

Análisis de la influencia del filtro de aire en la contaminación del lubricante de los motores de combustión interna en la flota de microbuses de la empresa Coomicro Ltda. en la ciudad de Cúcuta.

Cristrian Manuel Beltrán Téllez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Ingeniería Automotriz

Director

Isnardo González Jaimes

Especialista en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial De Santander

Escuela De Ingeniería Mecánica

Especialización En Ingeniería Automotriz

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Dedico este título a mi familia que han sido mi motor y soporte en todos los buenos y malos momentos en mi vida. Un agradecimiento con mucho cariño a los profesores y compañeros de la especialización que aportaron valiosa experiencia para mi vida profesional.

Tabla de contenido

Introducción.....	14
1. Planteamiento del problema	15
1.1 Justificación.	16
2. Objetivos.....	18
2.1 Objetivos Generales:.....	18
2.2 Objetivos Específicos:	18
3. Descripción del Proyecto	19
3.1 Marco Teórico.....	19
3.1.1 Ciclo de motores cuatro tiempos.....	21
3.1.2 <i>Marco Conceptual</i>	25
3.1.3 <i>Marco Legal</i>	27
4.1 Tipo De Investigación.....	29
4.2 Técnicas E Instrumentos De Recolección De La Información.....	30
5. Causa Raiz.	31
5.1 Sub-Causas:	34
5.1.1 Intervalos de reemplazo del filtro de aire demasiado prolongados.....	34
5.1.2 Limpieza inadecuada del filtro de aire	34
5.1.3 Ausencia de verificación periódica del sistema de admisión	35

INFLUENCIA DEL FILTRO DE AIRE EN LA FLOTA DE COOMICRO LTDA.	4
5.1.4 Componentes del motor en mal estado, presencia de material particulado	35
5.1.5 Condiciones ambientales pesadas en climas secos y partículas en exceso	35
5.1.6 Calidad o características de los componentes de un filtro:	36
6. Evaluación Del Estado Inicial De Los Filtros De Aire En La Flota Coomicro.	41
6.1 Objetivo del análisis	42
6.2 Marco técnico del sistema de filtración de aire.....	42
6.2.1 Función del filtro de aire en el motor	42
6.2.2 Tipos de filtros de aire utilizados en flotas vehiculares	43
6.3 Metodología para la evaluación del estado inicial	43
6.3.1 Recolección de información de la flota	43
6.3.2 Inspección física de los filtros de aire	46
6.3.3 Evaluación del grado de restricción al flujo de aire	47
6.4 Análisis del nivel de desgaste de los filtros	48
6.4.1 Resultados de la inspección visual.....	48
6.4.2 Clasificación del desgaste	48
6.5 Frecuencia real de reemplazo vs. recomendaciones del fabricante	49
6.5.1 Intervalos recomendados por el fabricante	49
6.5.2 Frecuencia real de reemplazo en la flota	50
7.Introducción técnica al método de bloqueo de poros	54
7.1 Descripción general del ensayo de bloqueo de poros.....	54

INFLUENCIA DEL FILTRO DE AIRE EN LA FLOTA DE COOMICRO LTDA.	5
7.2. Fases del ensayo de bloqueo de poros.....	55
7.2.1 Fase 1: Toma y obtención de muestra	55
7.2.2 Fase 2: Selección de mecanismo filtrante.....	56
7.2.3 Fase 3: Filtración y bloqueo de poros	56
7.2.4 Fase 4: Análisis de registros de datos.....	57
7.2.5 Fase 5: Lectura de resultados.....	58
7.3. Investigación	59
8. Plan De Mejora La Ejecución Del Mantenimiento Preventivo De Los Filtros Aire.....	60
8.1 Fundamentación técnica del sistema de admisión y filtración	60
8.2 Relación técnica entre filtro de aire y contaminación del lubricante	60
8.3 Valoración técnico de los vehículos muestra.....	61
8.4 Determinación de la vida útil real del filtro de aire.....	62
8.5 Plan de mejora propuesto para un mantenimiento preventivo	63
8.5.1 Integración al plan de mantenimiento actual	63
8.5.2 Selección técnica del sistema de filtración	64
8.5.3 Control mediante análisis de aceite	65
8.5.4 Impacto técnico–económico esperado.....	66
8.5.5 Verificar intervalo real de cambio	66
9. Conclusiones:.....	69
10. Recomendaciones.....	72

11.Referencias Bibliográficas	73
-------------------------------------	----

Lista de tablas.

Tabla 1. Información de flota, Muestra de los equipos	45
Tabla 2. Inspección física	46
Tabla 3. Evaluación de consumo.....	47
Tabla 4. clasificación	48
Tabla 5. Clasificación de Desgaste Muestra	49
Tabla 6. Clasificación de Tamaño muestra	61
Tabla 7. Recomendaciones, Condición de operación	63
Tabla 8. Inspección, Estado de inspección.....	64
Tabla 9. Criterio de selección, Comparación técnica de filtros	65
Tabla 10. Parámetros, Indicadores del análisis de aceite	65
Tabla 11. Parámetros, Indicadores de impacto técnico	66
Tabla 12. Datos, Intervalo real de cambio	67
Tabla 13. Análisis, Kilometrajes	68

Lista de Figuras.

Figura 1. Componentes del motor de combustión interna.	20
Figura 2. Esquema de un ciclo Otto de 4 tiempos.	21
Figura 3. Ciclo de motor 4 tiempos.	23
Figura 4. Capas filtrantes en lecho multicapa.	24
Figura 5. Diagrama Ishikawa.....	39

Glosario.

Aceite: sustancia líquida que lubrica un elemento o componente y permite de este modo disminuir la fricción, influyendo en el desgaste de un equipo.

Causa raíz: motivo principal de un problema o falla, principal consecuencia y acción de una actividad específica, identificada como la causa principal.

Diagrama de Ishikawa: utilizado como herramienta gráfica de causa y efecto, que permite identificar posibles errores de una acción común de dentro de una organización o actividades.

Fibra: filamento delgado y flexible que forma parte de ciertos materiales, como telas, entre otros.

Filtro: elemento compuesto de materiales filtrantes como fibra o papel que permite de cierto modo retener impurezas o partículas sólidas no deseadas en equipos como motores.

Fricción: resistencia que es generada cuando dos o más superficies de cualquier material están en contacto y se mueven entre sí, creando un leve roce y de este modo aumentando su desgaste.

Mantenimiento: proceso o conjunto de operaciones a realizar que permite la conservación, recuperación o restauración de un equipo determinado, aumentando o estirando su vida útil.

Mantenimiento correctivo: proceso o reparación realizada al momento de ocurrir una falla, intervención inmediata después de ocurrida la falla.

Mantenimiento preventivo: proceso o reparación programada realizada con planificación y proyección evitando fallas ocasionales, permitiendo prolongar la vida útil del equipo y mejorando el uso de este.

Motor combustión: máquina que transforma energía de combustión química a través de material en energía mecánica.

Partículas: fracciones solidas pequeñas definidas o identificas en micras que se suspenden en un determinado fluido o caudal.

Papel: elemento elaborado a partir de fibras vegetales comunes de manera prensada, usadas para escribir, imprimir o filtrar, es un material conocido a nivel mundial y utilizado en distintas prácticas.

Poros: pequeños orificios o espacios que se encuentran en un elemento, componente o material que permite el paso constante de un fluido.

Saturación: estado de acumulación en el que se encuentra un elemento u otros componentes o en exceso de este, como partículas sólidas, entre otras.

Vida útil: tiempo estimado de durabilidad de un equipo o máquina, que funciona y/o opera adecuadamente en sus actividades diarias.

Resumen

Título: Análisis de la influencia del filtro de aire en la contaminación del lubricante de los motores de combustión interna en la flota de microbuses de la empresa Coomicro Ltda. en la ciudad de Cúcuta. *

Autor: Cristian Manuel Beltrán Téllez**

Palabras Clave: Ishikawa, Automotor, Filtro, Mantenimiento, Indicador, Motor.

Descripción:

el estudio o proyecto de mejoramiento realizado a través de un análisis de influencia de manera cualitativa de los filtros de aire de los equipos de la empresa Coomicro Ltda en la ciudad de Cúcuta. Para la planeación y ejecución de la influencia de saturación de partículas de polvos en los distintos filtros de aire utilizados y/o desempeño del mismo, se procede a realizar un análisis como medida de un mantenimiento preventivo optimo, se registran y utilizan herramienta de tabulación para su posterior análisis. Al establecer con claridad un criterio de ingeniería aplicado de manera profesional aplicado en el transcurso del curso estudiantil de la especialización, a través de figuras y tablas que indican y describen distintas variables como material de apoyo, permite fomentar un proceso metodológico cualitativo de manera certera y conciso aplicado en los equipos automotores de los filtros de aire como parte de una rutina de mantenimiento preventive.

*Trabajo de Grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en ingeniería automotriz.
Director: Isnardo González Jaimes. Especialista en Ingeniería Mecánica

Abstract

Title: Analysis of the Influence of the Air Filter on Lubricant Contamination in Internal Combustion Engines of the Coomicro Ltda. Minibus Fleet in the City of Cúcuta. *

Author: Cristrian Manuel Beltrán Téllez**

Keywords: Ishikawa, Automotive, Filter, Maintenance, Indicator, Engine.

Description:

his improvement study or project was conducted through a qualitative influence analysis of the air filters used by Coomicro Ltda in the city of Cúcuta. To plan and implement the influence of dust particle saturation on the various air filters and/or their performance, an analysis was performed as a measure of optimal preventive maintenance. Data was recorded, and tabulation tools were used for subsequent analysis. By clearly establishing a professionally applied engineering criterion, developed during the course of the specialization, and using figures and tables that indicate and describe different variables as supporting material, a precise and concise qualitative methodological process was fostered for the automotive air filter equipment as part of a preventive maintenance routine

*Trabajo de Grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en ingeniería automotriz.
Director: Isnardo González Jaimes. Especialista en Ingeniería Mecánica

Introducción

Las empresas de servicios de transporte publico colectivo de pasajeros a nivel Colombia, son las responsables directamente del traslado de las personas en cada una de las ciudades, municipios o localidad. Son una de las mayores fuentes de ingreso por su impacto y disponibilidad hace parte ampliamente del sistema económico del país. Las empresas de esta índole utilizan vehículos como microbuses o buses que varían desde la necesidad de la población. Por lo cual es importante que los vehículos cuenten con mantenimiento preventivos que permita tener el equipo en óptimas condiciones, cumpliendo con su respectiva normatividad ambiental. Por ello, es indispensable verificar la influencia de cada uno de los componentes del automotor como lo son los filtros de aire, encargados de retener las partículas solidas del ambiente evitando que realicen daños en el motor o desgaste prematuro. Este proyecto, está enfocado en el análisis cualitativo de la influencia del filtro de aire en los aceites de un motor, análisis, verificación y/o estudio de este enfocado en la flota de microbuses de la empresa Coomicro Ltda. en la ciudad de Cúcuta.

