

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA MECÁNICA  
RADICACIÓN \_\_\_\_\_

APELLIDOS: Calderón Camacho  
NOMBRES: Paubla Andrea  
CÓDIGO: 20151375008  
TEL: 3108556773  
E-MAIL: paublacalderonc@gmail.com



APELLIDOS: López Álvarez  
NOMBRES: Mayra Daniela  
CÓDIGO: 20151375402  
TEL: 3112812937  
E-MAIL: mayradlopeza@gmail.com



**TÍTULO DEL PROYECTO:** Propuesta de plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para vehículos articulados MERCEDES BENZ a partir del monitoreo por condición de las pruebas de aceite en los elementos de motor y transmisión para la empresa SISTEMAS OPERATIVOS MÓVILES - SOMOS K S. A.

**TIPO DE PROYECTO:** Proyecto de análisis y resolución de un caso práctico.

**MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO:** Proyecto tecnológico.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DEL PROYECTO CURRICULAR:** Optimización de procesos industriales.

**ÁREAS DE CONOCIMIENTOS QUE INVOLUCRA:** Mantenimiento automotriz, lubricación.

**TUTOR SUGERIDO:** Ing. Mauricio González Colmenares.

Bogotá D.C.  
04 de noviembre de 2015

SEÑORES  
CONSEJO CURRICULAR  
PROYECTO CURRICULAR DE MECÁNICA

Ref. Presentación de la propuesta

En cumplimiento del Reglamento de la Facultad para la elaboración del trabajo de grado nos permitimos para fines pertinentes presentar la propuesta de Trabajo titulado *PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA VEHÍCULOS ARTICULADOS MERCEDES BENZ A PARTIR DEL MONITOREO POR CONDICIÓN DE LAS PRUEBAS DE ACEITE EN LOS ELEMENTOS DE MOTOR Y TRANSMISIÓN PARA LA EMPRESA SISTEMAS OPERATIVOS MÓVILES - SOMOS K. S. A.*

**El director propuesto es: Ing. Mauricio González Colmenares**

Atentamente,

Firma:

---

Mayra Daniela López A.  
20151375402

---

Paubla Andrea Calderón C.  
20151375008

---

Mauricio González Colmenares

## TABLA DE CONTENIDO

|  |      |    |
|--|------|----|
| 1. Identificación del proyecto                   | Pág. | 4  |
| 1.1 Título                                       | Pág. | 4  |
| 1.2 Introducción                                 | Pág. | 4  |
| 2. Aspectos científicos y técnicos               | Pág. | 5  |
| 2.1 Problema y objetivos de la investigación     | Pág. | 5  |
| 2.2 Estado del arte                              | Pág. | 5  |
| 2.3 Justificación                                | Pág. | 6  |
| 2.4 Formulación del problema de la investigación | Pág. | 7  |
| 2.5 Objetivos                                    | Pág. | 7  |
| 3. Marco teórico                                 | Pág. | 8  |
| 3.1 Definición de mantenimiento                  | Pág. | 8  |
| 3.2 Funciones de mantenimiento                   | Pág. | 8  |
| 3.3 Tipos de mantenimiento                       | Pág. | 9  |
| 3.4 Mantenimiento Basado en Confiabilidad        | Pág. | 9  |
| 3.5 Monitoreo por condición                      | Pág. | 12 |
| 3.6 Lubricación                                  | Pág. | 14 |
| 3.7 Motores de combustión interna                | Pág. | 16 |
| 4. Metodología                                   | Pág. | 18 |
| 5. Cronograma                                    | Pág. | 19 |
| 6. Presupuesto de la investigación               | Pág. | 20 |
| 7. Bibliografía                                  | Pág. | 21 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |      |    |
|---|------|----|
| 1. Beneficios a perseguir como metas en un mantenimiento centrado en fiabilidad | Pág. | 10 |
| 2. Nivel de gravedad asociado a una falla                                       | Pág. | 11 |
| 3. Estrategias de mantenimiento asociadas a las tareas preventivas.             | Pág. | 12 |
| 4. Etapas para la selección de tareas   | Pág. | 12 |
| 5. Diagrama P-F   | Pág. | 14 |

