

# **ANÁLISIS DEL HISTÓRICO DE UNA FLOTA DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE DE PASAJEROS Y MINIMIZACIÓN DE FALLAS A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

María Andrea Ramírez Morales

E-mail: mramirezm@ecci.edu.co

Universidad ECCI. Carrera 19 No. 49-20. PBX. 3537171

Bogotá, D.C. – Colombia

## **RESUMEN**

La investigación surge debido a la problemática actual que existe en cuanto a la disponibilidad de buses prestadores de transporte público, tomando como referencia la ciudad de Bogotá, donde la demanda de usuarios es alta y el número de vehículos que no salen a operar también es elevado e influye en la calidad del servicio y la satisfacción de los usuarios. Estos vehículos que no salen a cubrir sus rutas asignadas, en la mayoría de los casos se encuentran varados por fallas mecánicas, las cuales surgen por deficiencias en los mantenimientos. Como solución, se plantea realizar un estudio que dará como resultado las fallas potenciales, es decir las de mayor ocurrencia, y con ello, implementar la aplicación de algunas técnicas de mantenimiento predictivo que permitan monitorear el estado y funcionamiento de los mismos, con la finalidad de definir y poner en práctica mantenimientos preventivos y correctivos que mejoren el desempeño de la flota y con ello la disponibilidad de los equipos y la calidad del servicio.

## **INTRODUCCIÓN**

El mantenimiento se conoce desde la revolución industrial (1750 – 1840) cuando las factorías (artesanos) son desplazadas por la industria, época en la cual se comienzan a utilizar las máquinas para la fabricación de productos. En ese momento, el mantenimiento sólo se ocupaba de arreglar averías, es decir que era netamente correctivo. Entre la segunda guerra mundial (1939 – 1945) y para finales de los años 70's, con la operación de equipos de guerra, se descubre la relación entre la edad de los equipos y la probabilidad de fallo, por lo que

se comienza a ejecutar mantenimiento preventivo para evitar posibles fallas que ya se sabía que podían ocurrir. Así mismo, a principios de los años 80's surge la necesidad de conocer el origen de las fallas para atacar la raíz y no el síntoma, por lo que se comienzan a hacer estudios de causa – efecto, y es allí donde surge el mantenimiento predictivo que se encarga de monitorear el estado de funcionamiento de un componente para predecir una posible falla y anticiparse a ella.

El mantenimiento predictivo es el que se basa en la condición de la máquina o sus componentes, la cual se chequea o se le realizan las inspecciones en intervalos regulares programados para detectar una falla inicial y monitorear su comportamiento. Dichos intervalos pueden ser en meses, días, horas e inclusive segundos, tal es el caso de los análisis de vibraciones, ampliamente utilizados en la industria [1]. Al hablar de “predecir”, se hace referencia a advertir un suceso futuro, es decir, suponer cuando fallará una máquina o uno de sus elementos, no necesariamente que genere el paro absoluto de la misma, sino que el fallo surge antes de generar efectos mayores, y poder en ese momento tomar decisiones y ejecutar acciones a fin de evitar y/o minimizar sus efectos. Con ello, se logra una mayor disponibilidad del equipo y se minimiza la ocurrencia de paros inesperados de la producción, así como se evitan costos no planificados por mantenimientos correctivos.

## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La Universidad ECCI cuenta con un numeroso grupo de estudiantes de Tecnología en Mecánica Automotriz que se

desempeñan en el área de mantenimiento de empresas operadoras de transporte público de pasajeros, quienes tienen acceso a información relevante para analizar e implementar metodologías de mejora de los procesos y de las problemáticas actuales, que afectan a los usuarios del servicio y a la población en general en las ciudades más importantes a nivel nacional, de Latinoamérica y del mundo. Dichas metodologías de mejora, son pertinentes con la asignatura de Gestión de Mantenimiento del ciclo tecnológico y con otras electivas de profundización que podrán cursar en el ciclo de Ingeniería Mecánica.