1. Planteamiento del problema

La empresa Coomicro Ltda. Se dedica al transporte terrestre de pasajeros en el área metropolitana de Cúcuta, cuenta con un parque automotor de 170 microbuses con motores de combustión interna, estos vehículos hacen mantenimientos preventivos y correctivos de manera periódica en la que incluyen el reemplazo de piezas y elementos desgastados, como factor principal se realiza el cambio de aceite de manera mensual teniendo en cuenta los cronogramas establecidos, no obstante, en este proceso, no se le da la importancia en el sistema de admisión al estado ni reemplazo oportuno del filtro de aire, dado que el principal propósito es reducir los costos operativos, sin tener en cuenta el desgaste interno ni vida útil del filtro.

Esta omisión en el proceso de mantenimiento puede tener consecuencias graves en la protección del motor por el material particulado acumulado o presente en el ambiente, adquiriendo un desgaste interno. Cuando el filtro del aire no cumple su función, hay una gran posibilidad de que dichas partículas contaminen el lubricante siendo el principal recurso del motor para reducir fricción, acelerando el desgaste de las piezas y componentes internos del vehículo, esta situación afecta la vida útil de los elementos del automotor y también incrementa los costos que conllevan a reparaciones anticipadas.

Por otro lado, Coomicro Ltda. Entiende que como organización debe implementar metodologías que ayuden al cuidado y prolongación de la vida útil de los vehículos, sin descuidar los intereses financieros de la empresa, además como instrumento de planificación

se determinara la mejor opción en filtración para el sistema de admisión que ayude al uso periódico del mismo.

En este contexto, surge la necesidad de analizar el entorno técnico y económico de la influencia del filtro del aire en la contaminación del lubricante de los motores de combustión interna, con el objetivo de evitar reparaciones tempranas por falta de mantenimiento y establecer medidas que contribuyan a mejorar el rendimiento y durabilidad de la flota vehicular de la empresa.

1.1 Justificación

Este proyecto esta enfocado en realizar un análisis cualitativo de la influencia que realiza el filtro de aire en los componentes y/o aceite de un motor con el fin de mejorar los procesos de mantenimiento, seleccionar el elemento adecuado, alargar la vida útil de los vehículos, ahorrar costos de mantenimiento obteniendo el momento adecuado del cambio, optimizar estándares de calidad y evitar desgastes prematuros en los elementos internos de los motores.

Un mantenimiento adecuado en los vehículos con motores de combustión interna es realmente importante para garantizar una buena eficiencia y durabilidad, especialmente en flotas de microbuses dedicadas al transporte público por su extensas horas de servicio, como es el caso de la empresa Coomicro Ltda. en la ciudad de Cúcuta, en este mantenimiento, todo lo ligado al sistema de admisión juega un papel importante en la protección del desgaste de piezas por la entrada de partículas contaminantes que se encuentran presentes en el ambiente.

Pese a su importancia, en el programa de mantenimiento periódico que tiene la empresa, solamente se prioriza el cambio del lubricante sin considerar que un filtro en mal estado acelera la contaminación de dicho aceite y que además desencadena consecuencias como el desgaste prematuro, fallas recurrentes, aumento del consumo del combustible, rayaduras de piezas internas del motor y costos operativos a corto y largo plazo.

Desarrollar este trabajo de investigación permitirá analizar de analítica el paralelo entre el estado del filtro y la contaminación del aceite que lubrica el motor en la flota de microbuses de Coomicro Ltda.

2. Objetivos

2.1 Objetivos Generales:

Analizar la influencia que tiene la condición, deterioro progresivo y los intervalos de reemplazo de los filtros de aire de la flota vehicular de Coomicro Ltda.

2.2 Objetivos Específicos:

Identificar las causas raíz de la contaminación del lubricante por ingreso de material particulado teniendo en cuenta el estado y tipo de filtro de aire instalado en los motores de la flota de Coomicro Ltda con la estrategia de análisis de Diagrama Ishikawa.

Evaluar el estado inicial de los filtros de aire utilizados en la flota de Coomicro Ltda., identificando su nivel de desgaste y la frecuencia real de reemplazo frente a los intervalos recomendados del fabricante.

Describir de manera cualitativa la aplicación del método de bloqueo de poro, y de qué manera ayudaría realizarlo en la flota de Coomicro Ltda.

Proponer un plan de mejora para la ejecución del mantenimiento preventivo de los filtros de aire, teniendo en cuenta las recomendaciones y vida útil real del equipo.

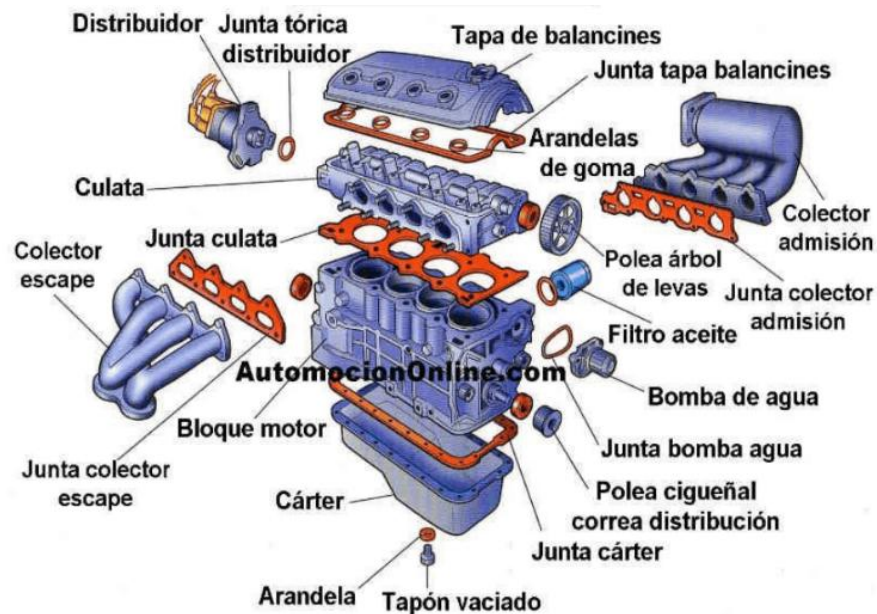
3. Descripción del Proyecto

3.1 Marco Teórico

Motor de Combustión interna: Los motores de combustión interna (MCI) son los más utilizados en el transporte público urbano de pasajeros, generalmente diésel de cuatro tiempos, estos se diseñan para condiciones como: largas jornadas de trabajo, frecuentes ciclos de arranque y exposición constante a ambientes con presencia de partículas contaminadas. Según Dziubak (2022), “El ingreso de contaminantes en el aire de admisión acelera el desgaste de piezas del motor. Estudios señalan que partículas abrasivas de entre 5 y 20 μm generan deterioro significativo”.

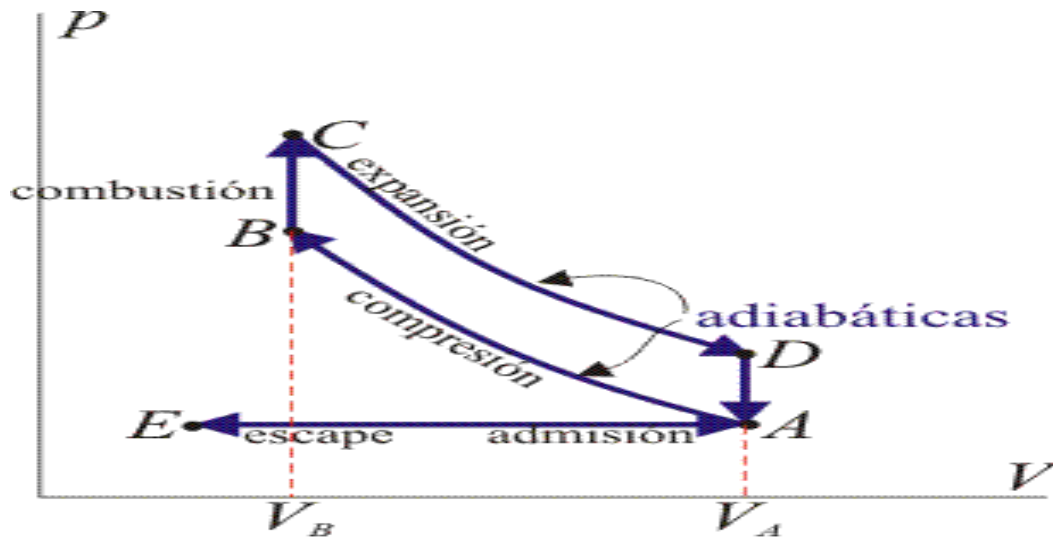
La relación entre el aire y el combustible deben generar una correcta mezcla para que ocurra una combustión completa, ligado a esto, el mantenimiento en la admisión del vehículo es importante para el buen rendimiento del motor, un sistema de admisión contaminado puede comprometer la eficiencia volumétrica, la calidad de la combustión y el estado de los componentes internos.

El motor de combustión interna a lo largo del tiempo ha mejorado en aspectos significativos el rendimiento que hoy en día es hasta del 35% o 40%, esta no es única mejora que se ha desarrollado, sino no también, el uso de nuevas tecnologías, la electrónica, los materiales entre otros, han conseguido la evolución en el sector automotriz.

Figura 1.*Componentes del motor de combustión interna.**Nota: tomado de AutomocionOnline.com. "Partes del motor."*

Determinando el principio termodinámico, en la cámara o cilindro hay un combustible mezclado con aire repartido estequiométricamente, que, al instante de ser accionado por calor, el oxígeno del aire y el combustible reaccionan, aumentando la presión y la temperatura de dicho gas, expandiéndose y presionando al pistón con una fuerza F generando así un desplazamiento, lo cual genera un trabajo que hace funcionar el motor.

Por lo tanto, para resumir el ciclo a grandes rasgos de un motor de combustión interna hay cuatro procesos que se componen de la admisión (entrada de aire y combustible), compresión (presión de gases reactivos), expansión (explosión del gas, absorción de calor, aumento depresión) y escape (salida de gases para iniciar nuevamente el proceso).