## INDICE DE TABLAS

|   |      |    |
|---|------|----|
| 1. Consecuencias sobre superficies metálicas según el contaminante.   | Pág. | 16 |
| 2. Cronograma de actividades para la ejecución del proyecto de grado. | Pág. | 19 |
| 3. Presupuesto invertido por cada estudiante                          | Pág. | 20 |

## **1. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

### **1.1 PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA VEHÍCULOS ARTICULADOS MERCEDES BENZ A PARTIR DEL MONITOREO POR CONDICIÓN DE LAS PRUEBAS DE ACEITE EN LOS ELEMENTOS DE MOTOR Y TRANSMISIÓN PARA LA EMPRESA SISTEMAS OPERATIVOS MÓVILES - SOMOS K. S. A.**

#### **1.2 INTRODUCCIÓN**

El mantenimiento es el conjunto de técnicas propuestas a observar e intervenir equipos e instalaciones que se encuentran en servicio, durante el mayor tiempo posible y con el máximo rendimiento.

Con el paso del tiempo, la idea del mantenimiento ha sufrido significativos cambios, los cuales se deben al incremento en la industrialización, la complejidad de la maquinaria, la introducción de nuevas técnicas de mantenimiento, además de un nuevo enfoque de la organización y de sus responsabilidades.

El mantenimiento ha evolucionado ante nuevas expectativas, las cuales otorgan mayor importancia a los criterios de seguridad y medio ambiente, al seguimiento de la conexión existente entre el mantenimiento y la calidad del producto y la consecución de una alta disponibilidad de la maquinaria al mismo tiempo que el proceso se optimiza.

Debido a esta avalancha de cambios, el personal encargado de dirigir el mantenimiento se enfoca en la búsqueda de nuevos caminos, con los cuales se pretende evitar equivocarse cuando se toma alguna acción de mejora.

El mantenimiento basado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) transforma la relación entre el personal involucrado, la planta, y el equipo de trabajo que está en obligación de hacerla funcionar y mantenerla. Además permite poner en funcionamiento nueva maquinaria a gran velocidad, seguridad y precisión.

Este proyecto tiene como finalidad plantear un programa de mantenimiento RCM a través de las pruebas de aceite para el monitoreo por condición de la flota de buses de la empresa SOMOS K, basado en necesidad que presenta la empresa frente a la disponibilidad de los buses para la prestación del servicio.

## **2. ASPECTOS CIENTÍFICOS TÉCNICOS**

### **2.1 EL PROBLEMA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:**

SOMOS K es una Empresa colombiana que presta el servicio de transporte masivo de pasajeros desde el año 2004 como operador del sistema TransMilenio en la ciudad de Bogotá. Está conformado por 171 buses, los cuales se clasifican en tres grupos, de acuerdo al tipo de flota:

- UPA400, del bus K001 al K105, con un kilometraje promedio de 865478.
- O500, del bus K106 al K152, con un kilometraje promedio de 837591.
- EUROV, del bus K153 al K171, con un kilometraje promedio de 360104.

De los cuales debe garantizar 168 servicios, con disponibilidad de los 3 restantes en el caso de requerirse alguna ruta adicional. El objetivo de la empresa, es asegurar la prestación de dicho servicio al sistema de TransMilenio.

Somos K S. A. y Transmilenio tienen un contrato, y este finaliza hasta tener 1'240.000Km recorridos o 1'210.000 promedio en la flota, esto significa que SOMOS K S. A. está entrando a la última fase del contrato. Para la culminación del mismo, cuando los buses estén llegando al 1'000.000 Km se debe garantizar un overhall por bus, que tiene un valor tope. Por las razones enunciadas anteriormente es de vital importancia mantener los buses en condiciones de funcionamiento óptimas, teniendo que la flota UPA400 es la más antigua (modelo 2004), por tanto es aquella que presenta una mayor probabilidad de fallo.

Dentro de los constantes fallos que presentan los buses, la gran mayoría pueden ser predichos y corregidos a través de un monitoreo por condición del estado de la lubricación en general de la flota (tanto para motores como para transmisiones).