Cabe destacar que, muchas de las empresas prestadoras de servicios de transporte, basan sus mantenimientos en correctivos y una pequeña parte es preventiva, cuyos planes no se llevan a cabalidad y se generan serios inconvenientes en el estado de las flotas, lo que acorta la vida útil de las mismas e incrementa los costes de mantenimiento y de reposición de los equipos.

En el mismo orden de ideas, resulta novedosa la implementación de mecanismos predictivos para anticiparse a las fallas críticas más recurrentes luego de un análisis minucioso de los datos que se tienen de los historiales de fallas mecánicas automotrices.

Para ello, será necesaria la aplicación de metodologías de análisis de información de mantenimiento, investigación en el mercado de equipos de mantenimiento predictivo actuales y adecuados, así como también la capacitación de personal para su implementación en la industria.

De acuerdo a lo anterior, se podrá integrar la Universidad ECCI con la industria de transporte de pasajeros de la ciudad de Bogotá, quienes se beneficiarán mutuamente.

## **OBJETIVO GENERAL**

Mejorar la disponibilidad de la flota de una empresa de transporte de pasajeros mediante la aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Ejecutar un análisis de la data extraída del sistema de información de mantenimiento de los historiales de los vehículos que conforman la flota.
- ✓ Determinar la disponibilidad de la flota en los últimos 6 meses.
- ✓ Determinar los modos de fallas potenciales que están afectando en mayor medida la disponibilidad de la flota.
- ✓ Escoger una o más técnicas de mantenimiento predictivo que puedan aplicarse a la flota de acuerdo a los modos de falla potenciales obtenidos.
- ✓ Implementar las técnicas de mantenimiento predictivo escogidas por un periodo de tiempo conveniente.
- ✓ Medir la disponibilidad de la flota mes a mes luego de implementadas las técnicas de mantenimiento predictivo.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos en cuanto a disponibilidad de la flota antes y después de implementadas las técnicas de mantenimiento predictivo.

## **LAS HIPÓTESIS**

**Hipótesis 1.** Al realizar el monitoreo predictivo a la flota de vehículos y definir e implementar las acciones preventivas y correctivas correspondientes, la disponibilidad de la flota debe incrementarse de manera progresiva mes a mes.

**Hipótesis 2.** Al realizar el monitoreo predictivo a la flota de vehículos y definir e implementar las acciones preventivas y correctivas correspondientes, los gastos debidos a pérdidas de rutas por estado mecánico de los buses deben disminuir de manera progresiva.

## METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

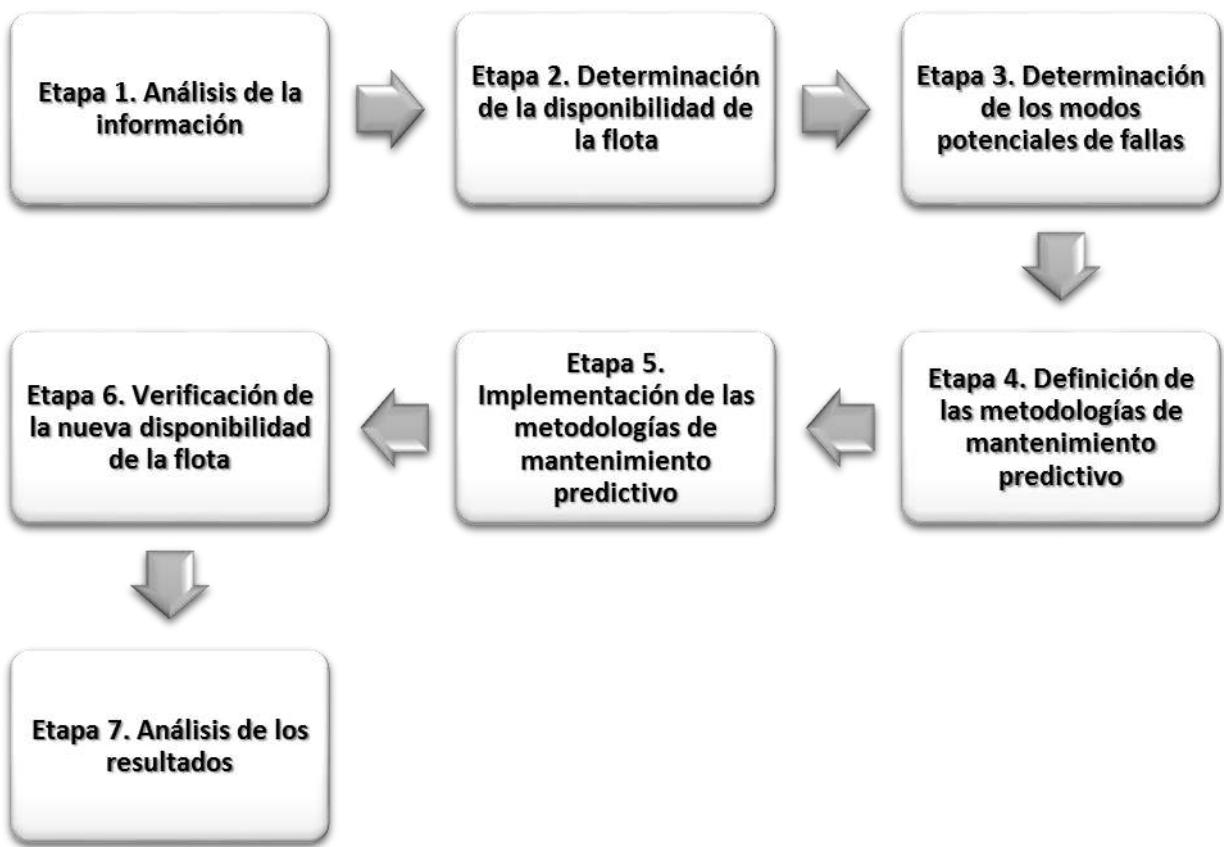


Ilustración 1 - Metodología de la investigación

La metodología a seguir en la investigación está formada por las 7 etapas:

**Etapa 1. Análisis de la información.** Consiste en extraer o migrar a Excel la data del sistema de información de la empresa operadora de transporte público en la cual aparezca:

- Vehículos que operaron diariamente en los últimos 6 meses.
- Historial de fallas de cada uno de los vehículos en los últimos 6 meses.

**Etapa 2. Determinación de la disponibilidad de la flota.** Con la información anterior se realiza el análisis de:

- Disponibilidad de la flota mes a mes, la cual se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\text{Cantidad de rutas operadas}}{\text{Cantidad de rutas planeadas}} * 100$$

Donde la cantidad de rutas operadas se refiere a los vehículos que salieron y cumplieron el recorrido completo, y la cantidad de rutas planeadas son las que estaban planificadas para ser cubiertas.

Los resultados de cada mes se grafican en un histograma para observar la tendencia.

Así mismo, se realiza el cálculo de las pérdidas en dinero por motivo del no cumplimiento de rutas y se realiza el mismo tipo de gráfico.

**Etapa 3. Determinación de los modos potenciales de falla.**

- Se verifica la casilla donde se indica el motivo de cada una de las fallas de los vehículos y a través de un análisis de frecuencias, de acuerdo al número en que aparece cada falla, se escogen

las 10 más repetitivas, y se realiza un gráfico circular para visualizar las proporciones.

**Etapa 4. Definición de las metodologías de mantenimiento predictivo.** De acuerdo a lo obtenido en el análisis de frecuencias, se determina cuál o cuáles de las técnicas de mantenimiento predictivo explicadas en el marco teórico, es o son las más adecuada de aplicar para ejecutar el monitoreo de los factores de operación pertinentes a los modos de falla y se escoge la muestra conveniente.

**Etapa 5. Implementación de las metodologías de mantenimiento predictivo.** Luego de definidas las técnicas de mantenimiento predictivo adecuadas, se procede a la compra de los respectivos equipos y la capacitación del personal técnico, o a la contratación de las empresas que realizarán los monitoreos, se realiza la planeación de la ejecución de las mediciones teniendo en cuenta la frecuencia entre mediciones y se comienza a aplicar el mantenimiento predictivo a toda la flota durante un periodo de seis meses. De acuerdo a los resultados que se van obteniendo se van definiendo y realizando medidas preventivas y correctivas en los equipos.