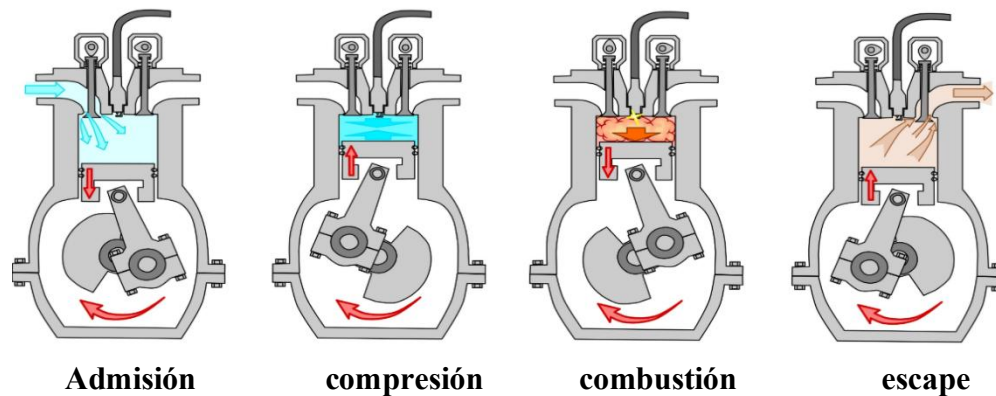
Figura 2.*Esquema de un ciclo Otto de 4 tiempos.**Nota: tomado de Fundamentals of Engineering Thermodynamics.*

Sistema de admisión y filtración: La eficiencia y la vida útil de un motor de combustión interna se debe en gran parte al sistema de admisión del vehículo, ya que este controla la entrada del aire necesario para que ocurra la combustión y de esta forma el automotor rinda eficientemente en sus actividades diarias. Pérez. (2020). Agrega: “Los motores de 4T son los más ampliamente usados en la actualidad debido a las numerosas ventajas que traen consigo. Estos sustituyen el sistema de admisión y escape por válvulas accionadas por mecanismos del motor.” (p.22).

3.1.1 Ciclo de motores cuatro tiempos.

Para los microbuses usados en el transporte público de pasajeros, el ciclo de cuatro tiempos es el más eficiente en motores de combustión interna, ya que consta de cuatro fases que generan energía: admisión, compresión, combustión y escape (ver figura 3).

- **Admisión.** La principal función del sistema de admisión en motores diésel es la entrada de aire filtrado a la cámara para que ocurra la combustión, dicho aire es succionado atreves del filtro, el cual elimina polvo y material particulado, luego es comprimido por el turbocompresor para alcanzar una mayor presión y de este modo la válvula de admisión deja pasar para motores diésel solo aire y la de escape se cierra.
- **Compresión.** La compresión en motores diésel, trata de la presión que se da al aire en la cámara de combustión antes de que se inyecte el combustible, lo que ocasiona su autoignición y la generación de potencia. En pocas palabras, el pistón baja desde el PMI hasta el PMS comprimiendo así la mezcla de aire y combustible haciendo subir notablemente la temperatura.
- **Combustión.** La combustión se da cuando el pistón llega al PMS, la mezcla aire-combustible mencionada en la compresión por la alta temperatura se enciende generando así gases calientes que se expanden, empujando el pistón hasta el PMI, en este tiempo el motor produce trabajo que hace mover el cigüeñal y a su vez el vehículo.
- **Escape.** El sistema de escape se eleva desde el PMI hasta el PMS, activando las válvulas de escape para su apertura ya que dichos gases son utilizados, por lo tanto, se expulsan en dicho sistema. Estos gases son conocidos como los óxidos de nitrógeno (NOx) y el monóxido de carbono (CO).

Figura 3.*Ciclo de motor 4 tiempos.**Nota: tomado de SAE International (Sociedad de Ingenieros Automotrices).*

Filtro de Aire: Los principales medios filtrantes utilizados en la industria para purificar el aire proveniente del proceso de admisión de los motores de combustión internos modernos, la calidad del aire interno y el aire inhalado por las personas a través de mascarillas son fabricadas de material fibroso a base de celulosa.

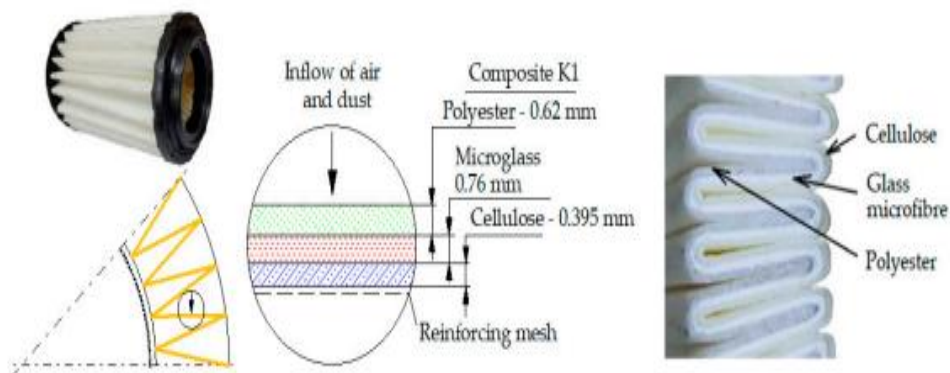
Estos filtros de tipo celulósico son conocidos por su alta durabilidad en comparación con otros materiales alternativos utilizados en el mercado. Están compuestos por fibras relativamente grandes, típicamente con diámetros superiores a 10-15 μm . Como resultado, si bien ofrecen ventajas significativas en términos de resistencia y longevidad, su eficiencia de separación y precisión de filtración podrían no siempre cumplir con los estándares más altos, especialmente durante el período inicial de filtración. El proceso de filtración de aire contaminado en materiales fibrosos se caracteriza por la ocurrencia de un período inicial, que se caracteriza por una baja eficiencia ϕ_f y precisión de filtración d_{pmax} , así como una baja caída de presión Δp_f al inicio del proceso. (Kuta & Jasiński, 2024, p. 4).

La exploración de la eficacia de los lechos o fibras de las multicapas para la filtración del aire de admisión de los motores de combustión interna destaca un importante punto de mejora para el rendimiento de los automotores, dado que el material utilizado como lecho de multicapa presentan una mayor capacidad de absorción de partículas o polvos en comparación con las configuraciones monocapa, tienen el potencial de prolongar o aumentar la vida útil de los vehículos, permitiendo operar hasta alcanzar el límite de resistencia admisible, no obstante se debe realizar seguimiento para proporcionar un daño interno del sistema.

Sin embargo, la clave para aprovechar este potencial reside en validar si dichas configuraciones también cumplen con los estándares necesarios de eficiencia y precisión de separación. La acumulación de polvo dentro del lecho filtrante, si bien es beneficiosa para atrapar contaminantes, inevitablemente conduce a un aumento de la caída de presión a través del filtro. (Kuta & Jasiński, 2024, p. 6).

Figura 4.

Capas filtrantes en lecho multicapa K (poliéster + microfibra de vidrio + celulosa).



Nota: tomado de (Kuta & Jasiński, 2024, p. 7).

3.1.2 Marco Conceptual

Filtro de aire. Elemento que hace parte del sistema de admisión en los vehículos, donde su función es retener el material particulado evitando el desgaste prematuro de piezas internas, además, influye en el buen rendimiento del motor con la entrada de aire y su posterior mezcla con el combustible.

Lubricante. Herramienta usada en el sector automotriz para reducir la fracción de los componentes metálicos dentro de un motor, con el fin de prolongar su vida útil.

Plan de Acción. Corresponde a un documento que reúne el conjunto de actividades específicas, los recursos y los plazos necesarios para alcanzar los objetivos de un proyecto, así como las orientaciones sobre las formas de realizar, supervisar y evaluar las actividades.

Material particulado. Son partículas sólidas de tamaño microscópico que flotan en el aire, y que si ingresan al motor pueden causar daños internos

Motor de combustión interna (MCI). Maquina térmica que convierte la energía química del combustible en energía mecánica, mediante un proceso de combustión que ocurre en su interior.

Sistema de Admisión. En los vehículos este sistema se encarga del suministro de aire para que ocurra la combustión al mezclarse con el combustible.

Mantenimiento preventivo. Su principal función es realizar actividades programadas y periódicas como ajustes e inspecciones para evitar fallas inesperadas, lo que hace una detección temprana a futuras averías.

Mantenimiento correctivo. Este mantenimiento se realiza cuando el vehículo presenta una falla mecánica o eléctrica, donde su objetivo principal es establecer la operación del automotor.

Mantenimiento predictivo. Se encarga de monitorear los equipos para predecir fallas antes de que ocurran, con el fin de cuidar las partes del vehículo de reparaciones futuras.

Falla Mecánica. Se conoce como averías del normal funcionamiento de los vehículos que hacen desgaste de partes y daños que si no se controlan pueden ser irreparables para la operación.

Vehículo. Todo mecanismo sobre ruedas que es utilizado para transportar de personas, animales o cosas de un punto a otro por vía terrestre pública o privada abierta.

PMI. Es el punto muerto Inferior, donde se encuentra la posición más baja que alcanza el pistón dentro del cilindro.

PMS. Es el punto muerto superior, donde se encuentra la posición más alta que alcanza el pistón en la cámara de combustión.

Admisión. Es el sistema por el cual se hace el ingreso de aire al motor, para que se mezcle con el combustible y produzca así el trabajo en el vehículo.

MCI. El motor de combustión interna máquina es una máquina que transforma energía química en energía mecánica, este proceso se desarrolla en las cámaras de combustión.

3.1.3 Marco Legal

Debido a que la ley colombiana se refiere y legisla de manera específica al sector transporte, medio ambiente y mantenimiento vehicular, se tendrá en cuenta el siguiente marco legal y de esta manera referenciar las implicaciones en el desarrollo del proyecto.

NTC 4788. Creada en el 2011 donde especifica la tipología para los vehículos de carga para transporte por carretera, así como los requisitos relacionados con dimensiones, máximos pesos brutos vehiculares y máximos pesos por eje.

Ley 769 de 2002. En el artículo 28 del Código nacional de tránsito terrestre, se establecen condiciones mínimas para vehículos de la parte mecánica y emisiones de gases contaminantes.

Ley 1972 de 2019. En el plan nacional de desarrollo se promueve el uso sostenible de los automotores y las tecnologías limpias.