Aquí es posible describir el problema, como la ausencia de acciones tendentes a evitar los fallos, por lo cual, el presente trabajo tiene como objetivo, plantear una propuesta para disminuir los tiempos de parada, costos de mantenimiento y aumentar la disponibilidad de los buses de la flota.

### **2.2 ESTADO DEL ARTE**

A lo largo del proceso industrial que se vivió desde finales del siglo XIX, el mantenimiento ha pasado por diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, eran los operarios quienes se encargaban de realizar las respectivas reparaciones de los equipos. En la medida en que las máquinas fueron haciéndose más complejas y el tiempo dedicado a las tareas de reparación aumentaba, se hizo necesaria la creación de los primeros departamentos de mantenimiento. Las tareas realizadas por éste departamento, eran únicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que presentarían en los equipos.

Desde de la Primera Guerra Mundial, y especialmente, de la Segunda, aparece el concepto de fiabilidad, y es allí cuando los departamentos de mantenimiento no sólo se enfocan en la solución de las fallas que se producen en los equipos, sino, también en prevenirlas y tomar acciones para que éstas no se produzcan. Este nuevo concepto, supone la creación de una nueva figura en el mantenimiento: personal cuya función es el estudio de qué tareas de mantenimiento son necesarias para evitar que se presenten fallas. Se produce un aumento del personal que no está involucrado de manera directa la realización de las tareas, y con él los costes de mantenimiento. Sin embargo, se pretende aumentar y hacer más fiable la producción, evitando las pérdidas por averías y los costos asociados. Es entonces cuando aparece el Mantenimiento Preventivo, Predictivo, Proactivo, la Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador, y el Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM). El Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM) es un estilo de gestión de mantenimiento basado en el estudio de los equipos, análisis de modos de fallo y aplicación de técnicas estadísticas y tecnológicas de detección. El RCM es una filosofía de mantenimiento esencialmente tecnológica.

A partir de los años 80, empieza a retornar nuevamente la idea de que podría ser rentable volver al modelo inicial, en el cual los operarios de producción se ocupan del mantenimiento de los equipos. Allí es cuando se desarrolla el TPM, o Mantenimiento Productivo Total, en él, algunas de las tareas el personal de mantenimiento que realizaba normalmente, ahora deben ser realizadas por los operarios de producción. Esas tareas que fueron transferidas son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Con esta metodología, se pretende que el operario de producción se involucre en mayor grado con el cuidado de la máquina. El TPM se centra en la formación, motivación e implicación del equipo humano en las tareas del mantenimiento, en lugar de la tecnología.

El TPM y RCM no son formas opuestas de dirigir el mantenimiento, por el contrario ambas se implementan en la actualidad en muchas empresas. En algunas empresas, la metodología RCM impulsa el mantenimiento, y con ella se determinan las tareas a efectuar en los diferentes equipos; posteriormente, algunas de esas tareas se transfieren a producción, en la intención implantar una política de TPM. Por otra parte, en otras plantas, la filosofía TPM se impone, siendo RCM una herramienta más para la determinación de tareas y frecuencias en determinados equipos.

### **2.3 JUSTIFICACIÓN**

En Sistemas operativos Móviles S.A. se busca proporcionar los mejores recursos: humano, técnico y económico, para la prestación del servicio de transporte masivo de pasajeros; a través del compromiso de los colaboradores, la gestión del conocimiento, mejoramiento continuo y la investigación, con una administración financiera eficiente y una operación rentable.

Igualmente, están comprometidos con la seguridad a través de la prevención de: accidentes, lesiones a las personas y daños a la salud de sus colaboradores. Trabajan por la satisfacción de los usuarios, accionistas y demás grupos de interés, así mismo, por la prevención de la contaminación y protección del ambiente, la responsabilidad social y el cumplimiento de los requisitos legales, normas que apliquen y a las que se acoja la organización.[1].

Teniendo en cuenta la necesidad de brindar un servicio de alta calidad y con el objetivo principal de preservar la seguridad del usuario, se deben buscar elementos en la operación que generen fallas ocultas (En los motores y las transmisiones) que se puedan evidenciar a través de la lubricación, y con ayuda de la misma atacarlas en el momento adecuado para garantizar la disponibilidad de una flota segura y confiable para el usuario final.