**Etapa 6. Verificación de la nueva disponibilidad de la flota.** Luego de implementado el mantenimiento predictivo a la flota, se realizan los cálculos de la disponibilidad mes a mes y se obtiene la información de las pérdidas en pesos de no cumplimiento de rutas.

**Etapa 7. Análisis de los resultados.** De la información obtenida del cálculo de disponibilidad y de las pérdidas por no cumplimiento de ruta luego de implementado el mantenimiento predictivo, se procede a graficar mes a mes ambos valores, se observa la tendencia y se compara con lo graficado en el análisis de los 6 meses previos a la implementación del mantenimiento predictivo.

En general:

- La investigación es experimental porque se manipulan variables para medir los resultados y compararlos con los estados iniciales.
- La muestra que se tomará será entre 150 y 300 vehículos de transporte público de pasajeros, y se escogerán los que presentan mayor cantidad de fallas correspondientes al análisis predictivo que se defina.
- La recolección de datos se realiza directamente del sistema de información de la empresa operadora de transporte público de pasajeros, la cual es confiable de acuerdo al grado de la correcta utilización y alimentación por parte de los usuarios del sistema de información. Entre las técnicas de análisis de datos que se utilizarán se tiene el análisis de frecuencias, histogramas y gráficos circulares.
- El análisis de la información es cuantitativo ya que se tienen datos numéricos que son medibles.

### **REVISIÓN SISTEMÁTICA DEL AVANCE PÚBLICO NACIONAL Y MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN Y DEL CONOCIMIENTO ACTUAL**

Se realizó una revisión bibliográfica sobre investigaciones previas referentes a implementación de planes de mantenimiento predictivo en empresas que poseen flotas de vehículos de transporte. Se comenzó examinando el panorama nacional en el cual se encontraron dos investigaciones relevantes. En el 2014, Martínez J., propone un protocolo de mantenimiento basado en los informes de análisis de aceite de los vehículos de carga pesada equipados con motores Cummins ISX, de los cuales se tomaron datos necesarios para la estructuración de una matriz de decisiones que busca extender la vida útil del motor [2]. También se encontró el planteamiento elaborado por Calderón y López (2016), de la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la flota de buses

de una empresa operadora de Transmilenio, llamada sistemas Operativos Móviles SOMOS K S.A., mediante el análisis de pruebas de aceite en los conjuntos motor y caja [3].

Así mismo, se hizo la revisión de investigaciones y modelos de mantenimiento predictivo a nivel mundial, entre las cuales destaca en 1998, los autores Anubla, Domínguez y Pérez, quienes desarrollan e implementan mantenimiento predictivo en los motores diésel, marca MAN, modelo 2866-LUE-601 del parque automotor de 25 vehículos con que cuenta RENFE en la ciudad de Valencia, España [4]. Posteriormente, en el mismo país, Carnero M. (2002), genera herramientas constituidas por aplicaciones informáticas para la optimización del mantenimiento predictivo en la planta GICC de Puertollano dentro del programa conjunto ELCOGAS-UCLM [5]. El año siguiente, en Estados Unidos, Baird y Russel describen el programa de mantenimiento predictivo con la utilización de la técnica termografía infrarroja en Augusta Newsprint Company de Giorgia, la cual es una fábrica que produce aproximadamente 400 mil toneladas de papel periódico; integran un programa de análisis de vibraciones ya existente con uno de vibraciones más reciente [6]. A continuación, en el 2004, los autores chilenos Saavedra y Molina presentan un estado del arte mundial del mantenimiento predictivo mediante análisis de vibraciones en la industria, a través de ejemplos reales industriales [7]. Dando continuidad, se encontró relevante la investigación de Altmann C. (2005) referente a la importancia del análisis de aceite como estrategia de mantenimiento predictivo en flotas de maquinaria pesada [8]. También, en Venezuela, Suárez R. (2007) presenta una metodología para el cálculo de frecuencias de inspección del mantenimiento predictivo, la cual se basa en un modelo matemático que toma en cuenta la relación riesgo-costo-beneficio [9]. Tres años después, los cubanos Rigol, Peña, Hernández y Díaz muestran una metodología de mejora continua del mantenimiento técnico para vehículos de transporte de carga, basada en el control

estadístico de procesos y se valida en una empresa transportadora de alimentos en la ciudad de Holguín [10].

