafen AG, Desconocido.