## **2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

¿De qué manera la implementación de un método de control a través del área de lubricación ayudara al mejoramiento de la confiabilidad de la flota de SOMOS K?

## **2.5 OBJETIVOS**

- **OBJETIVO GENERAL:**

Proponer un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la flota de buses de la empresa SOMOS K, a partir del análisis de las pruebas de aceite de motor y transmisión.

- **OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- ✓ Realizar la toma de muestras de aceite de motor y transmisión para el análisis del estado actual de la flota.
- ✓ Generar un plan de mantenimiento para las fallas encontradas.
- ✓ Implementar una prueba piloto del monitoreo por condición para los sistemas de lubricación.

---

<sup>1</sup> Política de gestión integral de la empresa Somos K.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento es la conservación de la maquinaria y equipo con el fin de maximizar su disponibilidad. Esta área se ha perfilado tanto que hoy en día ocupa un lugar importante en la estructura de la organización e inclusive es una de las áreas primordiales para mantener y mejorar la productividad.

Así como el departamento de mantenimiento ha mejorado, la gente que lo lleva a cabo también ha sufrido cambios y han pasado de ser técnicos multiusos a especialistas que conocen perfectamente su área de trabajo.

Actualmente el mantenimiento industrial tiene un gran auge, y que además involucra no sólo al personal de mantenimiento sino también a toda la organización<sup>1</sup>.

#### 3.2 FUNCIONES DEL MANTENIMIENTO

A gran escala, es posible afirmar que las funciones básicas del mantenimiento se podrían resumir al cumplimiento de los trabajos necesarios para el mantener y establecer un equipo, de modo que sea capaz de cumplir con los requisitos normales del proceso de producción.

Esta definición, depende de distintos factores entre los que cabe mencionar el tipo de industria así como su tamaño, políticas y características de la producción entre otras. Aún así, las tareas del departamento de mantenimiento pueden variar entre las diferentes empresas, dependiendo de la estructura organizativa de las mismas, por lo cual las funciones del mantenimiento en cada, no serán las mismas.

Dependiendo de los factores mencionados, las actividades del departamento de mantenimiento puede incluir las siguientes responsabilidades:

- Mantener los equipos e instalaciones en condiciones operativas eficaces y seguras.
- Efectuar un control del estado de los equipos así como de su disponibilidad.
- Realizar los estudios necesarios para reducir el número de averías imprevistas.
- En función de los datos históricos disponibles, efectuar una previsión de los repuestos de almacén necesarios.
- Realizar el seguimiento de los costos de mantenimiento
- Tareas de vigilancia.

Sin importar las responsabilidades que sean asignadas al departamento de mantenimiento, es fundamental establecer claramente, definir y delimitar el campo

---

<sup>1</sup> Conceptos básicos sobre mantenimiento industrial. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán  
[http://www.itsteziutlan.edu.mx/site2010/index.php?option=com\\_content&view=article&id=685:conceptos-basicos-sobre-mantenimiento-industrial&catid=27:artlos&Itemid=288](http://www.itsteziutlan.edu.mx/site2010/index.php?option=com_content&view=article&id=685:conceptos-basicos-sobre-mantenimiento-industrial&catid=27:artlos&Itemid=288)



acción así como los niveles de autoridad de dichas tareas para garantizar el buen funcionamiento de la empresa.

### **3.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO**

Tradicionalmente se tiene una clasificación basada más en el enfoque metodológico, que meramente en la relación de las características funcionales, las cuales dependen de diferentes factores. Desde este punto de vista, se definen los siguientes tipos de mantenimiento:

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Productivo Total

Ninguno de los tipos de mantenimiento mencionados anteriormente se utiliza de manera independiente, sino que en pro de la rentabilidad, se establece el plantear una adecuada combinación de los mismos, en lo que se hace llamar un mantenimiento planificado, para el cual se hace necesario en efectuar una correcta selección de las plantas y/o los equipos a los que se va a aplicar dicho plan.