Res. 910 de 2008. El ministerio de ambiente los límites para la emisión de gases contaminantes en vehículos de transporte terrestre ya sean diésel o gasolina.

NTC 5375. En la normativa Icontec se define todas las estipulaciones técnicas para la eficiencia en filtros de aire y su mantenimiento adecuado.

4. Metodología De Investigación.

4.1 Tipo De Investigación.

El tipo de investigación que se utilizará en el desarrollo del proyecto es descriptivo. Como lo menciona (Dankhe 1986) citado por Hernández (1997), (p.60)

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. En base a esta referencia se agrega: “Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir”. (p.60).

De igual manera utilizando la metodología permite recopilar, organizar, analizar e interpretar la información obtenida, con el fin de describir de manera asertiva y detallada los fenómenos encontrados en la implementación del estudio de material particulado encontrado en los filtros de aire, buscando encontrar patrones o tendencias relacionadas de un fenómeno para comprender a mayor profundidad el problema establecido en el presente proyecto; Por otra parte también se aplicara una metodología deductiva realizada a través del estudio de distintos tipos de tesis, artículos, libros y archivos que contemplan una serie de conocimientos ya identificados y evaluados por un ente institucional y/o organizacional.

Con la información obtenida para el estudio del análisis de la filtración en el sistema de admisión y las consecuencias que conlleva el mal uso de este, se hace necesario recolectar, medir y evaluar datos con una muestra de microbuses en diferentes escenarios y a su vez varias marcas de filtros para lograr obtener un diagnóstico real de las condiciones actuales

de la flota, por tanto la investigación pertinente en este caso es aplicada, ya que se busca resolver o dar solución a fallas tempranas por mala aplicación, consolidando conocimientos básicos que ayuden al rendimiento operacional y financiero de la organización.

4.2 Técnicas E Instrumentos De Recolección De La Información.

Para elaborar esta monografía se emplearán fuentes de información primaria y secundaria.

4.2.1. fuentes primarias.

Este tipo de fuente hace referencia a toda la información obtenida de manera directa a través de instrumentos de investigación, es decir, información primordial para desarrollar este proyecto de manera pertinente. Dicha información se obtiene con todo lo asociado al mantenimiento preventivo del parque automotor de la cooperativa, con el fin de conocer el funcionamiento de la flota y los lineamientos que implementan para el respectivo cambio de filtros y lubricantes del motor, además se realizara seguimiento y control con los proveedores en cuento a contaminación y desgaste de piezas.

4.2.2. fuentes secundarias.

información que se recolecta de manera indirecta que ayuda a desarrollar la investigación, entre dichas fuentes se utilizan: los diversos trabajos de grado que servirán como guía para el desarrollo de distintos ítems del proyecto, las distintas normas y guías establecidas y diversas fuentes consultadas por internet que ofrezcan información relacionada con la temática abordada en el proyecto.

5. Causa Raíz.

Un filtro de aire es un componente que retiene el paso de partículas sólidas suspendidas en un medio ambiente normal teniendo en cuenta que se tiene componentes o elementos corrosivo, haciendo que el aire que ingresa al sistema de admisión sea más limpio, ayudando a que no se contamine ni se deteriore al momento de hacer combustión y cuidando las paredes de los cilindros para así tener en buenas condiciones al aceite lubricante como también aumentar la vida útil del motor. Los primeros filtros de aire fueron los de baño de aceite, que retenían las partículas, al pasar el tiempo fueron mejorando los filtros implementando tecnología automotriz, hasta llegar a los que conocemos, los filtros de aire secos. Lo cual existen una gran variedad, desde formas, papeles filtrantes y tamaños para dar un aire mucho más limpio. (Ordoñez Criollo & Salamea Quinteros, 2020, p. 19)

Para identificar las causas raíz de la contaminación del lubricante por ingreso de material particulado en los motores de la flota de Coomicro Ltda., se llevó a cabo un análisis de factores a través de la metodología del diagrama de Ishikawa determinantes diferentes causas en fin de encontrar un problema general. En primera instancia, se evaluaron los siguientes aspectos.

Método, Procedimiento utilizada, considerando intervalos de reemplazo, limpieza inadecuada y ausencia de verificación. Asimismo, se tiene en cuenta los factores de procedimientos y programas de mantenimiento no estandarizados, para identificar causas

concretas y precisas sobre la metodología implementada al momento de instalar un filtro de aire.

Mano de Obra (Técnico y Operación), personal capacitado encargado de la instalación de los filtros de aire, teniendo en cuenta diagnóstico superficial preventivo realizado, manipulación brusca del elemento o pieza en el equipo, omisión de revisión de elementos adicionales como consecuencia una causa o falla probable del equipo.

Maquinaria (Componentes del motor y sistema de admisión), elementos adicionales o componentes terceros que perjudican directamente al filtro como el deterioro o deformación de la carcasa, ductos de admisión en mal estado, abrazaderas o sellos defectuosos, ineficiencias del sistema o conexiones flojas como causa de elementos adicionales o consecuente con el equipo.

Material (Filtros, calidad y repuestos), este ítem o componente demuestra varios factores importantes como la calidad, económicos o genéricos, saturados o vencidos, compactibilidad y sin certificación o especificaciones técnicas que disminuyan la calidad del trabajo o funcionamiento del automotor, convirtiéndose en una causa directa del problema principal del método del diagrama.

Medio Ambiente (Condiciones externas de Operación), componentes de operación como condiciones externas en las que el filtro son sometidas como ambientes industriales,

condiciones de clima seco, suciedad acumulada y variaciones del aire según en la temporada que se encuentre, aumentando desgaste silencioso al filtro por componentes externo.

Medición (Control y Monitoreo), como una de las causas principales sería la ausencia de análisis constantes de aceites, falta de control, muestreo de aceite deficientes y falta de indicadores de medición como factor crucial en el buen uso y conservación del componente.

El aceite es el principal recurso que tiene un motor para disminuir la fricción de sus componentes por lo que al mezclarse con elementos o partículas externas que se encuentran en el ambiente, hace que el aceite pierda sus propiedades de lubricación, dando a este un desgaste acelerado del motor, por este motivo es la obligación de filtrar el aire antes del sistema de admisión en un motor de combustión dando la creación del filtro de aire, cubriendo necesidades de una prevención y cuidado del equipo.

Al realizar el análisis con el Diagrama de Ishikawa, se puede identificar seis (6) aspectos importantes de las posibles causas raíz de la contaminación del lubricante por ingreso o saturación de particuladas asociadas al estado del filtro, contemplando aspectos básicos pero importantes al momento, comprar, instalar, verificar, controlar y verificar el filtro de aire adecuado a un equipo automotor flota de Coomicro Ltda.

5.1 Sub-Causas:

Método:

5.1.1 Intervalos de reemplazo del filtro de aire demasiado prolongados. Teniendo en cuenta como causa principal se derivan los siguientes sub-causas, como lo son:

- Poco conocimiento o falta de un plan de mantenimiento preventivo documentado y detallado, creación de historial de equipo, que muestra los cambios realizados y las posibles fechas estipuladas para la próxima instalación de filtro.
- Desconocimiento o incumplimiento de las recomendaciones del fabricante realizadas en manuales, teniendo en cuenta que es uno de los factores importantes el desconocimiento o manejo erróneo del fabricante del componente.
- Priorización incorrecta de recursos o retrasos en la programación de mantenimiento.
- Falta de control de horas de operación del equipo.
- Ausencia de indicadores de desempeño del filtro (dP – presión diferencial).

Mano de obra:

5.1.2 Limpieza inadecuada del filtro de aire (uso de aire a presión que daña el medio filtrante)

- Personal no capacitado en buenas prácticas de mantenimiento.
- Falta de procedimientos estandarizados para la limpieza del filtro.

- Uso de herramientas o métodos inadecuados por desconocimiento técnico.
- Intento de extender la vida útil del filtro sin considerar riesgos.

Medición:

5.1.3 Ausencia de verificación periódica del sistema de admisión

- Falta de inspecciones y mediciones programadas en el sistema de admisión y/o componentes internos.
- No existencia de un checklist o estándar de evaluación.
- Desconocimiento del impacto que tiene la admisión en el rendimiento del motor/proceso.
- Falta de asignación de responsabilidades para la revisión del sistema.
- Limitaciones de tiempo o recursos para realizar inspecciones rutinarias.

Maquinaria:

5.1.4 Componentes del motor en mal estado, presencia de material particulado

- Falta de inspecciones periódicas que permitan medir las condiciones establecidas.
- Sistema de filtro ineficientes o en mal estado, no proporcionan el sello adecuado.

Medio ambiente:

5.1.5 Condiciones ambientales pesadas en climas secos y partículas en exceso

- Ambientes pesados, dañinos o corrosivos para los elementos.
- Condiciones inadecuadas para el comportamiento de las partes o componentes.

Material:

5.1.6 Calidad o características de los componentes de un filtro:

- filtros deformados o saturados de partículas.
- Calidad deficiente del componente interno del filtro, que conlleva al trabajo deficiente del equipo.

Al identificar y evaluar las causas raíz podemos identificar los siguientes aspectos:

Que la integridad del proceso de filtración de aire está comprometida a través de la realización de un diagrama de causas y sub-causas de manera técnica se pueden identificar desde la parte de intervención humana hasta los componentes del equipo, destacando las siguientes ocurrencias:

- filtros de baja eficiencia (causa material utilizado para su fabricación).
- instalación incorrecta o mala manipulación del equipo (mano de obra).
- fugas en ductos, sellos o carcasa del sistema de admisión (maquinaria).
- mantenimiento deficiente o intervalos largos de reemplazo (método).
- exposición ambiente pesados de partículas sólidas de alta concentración (ambiente)
- falla del análisis y supervisión (medición).

Cuando todas estas fallas coinciden, se crea una vía abierta para que el polvo, partículas abrasivas y sílice ingresen a los componentes internos y terminen contaminando el lubricante, creando desgaste en el motor.

Por otra parte, a partir del Diagrama de Ishikawa elaborado previamente, el problema general que se destaca es el resumen de todas las causas y sub-causas identificadas en el siguiente:

El ingreso inadecuado de aire sin filtración al sistema de admisión es debido a fallas combinadas en la selección, instalación, condición y mantenimiento adecuado de los filtros de aire.