Dando continuidad, también en Cuba, Conte, Aparicio y Zorzoli (2012), reúnen los valores agregados que ofrece el mantenimiento predictivo, muestra el ahorro que puede traer para una empresa, logrando además, el control de procesos productivos y la posibilidad de efectuar la planificación programada de los mantenimientos [11]. De igual forma, Salvidia F. (2013), de México, realiza un monitoreo de las propiedades físico-químicas y contaminación del lubricante en un motor de combustión interna de encendido por compresión con un procedimiento de arranque y calentamiento que consistió en el funcionamiento del motor sin carga, velocidad de ralentí; obteniendo como resultado un a medida del efecto del contenido de combustible en la estabilidad de la película lubricante a través de la viscosidad, la cual no tiene mayor influencia en los metales provenientes de desgastes ya que se mantienen controlados, al igual que los niveles de aditivación. Pero obliga a actuar sobre los parámetros operativos del equipo con la finalidad de corregir el problema de la contaminación con combustible [12].

Ese mismo año, también en México, Hernández J., presenta una propuesta de reducción de costos en las aerolíneas haciendo uso de mantenimiento predictivo en las aeronaves, específicamente en el componente álabes de turbina [13]. A continuación, Mendoza y Miranda (2014), de Ecuador, implementan un plan de mantenimiento predictivo mediante la técnica de análisis de vibraciones para los motores y bombas del laboratorio de turbomáquinas de la facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [14]. Allí mismo, el año siguiente, Buchelli y García, realizan un estudio sobre el análisis de aceite en un motor de combustión interna diésel de un equipo camionero, para utilizarlo como herramienta de mantenimiento predictivo basado en condición, en el cual emitieron recomendaciones de corrección de operación,

mantenimiento y su posterior seguimiento [15].

Para finalizar la revisión, Sexto, Palacio y Parra (2015), de Cuba, muestran los resultados más significativos del estudio para implementar en programa de mantenimiento predictivo en una planta molinera de ciudad Habana, en el cual estiman las pérdidas por la falta de disponibilidad de equipos y el análisis de confiabilidad de los mismos, y brindan recomendaciones para mejorar la situación de las líneas de molinos [16].

### **IMPACTOS ESPERADOS A PARTIR DEL USO DE LOS RESULTADOS**

Con los resultados, se espera crear conciencia a nivel empresarial de la importancia y la influencia del departamento de mantenimiento y su gestión en los resultados operativos y de producción. Con ello, promover la cultura del mantenimiento e impulsar a los altos directivos a asignar recursos e invertir en el proceso de mantenimiento. De igual manera, comprobar y dar a conocer los beneficios que aporta la implementación del mantenimiento predictivo, específicamente en la industria automotriz y de transporte. Cabe destacar que, entre más empresas operadoras de transporte público implementen este tipo de mantenimiento, se verán resultados a nivel local en cuanto a la disponibilidad de buses y a la movilidad de la ciudad, lo que incrementaría la calidad de vida de muchas personas y beneficiaría a la comunidad en general.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] Rosa M, Miles L, Pérez J. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento Predictivo. Universidad de El Salvador. Argentina, 2009.

[2] Martínez J. Generación de un plan de mantenimiento basado en informes de análisis de aceite lubricante en motores CUMMINS ISX. Universidad de Santo Tomás. Colombia, 2014.

[3] Calderon P., López M. Plan de monitoreo y control a través de los análisis de aceite para motor y transmisión de vehículos articulados Mercedes para la empresa Sistemas Operativos Móviles – SOMOS K S.A. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia, 2016.