### **3.4 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM)**

El RCM, es un proceso que permite determinar cuáles son las operaciones a realizar para que un equipo o sistema continúe con el desarrollo de sus funciones normales en su contexto operacional, siempre y cuando esto sea rentable para la compañía.

En el siguiente cuadro se presenta algunos de los posibles beneficios a obtener con la implantación del rcm:

| COSTES  | SERVICIO  | CALIDAD  | TIEMPO  | RIESGOS   |
|---|---|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir los niveles y costes del mantenimiento preventivo rutinario (10 a 40 %).</li> <li>• Definir directrices y objetivos concretos para sustituir preventivos rutinarios por predictivos.</li> <li>• Reducir los niveles de mantenimiento contratado y sus importes.</li> <li>• Reducir las paradas en producción de forma rentable haciendo reingeniería.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocer mejor los requerimientos de servicio del cliente.</li> <li>• Definir de forma consensuada niveles de calidad de servicio (p. ej., según ISO 9001).</li> <li>• Reducir las averías con especial incidencia en las que repercuten en el servicio.</li> <li>• Mejor comunicación entre Mantenimiento y Producción.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento de la disponibilidad por menor preventivo y menor correctivo (2 a 10 %).</li> <li>• Eliminación de fallos crónicos que "no entiende" Producción cómo no se reparan.</li> <li>• Mejora de la corresponsabilización y adhesión al cambio en el mantenimiento.</li> <li>• Mejor documentación del cambio y sistema auditable por terceros.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción en las paradas programadas para grandes revisiones.</li> <li>• Intervalos normalmente más largos entre paradas por seguimientos predictivos.</li> <li>• Tiempos de reparación más cortos por mejor conocimiento del sistema en su conjunto.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor aseguramiento de la integridad de la seguridad y entorno.</li> <li>• Análisis de fallos ocultos y sus causas, que no suelen revisarse en mantenimientos rutinarios.</li> <li>• Reducción de la probabilidad de fallos múltiples.</li> <li>• Reducción de riesgos asociados a las tareas rutinarias.</li> </ul> |

Figura 1: Beneficios a perseguir como metas en un mantenimiento centrado en fiabilidad. Tomado de: *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*.

Para llevar a cabo el análisis del proceso, se hace necesario que el departamento de mantenimiento tenga claros y analizados los siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son las funciones del equipo o sistema?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué puede causar que falle?
- ¿Qué sucede realmente cuando falla?
- ¿Qué ocurre si se produce el fallo y que repercusiones reales (disponibilidades, costos, accidentes, etc.) tiene?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos?
- ¿Qué se debe hacer si no se puede prevenir el fallo?

Cabe mencionar, que cuando se proceda a responder dichos interrogantes, es importante determinar qué es lo que la empresa, la planta o el cliente espera que el sistema haga dentro del contexto operacional, lugar, entorno y/o circunstancias de operación. Esto implica saber cuáles son verdaderamente los límites o estándares realmente necesarios para el cliente o actividad.

Una vez sabidas cuáles son las funciones y prestaciones, se procede a identificar y conocer los fallos, ya que para implantar el RCM, es necesario identificar una a una las posibilidades de fallo de cada uno de los elementos o equipos, entendiendo como fallo la interrupción de las funciones normales.

Conocidas las funciones, prestaciones y fallos funcionales, se remite a la siguiente pregunta: ¿qué ocurre cuando falla?. Para responder a la misma es importante identificar la causa más probable de cada uno de los fallos.

Luego de determinar los modos de fallo, se pregunta: ¿qué efectos tienen los fallos?. Para cada uno de los fallos es indispensable registrar a través de formatos, cuáles son las consecuencias de una determinada avería, y además que pasaría si ocurriera una varía asociada. De esta forma no se limita a cada fallo de manera independiente, sino que se aborda la causa asociada a fallos múltiples.

Después de realizados los análisis mencionados con anterioridad, se remite preguntarse: ¿Qué ocurre si falla?. En la figura 2 se visualiza el nivel de gravedad que puede asociarse de acuerdo a las distintas fallas que pueda presentar un proceso.