Por otra parte, el estudio concluyó que las principales causas raíz de la contaminación del aceite incluyen: el uso de filtros de aire con baja eficiencia o no adecuados para el tipo de motor, la presencia de filtros deteriorados o instalados de forma incorrecta, fallas en el sellado del sistema de admisión que permiten la entrada de aire no filtrado, y prácticas deficientes de mantenimiento preventivo. Estos factores, combinados con condiciones ambientales exigentes, aumentan significativamente la probabilidad de que partículas abrasivas atraviesen el sistema de filtración y lleguen al lubricante, afectando el rendimiento y la vida útil del motor.

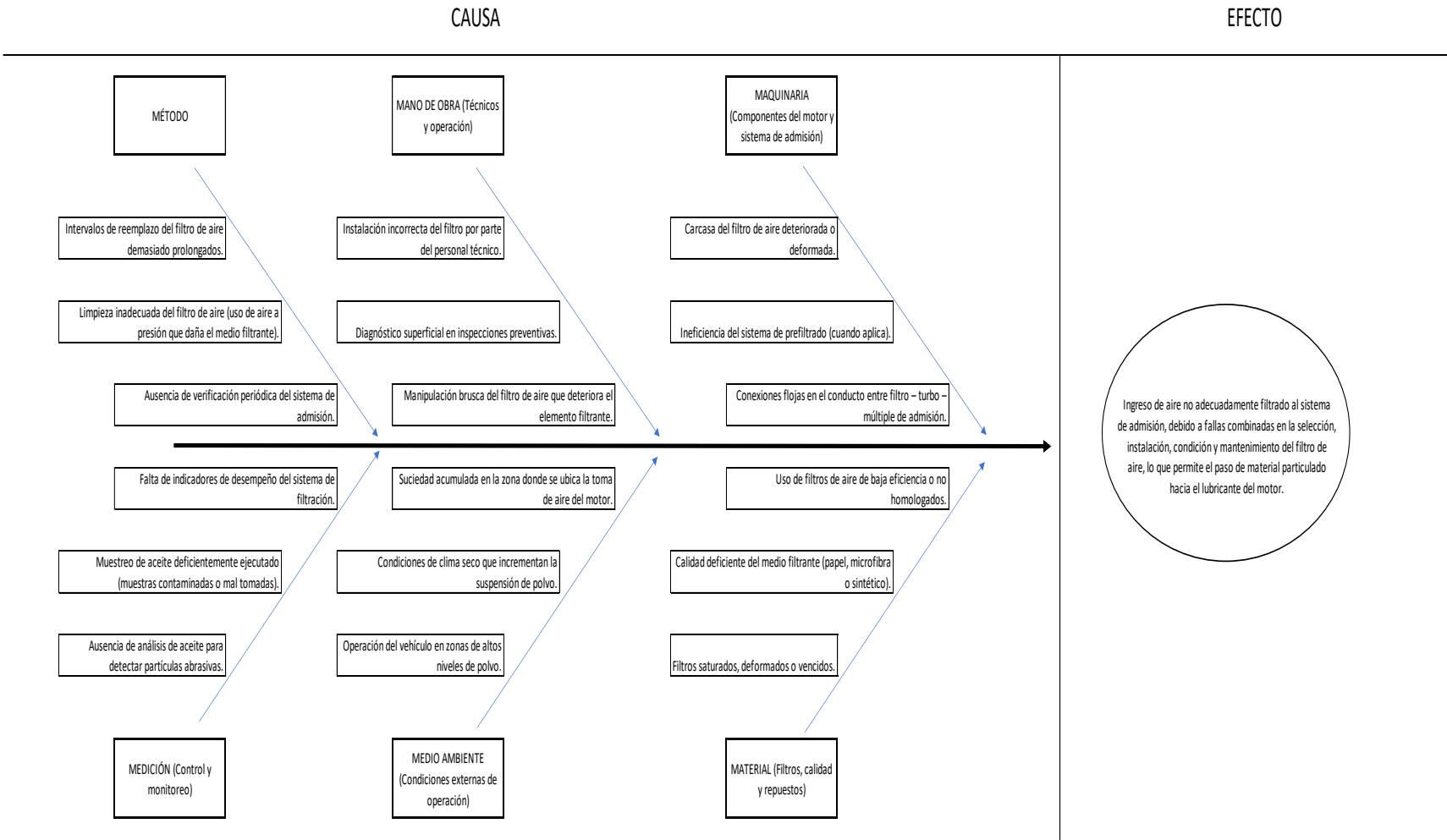
El análisis muestra que la contaminación del lubricante por material particulado está asociada principalmente a:

- Filtros de aire inadecuados o deteriorados,
- Instalación incorrecta y fallas en el sellado del sistema de admisión,
- Condiciones ambientales altamente polvorrientas,
- Deficiencias en mantenimiento y monitoreo.

Estas causas, actuando en conjunto, explican el ingreso de partículas al motor y su posterior mezcla con el lubricante.

Al identificar el problema se deduce realizar el Diagrama de Ishikawa identificando múltiples causas distribuidas en las categorías Método, Mano de Obra, Maquinaria, Material, Medio Ambiente y Medición, pero todas convergen en un único punto crítico:

Figura 5.
Diagrama Ishikawa



Al establecer el análisis de causas y sub-causas raíz a través del diagrama Ishikawa, permitió establecer con claridad la relación entre el estado y el tipo de filtro de aire y la contaminación del lubricante, proporcionando una base sólida de información que complementa y permite proponer mejoras en las prácticas de mantenimiento y selección de componentes en la flota de Coomicro Ltda.

Adicional se el análisis muestra que la contaminación del lubricante por material particulado está asociada principalmente a:

Filtros de aire inadecuados o deteriorados,

Instalación incorrecta y fallas en el sellado del sistema de admisión,

Condiciones ambientales altamente polvorientas,

Deficiencias en mantenimiento y monitoreo.

Estas causas, actuando en conjunto, explican el ingreso de partículas al motor y su posterior mezcla con el lubricante.

6. Evaluación Del Estado Inicial De Los Filtros De Aire En La Flota Coomicro.

En los sistemas de admisión, junto con el aire absorbido por los motores de combustión interna de los vehículos a motor, se absorben cantidades significativas de contaminantes, que se acumulan en la superficie de la carretera y son transportados a la atmósfera como resultado del tráfico de vehículos o ráfagas de viento (Dziubak, 2024). El filtro de aire cumple una función esencial en impedir la entrada de partículas sólidas presentes en el aire, tales como polvo, arena, hollín entre otros contaminantes, los cuales pueden provocar desgaste acelerado de los componentes internos del motor, afectando su eficiencia, consumo de combustible y vida útil.

En flotas de transporte como la de Coomicro Ltda., donde los vehículos operan de manera continua y bajo condiciones ambientales fuertes y extremas y de carga constante, el estado en que se encuentre el filtro de aire se convierte en un factor crítico dentro de la estrategia de mantenimiento preventivo.

En este contexto, el presente capítulo desarrolla la evaluación del estado inicial de los filtros de aire utilizando una muestra de diez (10) vehículos de la flota de Coomicro Ltda., identificando su nivel de desgaste y comparando los distintos ritmos y frecuencia de reemplazo con los intervalos recomendados o realizados a partir del conocimiento adquirido por los fabricantes, desde una perspectiva técnica propia de la ingeniería mecánica.

6.1 Objetivo del análisis

Evaluar el estado inicial de los filtros de aire utilizados en cada uno de las diez (10) muestras en la flota de Coomicro Ltda., a través una rutina de inspección técnica de las condiciones y/o características, con el fin de identificar el nivel de desgaste presente y resaltar la frecuencia real del cambio con respecto a los intervalos propuestos por el fabricante. determinando posibles desviaciones y su impacto en el desempeño del motor.

6.2 Marco técnico del sistema de filtración de aire

6.2.1 Función del filtro de aire en el motor

El aire es uno de los elementos fundamentales en el proceso de combustión interna de un motor, junto con el combustible y la energía inflamación. Para que el proceso de la combustión sea eficiente, el aire debe ingresar al motor en la cantidad precisa. El filtro de aire actúa como mecanismo de protección que retiene contaminantes antes que estos ingresen a la cámara de combustión.

De acuerdo con Heywood (2018), partículas con diámetros mayores a 10 micrómetros pueden causar daños significativos en superficies de fricción como cilindros y anillos de pistón, aumentando la tasa de desgaste del motor y reduciendo su eficiencia mecánica.

6.2.2 Tipos de filtros de aire utilizados en flotas vehiculares

En aplicaciones de transporte terrestre en los diferentes medios, los filtros de aire más utilizados son:

- Filtros secos de papel plisado
- Filtros de aire de alto rendimiento
- Sistemas de prefiltros

La flota de Coomicro Ltda. Emplea principalmente filtros secos desechables de papel de celulosa, los cuales presentan alta eficiencia de filtración, pero una vida útil limitada, actualmente se utilizan las siguientes referencias: AP-2877 PARMO, AP-2712 PARMO, AP-8040 PARMO, J-8040 ELEMFIL, A-4120 A-4122 PARMO, J-576 ELEMFIL y J-579 ELEMFIL, en relación con el trabajo, cilindraje, equipo y trabajo a desarrollar, ese tipo de componentes se tiene en cuenta a los aspectos relacionados anteriormente.

6.3 Metodología para la evaluación del estado inicial

6.3.1 Recolección de información de la flota

Para el análisis del proceso el cual se realiza en la empresa Coomicro Ltda, se consideraron los siguientes aspectos:

- Clase de vehículo y cilindraje
- Función del filtro y tipo de filtro utilizado

- Marca de vehículo, kilometraje acumulado desde el ultimo cambio de filtro y condiciones de operación
- Registros históricos de mantenimiento
- Nivel de suciedad acumulado
- Cambio de color del medio filtrante
- Presencia de deformación
- Integridad del sello
- Incremento del consumo específico de combustible

Tabla 1.*información de flota, Muestra de los equipos*

Item	micro	cilindraje	Kilometro recomendado	clase de vehículo	Función del filtro de aire en el motor	Tipos de filtros de aire utilizados en flotas vehiculares	Marca del vehiculo	motor	Kilometraje acumulado desde el último cambio de filtro	Condiciones de operación (urbano, vías sin pavimentar, tráfico intenso)	Registros históricos de mantenimiento
1	405	4,570	5000	MICROBUS	retención de partículas	AP-2877 PARMO	CHEVROLET	NPR	4200	URBANO	MENSUAL
2	975	2,800	5000	MICROBUS	retención de partículas	AP-2712 PARMO	CHEVROLET	NKR	4150	URBANO	MENSUAL
3	777	4,104	5000	MICROBUS	retención de partículas	AP-8040 PARMO	DAIHATSU	15B	4185	URBANO	MENSUAL
4	737	4,570	5000	MICROBUS	retención de partículas	AP-2877 PARMO	CHEVROLET	NPR	4500	URBANO	MENSUAL
5	110	4,570	5000	MICROBUS	retención de partículas	AP-2877 PARMO	CHEVROLET	NPR	4205	URBANO	MENSUAL
6	697	3,900	5000	BUSETA	retención de partículas	J-8040 ELEMFIL	DAIHATSU	15B	7500	URBANO	MENSUAL
7	728	4,300	5000	BUSETA	retención de partículas	A-4120 A-4122 PARMO	AGRALE	MA 8.5	8130	URBANO	MENSUAL
8	220	2,771	5000	MICROBUS	retención de partículas	J-576 ELEMFIL	GOLDEN DRAGON	XML6632E6	3600	URBANO	MENSUAL
9	123	4,104	5000	MICROBUS	retención de partículas	J-579 ELEMFIL	CHEVROLET	NPR	4125	URBANO	MENSUAL
10	578	2,771	5000	MICROBUS	retención de partículas	J-579 ELEMFIL	CHEVROLET	NKR	8200	URBANO	MENSUAL

Esta información básica de un mantenimiento preventivo e historial del equipo permitió establecer una línea base para evaluar la condición real de los filtros.