[4] Anubla E., Domínguez D., y Pérez M. Desarrollo e implementación de mantenimiento predictivo en los motores diésel de los vehículos S/592. Ferroviaria '98, p. 361-372. España, 1998.

[5] Carnero M. Herramientas para la optimización del Mantenimiento Predictivo en la planta GICC de PuertoLlan dentro del programa conjunto ELCOGAS-UCLM. II Conferencia de Ingeniería de Organización Vigo. España, 2002.

[6] Baird L., Russell B. Paper Mill Predictive Maintenance Utilizing Infrared. InfraMation ITC 092 A. Estados Unidos, 2003.

[7] Saavedra P., Molina C. La Evolución y Perspectivas del Mantenimiento Predictivo Proactivo en la Industria. VI Congreso Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento. México, 2004.

[8] Altmann C. El análisis de aceite como herramienta de mantenimiento proactivo en flotas de maquinaria pesada. 1er. Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiability. Uruguay, 2005.

[9] Suárez R. Cálculo de la frecuencia de inspección de mantenimiento predictivo. Cargill. Caracas, 2007.

[10] Rigol B., Peña D., Hernández O., Díaz, S. Metodología para mejorar el mantenimiento de vehículos de carga en una empresa cubana. ResearchGate, Ingenierías, Enero – Marzo 2010, Vol. XIII, No. 46. Cuba, 2010.

[11] Conte D., Aparicio J., Zorzoli E. Los valores agregados del mantenimiento predictivo. 16 Convención científica de

Ingeniería y Arquitectura Palacio de Convenciones de la Habana. Cuba, 2012.

[12] Salvidia, F. Aplicación de mantenimiento predictivo, caso de estudio: Análisis de aceite usado en un motor de combustión interna. Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, "Innovation and Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity". México, 2013.

[13] Hernández J. Propuesta de reducción de costos en las aerolíneas haciendo uso de un mantenimiento predictivo en las aeronaves con factores del proyecto T.A.T.E.M. Caso práctico: álabes de turbina. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y eléctrica Unidad TICOMÁN. México, 2013.

[14] Mendoza D., Miranda D. Implementación de un plan de mantenimiento predictivo mediante la técnica de análisis vibracional para los motores y bombas del laboratorio de trubomáquinaria de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador, 2014.

[15] Buchelli-Carpio L., García-Granizo V. Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diésel mediante la técnica de análisis de aceite. Revista Ciencia UNEMI, Vol. 8, pp. 84-95. Ecuador, 2014.

[16] Sexto L., Palacio A., Parra O. Bases para implementar un programa de mantenimiento predictivo, caso de estudio. Cuba, 2015

### **MARÍA ANDREA RAMÍREZ MORALES**

Ingeniera Mecánica, Magister en Ingeniería de Mantenimiento, Magíster en Ingeniería Industrial, egresada y titulada de la Universidad de Los Andes de Venezuela y en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, con amplio manejo del idioma inglés conversacional y técnico. Experiencia acreditada por más de diez años en el campo automotriz, concretamente en las áreas de gerencia de servicio y repuestos, siguiendo los estándares de Ford Motor de Venezuela S.A.; y en el mantenimiento de flota de transporte masivo en Bogotá, siguiendo estándares de Transmilenio S.A.

Experta en consultoría, asesoría, planeación y elaboración de presupuestos y costos de mantenimiento de flotas de transporte. Asesora de sistemas de gestión, elaboración de procedimientos, planes de mantenimiento, seguimiento y control de procesos.

Actualmente, docente de tiempo completo en la Universidad ECCI en los programas pertenecientes a la coordinación de Ingeniería Mecánica.

Nombre del autor: María Andrea Ramírez Morales

Teléfono: 3138240662

Residencia: Diagonal 46 #20-89 Apartamento 6. Barrio Palermo. Teusaquillo.

Oficina: Universidad ECCI. Carrera 19 No. 49-20. PBX. 3537171

Bogotá, D.C.

Colombia.