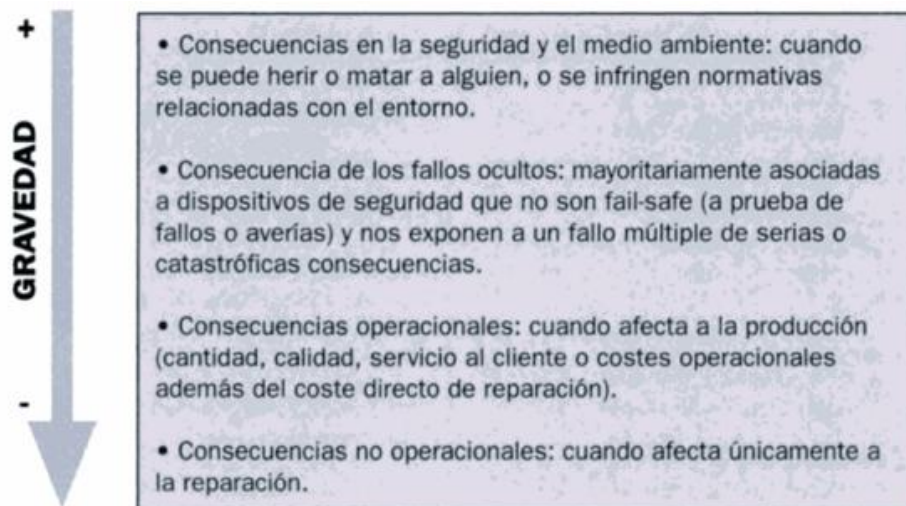


Figura 2: Nivel de gravedad asociado a una falla. Tomado de: *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*.

El siguiente paso para el estudio y definición del RCM es preguntar: ¿qué se puede hacer para prevenir los fallos?. Para esto, es necesario que cuando el grupo de trabajo conteste este interrogante, se disponga a anotar y valorar claramente cada una de sus propuestas, con el fin de realizar un análisis de la relación costo-beneficio.

Para llevar a cabo este análisis, hay que analizar y evaluar las causas de no prevenir el fallo. En la figura 3, se aprecia una simplificación de las estrategias de mantenimiento que se deben tener en cuenta, con el fin de facilitar la tarea de análisis en el RCM.

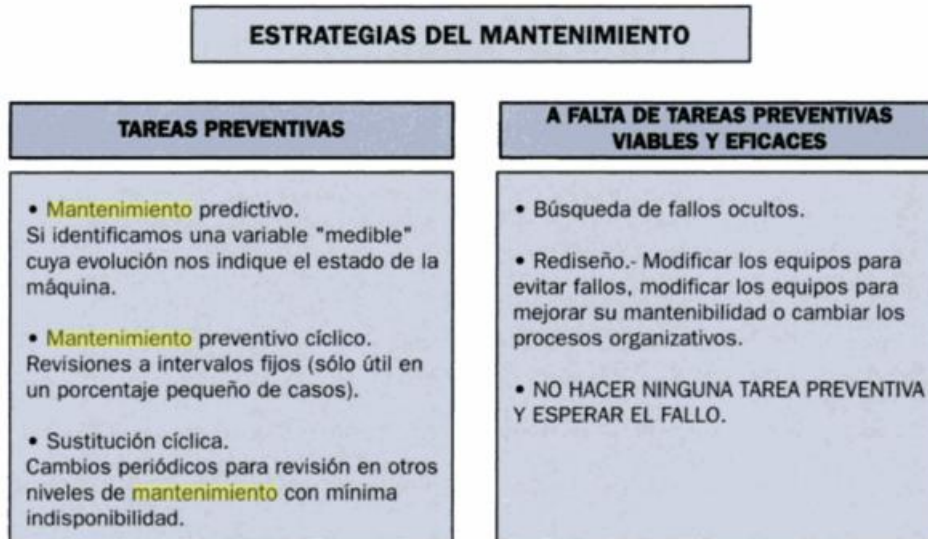


Figura 3: Estrategias de mantenimiento asociadas a las tareas preventivas. Tomado de: Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado.