6.3.2 Inspección física de los filtros de aire

La inspección física se realizó mediante la extracción del filtro de aire en una muestra de diez (10) equipos utilizaos, evaluando los siguientes criterios:

- Nivel de suciedad acumulada
- Cambio del color de medio filtrante
- Presencia de deformaciones
- Integridad del sello perimetral

Los filtros fueron calificados en tres (3) estados importantes: aceptable, condición intermedia y condición crítica.

Tabla 2.

Inspección física

<i>Íte m</i>	micro	Nivel de suciedad acumulada	Cambio de color del medio filtrante	Presencia de deformaciones, roturas o colapsos	Integridad del sello perimetral
1	405	medio	gris claro	ninguna	correcto
2	975	medio	gris claro	ninguna	correcto
3	777	medio	gris claro	ninguna	correcto
4	737	medio	gris oscuro	ninguna	correcto
5	110	medio	gris claro	ninguna	correcto
6	697	demasiado	gris oscuro	leve	parcial
7	728	demasiado	gris oscuro	ninguna	correcto
8	220	alto	gris oscuro	ninguna	correcto
9	123	alto	gris oscuro	leve	parcial
10	578	demasiado	negro	evidente	deficiente

6.3.3 Evaluación del grado de restricción al flujo de aire

Desde el área de ingeniería mecánica, el parámetro más representativo al caso del desgaste de un filtro es la restricción al flujo de aire, el cual aumenta conforme a dos (2) parámetros a la velocidad del flujo y a la saturación de partículas del filtro.

Según los fabricantes de motores, una restricción o fuerza de contraria excesiva provoca:

- Reducción de la eficiencia volumétrica
- Incremento del consumo específico de combustible
- Pérdida de potencia del motor

En la evaluación se comparó el estado visual en el que se encuentra actualmente el filtro con los valores de restricción máxima permitida especificados por los fabricantes. De esta forma obteniendo los datos y realizando un análisis, se deduce el incremento del combustible:

Tabla 3.

Evaluación de consumo

ítem	micro	Incremento del consumo específico de combustible
1	405	3,0%
2	975	2,8%
3	777	2,9%
4	737	3,5%
5	110	2,8%
6	697	8,0%
7	728	9,3%
8	220	3,3%
9	123	3,2%
10	578	9,7%

6.4 Análisis del nivel de desgaste de los filtros

6.4.1 Resultados de la inspección visual

Los resultados obtenidos a partir de los distintos ensayos cualitativos evidenciaron que un porcentaje significativo de los filtros inspeccionados presentaban:

- Alta acumulación de material particulado
- Oscurecimiento severo del medio filtrante
- Deformaciones parciales del papel plisado

Esto indica que realmente los filtros se encontraban en un estado intermedio operando en condiciones cercanas o superiores a su límite funcional según fabricante, el cual compromete la eficiencia y eficacia del sistema de admisión de cada uno de los vehículos del parque automotor.

6.4.2 Clasificación del desgaste

Desde el enfoque técnico y profesional, el desgaste obtenido se puede clasificar de la siguiente manera cualitativa:

Tabla 4.

clasificación

Estado del filtro	Porcentaje estimado	Implicaciones técnicas
Aceptable	Bajo	Operación normal
Intermedio	Medio	Reducción parcial del flujo
Crítico	Alto	Riesgo de daño al motor

La presencia de filtros en estado críticos evidencia la necesidad de mejorar el análisis y criterios de este para su posterior reemplazo.

Tabla 5.

Clasificación de Desgaste Muestra

ítem	micro	Clasificación de desgaste	Nivel de suciedad acumulada
1	405	Aceptable	medio
2	975	Aceptable	medio
3	777	Aceptable	medio
4	737	Intermedio	medio
5	110	Aceptable	medio
6	697	Crítico	demasiado
7	728	Crítico	demasiado
8	220	Intermedio	alto
9	123	Intermedio	alto
10	578	Crítico	demasiado

6.5 Frecuencia real de reemplazo vs. recomendaciones del fabricante

6.5.1 Intervalos recomendados por el fabricante

Los filtros de aire retienen polvo contenido en el aire aspirado, evitando que entre el motor y con ello este se desgaste por abrasión, impidiendo desgastes rápidos e impurezas dentro del equipo. (Mobley, 2020).

Los fabricantes de los filtros y motores recomiendan por lo regular intervalos de reemplazo que oscilan entre 4.000 a 5.000 Km en condiciones estables y normales, ya para condiciones severas como polvo y tráfico pesado un 50% de reducción, basadas estas

recomendaciones realizadas y expuestas en pruebas de laboratorio y campo que garantizan una adecuada protección del motor.

6.5.2 Frecuencia real de reemplazo en la flota

Los análisis realizados a los registros de mantenimiento Coomicro Ltda. permitió identificar que:

- El reemplazo del filtro se realiza mayormente por el kilometraje fijo propuesto por el fabricante.
- Se está realizando la consideración de manera formal las condiciones reales de operación para el cambio de filtros.
- En varios casos, el filtro permanece en servicio más allá del intervalo recomendado por el fabricante, se extiende la vida útil teniendo esquema implementado de las fichas técnica.

Esta práctica genera una brecha técnica entre el mantenimiento proyectado y el mantenimiento requerido por condición establecida.

Al establecer una trazabilidad de los kilometrajes antes y después del último cambio de los filtros de aire de la muestra de los diez (10) vehículo, se puede identificar el intervalo real de cambio basado en uso de la siguiente manera:

Fórmula básica

$$I_r = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n} \text{ (Ecuación 1.)}$$

Donde:

- I_r = intervalo real de cambio
- K_i = kilometraje (u horas de operación) del filtro i al momento del reemplazo
- n = número de filtros evaluados

Sustitución de valores:

$$I_r = \frac{4200 + 4150 + 4185 + 4500 + 4205 + 7500 + 8130 + 3600 + 4125 + 8200}{10}$$

$$I_r = \frac{52795}{10}$$

$$\boxed{I_r = 5279,5 \text{ km}}$$

En promedio, los filtros de aire de la flota se están reemplazando cada 5279,5 km, aumentando el promedio por encima del recomendado.

Para calcular el índice de desgaste del filtro frente al fabricante:

$$D = \frac{I_r}{I_f} \text{ (Ecuación 2.)}$$

Donde:

- D = índice de desgaste
- I_r = intervalo real de cambio
- I_f = intervalo recomendado por el fabricante

Interpretación:

- $D < 1$: el filtro se cambia antes de lo recomendado
- $D = 1$: se cumple la recomendación
- $D > 1$: el filtro se usa más allá de lo recomendado

Teniendo en cuenta la recomendación del fabricante del filtro cada 5 000 km.

$$I_f = 5\,000 \text{ km}$$

Fórmula:

$$D = \frac{I_r}{I_f} \text{ (Ecuación 2.)}$$

Sustitución:

$$D = \frac{5279,5}{5\,000}$$

Como resultado:

$$\boxed{D = 1.0559}$$

Por el cual se determina que, el intervalo real de cambio del filtro es 5.59 %, aumentado al intervalo que recomienda el fabricante.

Como:

$$D > 1$$

Al obtener 1.0559 no es un valor crítico, pero sí es una alerta al personal de mantenimiento:

Un 5.59 % por encima del recomendado indica un pequeño aumento en la desviación, lo cual no sugiere una falla inmediata, pero sí un riesgo que se iría acumulando con el tiempo.

se concluye que:

- Los filtros de aire se están siendo utilizado más allá del tiempo y kilometraje recomendado.
- Existe sobre uso o de trabajo de los filtros utilizado por la flota.
- El filtro supera su límite de diseño antes de ser cambiado, puede haber menor flujo de aire por la saturación de polvo, causando una restricción permanente afectando la eficiencia del motor y aumentando el consumo de combustible.

7.Introducción técnica al método de bloqueo de poros

El método de bloqueo de poros es una de las técnicas utilizadas para el análisis de lubricantes en determinación del nivel de contaminación por partículas sólidas pesadas, especialmente en aplicaciones en ejecución de mantenimiento preventivos. Este método es pasado en el principio de filtración y/o trabajo de mecánica de fluidos, permitiendo descubrir la distribución del material particular solido presente en el aceite a partir de la obstrucción progresiva de una membrana, mecanismo que filtra con poros de tamaños conocidos en el estudio, la presencia de solidos en el lubricante es uno de los principales agentes generadores de desgaste abrasivo, siendo el ingreso de contaminantes externos como el polvo, hollín y silicio la consecuencia principal en la deficiencia en el sistema de admisión de aire, particularmente cuando se encuentra en mal estado o saturados. (Stachowiak & Batchelor, 2014).

En este contexto, el método de bloqueo de poros de manera técnica es aquel utilizado como una herramienta idónea para evaluar y analizar cualitativamente la influencia del filtro de aire en el sistema de admisión en un motor a través de la contaminación de partículas sólidas encontrados en los aceites.