En el siguiente diagrama de bloques se aprecia las principales etapas o requerimientos presentes en la selección de tareas. El orden sugerido en cuanto a intervención de equipos y sistemas existentes en el área, en los cuales la presencia de fallos y el mantenimiento tengan implicaciones graves para la empresa.

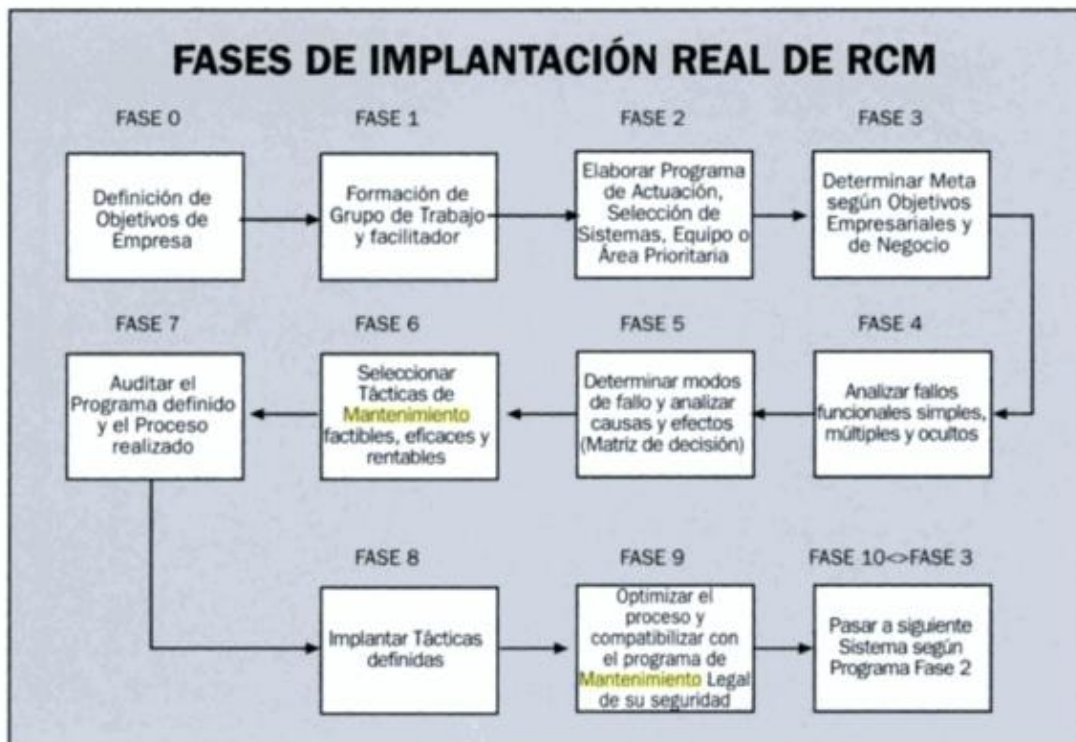


Figura 4: Etapas para la selección de tareas. Tomado de: Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado.

### 3. 5 MONITOREO POR CONDICIÓN

El Mantenimiento Predictivo se enfoca a los síntomas de falla que se identifican Utilizando las distintas técnicas tales como análisis de lubricantes, análisis de vibraciones, y ensayos no destructivos como: radiografías, ultrasonido, termografía, etc. que permiten detectar los síntomas de inicio de falla de la maquinaria. El mayor beneficio de la utilización de estas herramientas, es que se logra una alerta temprana que permite planificar una parada para corregir el problema, alcanzando de ésta manera una mayor disponibilidad de la maquinaria y una reducción del número de fallas catastróficas.

El objetivo de un Programa de Monitoreo de Condición (MBC) es conocer la situación de la maquinaria. Las técnicas de monitoreo miden variables físicas que son indicadoras de la condición de la máquina, que son analizadas comparando con el rango de valores normales para evaluar las condiciones de deterioro.

El monitoreo de condición estudia la evolución de los parámetros seleccionados en el tiempo, con la finalidad de identificar la existencia de tendencias que indiquen la presencia de una falla. En ésta medida un Programa de Monitoreo de Condición puede generar los siguientes beneficios:

- Detectar condiciones que motivar una falla.
- Detectar problemas en la maquinaria.
- Evitar fallas catastróficas.
- Diagnóstico de causa de falla.
- Proyección de vida útil.