7.1 Descripción general del ensayo de bloqueo de poros

El ensayo de bloqueo de poros es utilizado forzando una muestra de lubricante (aceite) a través de una membrana filtrante con poros calibrados a una medida específica según referencia técnica podría oscilar entre 2 μm y 25 μm , bajo ciertas condiciones de presión y/o

caudal controladas. A medidas que el aceite fluye en el sistema, las partículas sólidas quedan incrustadas o atrapadas en los poros del filtro, reduciendo su capacidad de paso. Este fenómeno de obstrucción se mide indirectamente mediante variables como:

- Aumento de presión diferencial
- Disminución de caudal volumétrico
- Tiempo requerido en alcanzar un nivel crítico en situación de bloqueo

Según Fitch y Troyer (2010), existe una relación directa entre la velocidad de bloqueo de los poros y la concentración de partículas sólidas presentes en el lubricante, lo que permite establecer clasificaciones de limpieza y niveles relativos de contaminación.

7.2. Fases del ensayo de bloqueo de poros

7.2.1 Fase 1: Toma y obtención de muestra

La primera fase del ensayo corresponde a la toma de muestras de un lubricante(aceite) usado, el cual debe ser representativo del estado real en el que se encuentre el lubricante en operación. En condiciones estables, la muestra se extrae con el motor a temperatura operativa y debe realizarse antes del cambio del aceite, evitando con cuidado la contaminación de este.

Desde un enfoque cualitativo aplicado a la flota de Coomicro Ltda., se considera que al momento de realizar el análisis deben corresponder a aceites con intervalos de uso similares, permitiendo comparaciones homogéneas entre motores con diferentes condiciones del filtro de aire, Según Totten, 2006:

“La muestra se homogeniza permitiendo una distribución uniforme de partículas, que evitan la sedimentación previa de los ensayos. Esta etapa es fundamental, ya que una mala preparación puede alterar los resultados de manera impredecibles.”

7.2.2 Fase 2: Selección de mecanismo filtrante

La segunda fase corresponde a la selección del filtro o membrana de ensayo, el cual tiene un tamaño de poro normalizado. La literatura técnica establece un parámetro de tamaño más utilizado en el análisis de lubricantes que oscilan entre 5 μm y 10 μm , ya que este rango es crítico para el proceso de identificación de partículas capaces de generar desgaste en componentes, anillos y demás partes del motor.

De acuerdo con la norma ISO 4406, las partículas que se encuentren mayor a los rangos de 4 μm , 6 μm y 14 μm , serían las relevantes para la evaluación de limpieza del lubricante (aceite), ya que contempla o se encuentran en relación directa con los mecanismos del desgaste abrasivo.

7.2.3 Fase 3: Filtración y bloqueo de poros

En esta fase, la muestra de aceite es presionada a travesar la membrana bajo cierta presión constante o caudal controlado. A medida que el fluido circula, las partículas sólidas quedan atrapadas en los poros, permitiendo la reducción gradual de la permeabilidad del filtro.

Desde el punto de vista, este proceso se debe a los principios del flujo a través de medios porosos, donde la acumulación de estas como partículas sólidas provoca una disminución progresiva equivalente al coeficiente de permeabilidad.

Aplicado al caso de Coomicro Ltda., se espera que los motores con filtros de aire deteriorados presenten un bloqueo o saturación más rápido de los poros, como consecuencia de una mayor carga de polvo ambiental y minerales ingresados al sistema de lubricación (aceites).

7.2.4 Fase 4: Análisis de registros de datos

Durante un ensayo se pueden registrar las siguientes variables representativas y que pueden obtener el problema en sí, como:

- Tiempo de filtración
- Presión diferencial del equipo
- Caudal volumétrico distribuido en el filtro
- Volumen filtrados antes del bloqueo de poros

Aunque el presente estudio no se ejecuta el ensayo experimental basado en referencias bibliográficas, la literatura permite establecer un análisis estadístico cualitativo basado en una tendencia. Estudios reportados por Noria Corporation indican que aceites que provienen de motores con el tipo de filtración deficiente presentan cierta desviación mayores en los conteos de partículas, evidenciando una mayor dispersión y heterogeneidad del material particulado.

De manera cualitativa, el aumento de poros bloqueados es asociado a:

- Media elevado de concentración de partículas sólidas.
- Mayor variabilidad entre muestras realizadas.
- Tendencia a códigos ISO de limpieza más altos

Estos parámetros estadísticos permiten clasificar el aceite en categorías de limpieza pasable, marginal o crítico en el caso de serlo, aun si valores numéricos precisos.

7.2.5 Fase 5: Lectura de resultados

La interpretación del ensayo de bloqueo de poros está orientado a relacionar el nivel de porosidad con el estado actual del sistema de admisión y medir el desgaste interno del motor. Según Stachowiak & Batchelor (2014), cuando la concentración de partículas supera ciertos umbrales, el régimen de desgaste pasa de ser predominantemente lubricado a uno abrasivo, reduciendo drásticamente la vida útil de los componentes.

En el caso de la flota de Coomicro Ltda., los resultados cualitativos del ensayo permitirían establecer que diferentes teorías como lo son:

- Al inspeccionar la teoría de los filtros de aire con mantenimiento inadecuado e inoportuno incrementan de manera crítica la contaminación del lubricante.
- El cambio frecuente de un mantenimiento preventivo de aceite no compensa la entrada constante de partículas sólidas, ya que si el filtro se encuentra saturado u obstruido el aceite se contaminaría al poco tiempo ocasionando daños en el sistema de del motor.

- La contaminación del lubricante (aceite) es un indicador que permite determinar una falla a futuras del equipo.

7.3. Investigación

El desarrollo del ensayo de bloqueo de poros, aun desde un enfoque cualitativo, permite cumplir el objetivo de cuantificar el nivel de contaminación del lubricante por partículas sólidas, al establecer una evaluación comparativa y técnicamente fundamentada del grado de contaminación presente en los aceites de la flota vehicular.

Este análisis demuestra que la condición y el intervalo de reemplazo del filtro de aire influyen directamente en el nivel de contaminación del lubricante, afectando el rendimiento, la vida útil del motor y los costos de mantenimiento, lo cual justifica la implementación de una estrategia técnica de selección y cambio oportuno de filtros de aire en la empresa Coomicro Ltda

8. Plan De Mejora Para La Ejecución Del Mantenimiento Preventivo De Los Filtros De Aire

8.1 Fundamentación técnica del sistema de admisión y filtración

El sistema de admisión de aire en motores de combustión interna tiene como función principal es suministrar aire limpio y libre de partículas pesadas, garantizando una mezcla aire–combustible adecuado y protegiendo los componentes internos del motor.

Diversos estudios indican que entre el 70% y 90% del desgaste anticipado del motor este asociado

a la contaminación por partículas solididad pesadas provenientes del aire de admisión de las condiciones de trabajo del equipo como polvo y hollín. (Totten, 2017)

Cuando el filtro de aire se encuentra dañado, deteriorado o saturado de polvo:

- Aumenta la entrada constante de aire.
- Reduce la eficiencia del motor.
- Se incrementa consumo de combustible.

8.2 Relación técnica entre filtro de aire y contaminación del lubricante

Mecanismo de contaminación, para realizar un mantenimiento preventivo basado en los filtros de aire, se debe implementar la medición de partículas en relación con las partes que componen un motor, de esta forma se diagnostica el desgaste real. Las partículas que atraviesan un filtro de aire ineficiente:

- Ingresan al cilindro.
- Se adhieren a las paredes.
- Son arrastradas por el aceite lubricante.
- Incrementan el desgaste abrasivo de:
- Anillos
- Camisas
- Cojinetes
- Árbol de levas

Tabla 6.*Clasificación de Tamaño muestra*

Tamaño de partícula (μm)	Origen común	Efecto en el motor
< 5 μm	Polvo fino urbano	Desgaste leve acumulativo
5 – 15 μm	Polvo de vías	Desgaste de cojinetes
15 – 40 μm	Sílice / arena	Desgaste severo en anillos y camisas
> 40 μm	Material grueso	Daño inmediato

Nota: El rango de 10–20 μm es el más crítico, ya que coincide con las holguras internas del motor

(Fitch, 2019).

8.3 Valoración técnico de los vehículos muestra

Como medida preventiva, uno de los primeros pasos es realizar una valoración técnica de las condiciones operativas del equipo relevantes como:

- Verificar el ambiente urbano o rural en la que va a estar sometido el equipo con alto contenido de material particulado.

- Inspeccionar la operación continua y tráfico del equipo.
- Puntos enfocados principalmente en lubricación.
- Saturación prematura del filtro.
- Contaminación del lubricante al que ha sido sometido.
- Incremento de reparaciones correctivas anticipadas.

Al obtener una valoración técnica del equipo, simulando una inspección preoperacional, se podría identificar las causas antes del suceso del equipo como medida clave.

8.4 Determinación de la vida útil real del filtro de aire

Según las recomendaciones realizadas por los proveedores y literaturas técnicas encontradas, se podría identificar la vida útil aproximada del filtro de aire de acuerdo con la condición de operación en la que trabaja el equipo automotor, no solo del tiempo ni kilometraje.

También se tiene en cuenta como medida preventiva realizarse un cambio de manera mensual, sin cumplimiento de kilometrajes sino por la condición del ambiente como un urbano estándar.

Tabla 7.*Recomendaciones, Condición de operación*

Condición de operación	Vida útil recomendada
Ambiente limpio	4000 – 5000 km
Urbano estándar	3500 – 4000 km
Urbano polvoriento	3000 – 3500 km

Cúcuta se clasifica como ambiente limpio, por lo que se recomienda un reemplazo mínimo de 4000 Km y máximo de 5000 Km, con inspecciones realizadas de manera mensual.

Determinado la vida útil del filtro, se conserva los componentes internos de un motor de igual manera que la del auto motor.

8.5 Plan de mejora propuesto para un mantenimiento preventivo

8.5.1 Integración al plan de mantenimiento actual

Se propone integrar el mantenimiento del filtro de aire adjunto al cambio mensual de aceite como primera recomendación preventiva, de igual manera realizar inspecciones visuales, limpieza de carcasa, reemplazo de filtro recomendado por fabricante de acuerdo las condiciones de ambiente y por último la revisión de sellos con su perfecto encaje.

Tabla 8.*Inspección, Estado de inspección*

Actividad	Frecuencia	Responsable	Criterio técnico
Inspección visual	Mensual	Mecánico	Verificar saturación o deformación
Limpieza carcasa	Mensual	Auxiliar	Extracción de polvo
Reemplazo del filtro	4000–5000 km	Mecánico	km
Revisión de sellos	Mensual	Mecánico	Sellado de equipo

8.5.2 Selección técnica del sistema de filtración

Como segunda (2) medida preventiva de mantenimiento es a través de las referencias bibliográficas realizar el criterio de selección de filtro de material y/o fabricante, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Eficiencia de filtración $\geq 99 \%$
- Alta capacidad al absorber polvo
- Compatibilidad con los automotores

Tabla 9.*Criterio de selección, Comparación técnica de filtros*

Tipo	Eficiencia (%)	Vida útil	Costo	Inspección técnica
Papel estándar	95 – 97	Baja	Bajo	Parcialmente recomendado
Papel reforzado	98 – 99	Media	Medio	Recomendación intermedia
Alta eficiencia	>99	Alta	Medio	Óptimo

Nota: El uso de filtros de alta eficiencia reduce la contaminación del lubricante hasta de 50%. (Mann+Hummel, 2021)

8.5.3 Control mediante análisis de aceite

Como tercera (3) medida preventiva se propone implementar análisis periódicos del lubricante utilizado por el automotor, de este modo permite identificar contenido de silicio, parámetros de viscosidad y la contemplación de saturación por partículas sólidas. (Mann+Hummel, 2021)

Tabla 10.*Parámetros, Indicadores del análisis de aceite*

Parámetro	Indicador	Relación con filtro
Contenido de silicio	ppm	Filtración deficiente
Viscosidad	ISO VG	Contaminación
Partículas sólidas	ISO 4406	Desgaste abrasivo

8.5.4 Impacto técnico–económico esperado

Como cuarta (4) medida estandarizamos como propuesta de mantenimiento indicadores que permitan medir elementos como la vida útil del motor, consume de combustible, posibles fallas y de esta forma poder evaluar en forma conjunta el costo de mantenimiento preventivo y correctivo.

Tabla 11.

Parámetros, Indicadores de impacto técnico

Indicador	Situación actual	Con plan de mejora
Vida útil de las partes del motor	Altas	+20–30 %
Consumo de combustible	Alto	-3 a -5 %
Fallas	Frecuentes	Disminuyen
Costos de mantenimiento correctivos	Elevados	Reducidos

8.5.5 Verificar intervalo real de cambio

Al tener el kilometraje recomendado por el fabricante y/o proveedor y el ultimo kilometraje como quinta (5) y última medida verificamos el intervalo real de reemplazo del filtro, despreciándola en cuestión de porcentaje, analizando historial de flota actual

Fórmula aplicada:

$$\text{Intervalo real de reemplazo (\%)} = \left(\frac{\text{Km recomendado} - \text{Km último cambio}}{\text{Km recomendado}} \right) * 100 \text{ (Ecuación 3.)}$$

Utilizando la formula, se encuentra el porcentaje real del intercambio del filtro de aire, teniendo en cuenta desde su último mantenimiento rutinario.

Tabla 12.

Datos, Intervalo real de cambio

Ítem	micro	cilindraje	Kilometro recomendado	Kilometraje acumulado desde el último cambio de filtro	Intervalo real de cambio
1	405	4,570	5000	4200	-16%
2	975	2,800	5000	4150	-17%
3	777	4,104	5000	4185	-16%
4	737	4,570	5000	4500	-10%
5	110	4,570	5000	4205	-16%
6	697	3,900	5000	7500	50%
7	728	4,300	5000	8130	63%
8	220	2,771	5000	3600	-28%
9	123	4,104	5000	4125	-18%
10	578	2,771	5000	8200	64%

Al realizar el análisis se encuentran dos (2) resultados uno negativo y el otro positivo, los valores negativos indican reemplazo anticipado del filtro en condiciones de ambiente limpio y los valores positivos que indican uso extendido del filtro, con alto porcentaje de riesgo de saturación, al tener en cuenta los resultados obtenidos se deduce que se encuentran el 30% de los automotores de muestra en riesgo de saturación y el 70% en cambios anticipados.

Al realizar la sumatorio de los porcentajes de kilómetros anticipados me da un valor del -120,7% y de los valores positivos 176,6% el cual equivalen a los siguientes resultados.

Se obtienen dos (2) variables de análisis, el cual se tabularon en la figura 13 nombrándose análisis, junto a sus observaciones.

Tabla 13.

Análisis, Kilometrajes

kilometraje en Porcentaje (Km)	Observación
6035	Al visualizar el kilometraje del -120,7%, se puede deducir que se están perdiendo 6035 Km en cambios prematuro de filtros repartidos entre el 70% de los equipos, el cual es una pérdida en costo de mantenimiento contemplando que ese cambio se realiza de manera rutinaria mensual.
8830	Al visualizar el porcentaje del kilometraje del 176,6%, se puede deducir dos (variables), por una parte, se puede observar que en cuestión de ahorro se tiene 8830 Km, el cual está distribuido entre el 30% de muestra siendo en parte positivo por el estiramiento de la vida útil teniendo en cuenta las inspecciones mensuales del equipo, por otra parte, se corre el riesgo de quedar saturados por partículas sólidas, exponiendo los equipos a desgaste excesivo.

Por otra parte, realizando el análisis de ambas partes, se podría concluir que se está fallando en la realización del mantenimiento preventivo de la siguiente manera:

1)cambios prematuros de elementos, aumento de costos y pérdida de kilometraje de equipo.

2)riesgo a saturación de filtro, daños mayores al equipo resaltando el aumento prologando de uso de estos.

9. Conclusiones:

- De acuerdo con el de desgaste obtenido ($D = 1.0559$), permite indicar que los filtros de aire están siendo reemplazados después del tiempo cumplido en promedio de 5.59% por encima de un intervalo recomendado por el diseñador, vendedor o fabricante. Esta condición evidencia desde el punto de vista de ingeniería el uso prolongado del elemento, el cual puede generar un aumento de la restricción del flujo de aire y afectar el desempeño del motor. Si bien la desviación no es extrema, se recomienda ajustar el programa de mantenimiento para alinearlo con las especificaciones del fabricante o implementar un criterio de reemplazo basado en condición.
- Con base en la evaluación realizada, se concluye que el estado inicial de los filtros de aire de la flota de Coomicro Ltda. presenta niveles de desgaste superiores a los recomendados por los fabricantes, lo cual evidencia una discrepancia entre la frecuencia real de reemplazo y los intervalos técnicos establecidos.
- Desde el enfoque de la ingeniería mecánica, esta situación representa un riesgo para el desempeño y la vida útil de los motores, haciendo necesaria la implementación de criterios de mantenimiento basados en condición y no únicamente en kilometraje.
- El cumplimiento de este objetivo permitió establecer un diagnóstico técnico confiable que servirá como base para la formulación de estrategias de optimización del mantenimiento en la flota.

- Desde el punto profesional, el mantenimiento preventivo del filtro de aire es un factor altamente crítico ya que es el encargado de la protección del motor, e influye directamente en la contaminación de los aceites, los cuales aumentan el desgaste interno y bajan la eficiencia operativa del equipo. La implementación del plan de mantenimiento propuesto a Coomicro Ltda. propone optimizar la vida útil de la flota y mejorar el rendimiento global de los microbuses.
- Al establecer parámetros para la implementación de un mantenimiento preventivo, se realiza un trabajo de estandarización de proceso el cual ayuda a identificar factores críticos de elementos involucrados en los automotores de Coomicro Ltda, y de esta forma poder corregirlos a tiempo.
- El análisis realizado evidencia que no existe un estándar en la ejecución adecuada en el mantenimiento preventivo de reemplazo de filtros, ya que el 70 % de los vehículos presenta cambios anticipados acumulando una pérdida de 6035 km, esto genera un sobre costo y desperdicio de vida útil del componente. Esto demuestra de manera puntual que la gestión de mantenimiento está basada en rutina mas no en una condición real de diseño, afectando la eficiencia económica del plan de mantenimiento maestro.
- El 30 % de la flota presenta uso excesivo en condiciones normales que equivalen a un acumulado de 8830 Km, lo que incrementa las posibilidades de un riesgo por

saturación de partículas y contaminación del lubricante (aceite). Favoreciendo el desgaste abrasivo de los componentes internos del equipo. Por tanto, es necesario implementar un mantenimiento preventivo basado en condiciones de diseño reales, teniendo en cuenta inspecciones técnicas, análisis de aceite y cálculos de consumo que permita reducir fallas y prolongar la vida útil del equipo.

10. Recomendaciones

Realizar una limpieza de equipos como cronograma de mantenimiento de manera que regule su funcionamiento y permite identifica el tiempo oportuno de cambio.

Capacitar a los operarios de manera técnica, la limpieza adecuada de un filtro teniendo en cuenta las referencias y concepto implementados en el trabajo.

Mantener el registro de horómetros de cambio y de uso, obteniendo de esta forma una trazabilidad del desgaste de elementos y conseguir datos puntuales que mejore el rendimiento del equipo.

Realizar un análisis detallado de cada vehículo independiente, como estrategia de mejora continua, que permita identificar causas o daños puntuales en elementos de la flota como los motores.

Realizar los procesos de mantenimiento en cumplimiento de las actividades requeridas por cada uno de vehículos por cada proceso con el personal capacitado y especializado.

11.Referencias Bibliográficas

55000, I. (2014). *Asset Management*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:es>

Bosch. (2020). *Automotive Handbook*. Roberts Bosch GmbH.

Calleja, D. G. (2022). *Motores*. AMV EDICIONES.

Chávez Herrera , A. E., & Ruiz Gutiérrez , G. C. (2025). *Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor*. Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Ecuador.

Dziubak, T. (2022). *Experimental Study of the Effect of Air Filter Pressure Drop*.

Dziubak, T. (2024). *Experimetal Study of Materials for the Filtration of the Intake Air*. Yadda.

Ferguson, C., & Kirkpatrick, A. (2020). *Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences*. WILEY.

Fitch, J., & Troyer , D. (2010). *Oil Analysis Basics*. Noria Corporation.

Heywood, J. B. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill.

International, S. (06 de 26 de 2002). *Air Cleaner Test Code*. Obtenido de AIR CLEANER TEST CODE J726_196003: https://www.sae.org/standards/j726_196003-air-cleaner-test-code

ISO4406. (2017). *Hydraulic fluid power — Fluids — Method for coding the level of contamination by solid particles*.

Mann+Hummel. (2021). *Air Filtration and Engine Protection*. Technical Paper.

Mobley, K. R. (2020). *Maintenance Engineering Handbook*. McGraw-Hill.

Stachowiak, G., & Batchelor, A. (2016). *Engineering Tribology*. Butterworth-Heinemann.

Stone, R. (2017). *Introduction to Internal Combustion Engines*. SAE INTL .

Totten, G. E. (2017). *Handbook of Lubrication and Tribology*. CRC Press.