Para llevar adelante una estrategia de Monitoreo de Condición se debe evaluar los equipos de acuerdo a su criticidad y cómo afecta su confiabilidad, disponibilidad, los costos de no disponibilidad, los costos no confiabilidad, y la seguridad operativa, de manera de que los costos de aplicación de la estrategia sean menores a los que se tratan de evitar.

Existen casos en que los costos de no disponibilidad y no confiabilidad pueden llegar a justificar el diseño y la utilización de un esquema de redundancia de equipos como alternativa para responder ante una eventual falla, sin pérdidas de producción, aumentando de ésta manera la confiabilidad del sistema.

Siempre que el rendimiento de un equipo se mantenga dentro del rango normal, según los requerimientos operativos, se considera que el activo está cumpliendo su función.

Cada una de las herramientas que utiliza el Monitoreo de Condición tendrá que ser seleccionada de acuerdo a su capacidad de identificar las causas de falla. Las técnicas de Monitoreo de Condición se pueden clasificar en:

- Inspecciones de la maquinaria.
- Medición del desempeño.
- Monitoreo de las condiciones dinámicas de la maquinaria.

- Monitoreo de partículas de desgaste.

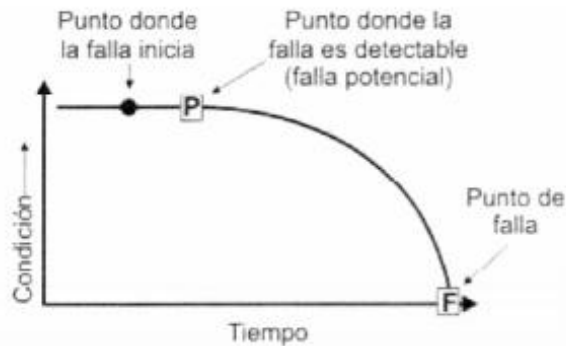


Figura 2: Diagrama P-F.

El período P-F, tal como se puede apreciar en la Figura N° 1, es el período de tiempo entre el punto donde es detectada la falla potencial y el punto donde se convierte en una falla funcional. El punto P, primer momento en que la causa de falla es detectable por la técnica utilizada, y F es el punto de falla es decir el momento en que el equipo llega al límite inferior del rango normal de desempeño.

Resulta más conveniente la selección de la herramienta con la que se obtenga el mayor período P-F que permita:

- Tomar acciones para evitar las consecuencias de la falla.
- Planificar una acción correctiva, de manera de disminuir las pérdidas de producción.
- Tomar acciones para eliminar la causa de falla.

Todo esto conducirá a mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas.

### 3.6 LUBRICACIÓN (ANÁLISIS DE ACEITE)

Las funciones principales de los lubricantes son:

- Controlar la fricción.
- Controlar el desgaste.
- Controlar la corrosión.
- Controlar la temperatura.
- Controlar la contaminación.
- Transmitir potencia, en el caso de circuitos hidráulicos.

El aceite transporta y contiene toda la información acerca de los contaminantes y partículas de desgaste.

El análisis de aceite es una técnica simple, que realizando medidas de algunas propiedades físicas y químicas proporciona información con respecto a:

- La salud del lubricante.
  - Contaminación del lubricante.
  - Desgaste de la maquinaria.

El análisis de aceite no sólo va a permitir monitorear el estado de desgaste de los equipos, detectar fallas incipientes, sino también establecer un Programa de Lubricación basado en Condición. Los fabricantes de equipos recomiendan Planes de Mantenimiento que incluyen cambios de lubricantes a intervalos fijos, llevando a un costoso sobre mantenimiento, pues sustituye lubricantes todavía aptos para el uso.

### **3.6.1 BENEFICIOS DEL USO DEL ANÁLISIS DE ACEITE**

#### **3.6.1.1 Estrategia proactiva**

Para llevar adelante la estrategia Proactiva es fundamental establecer dos tipos de alarmas:

- Alarmas Absolutas.
- Alarmas Estadísticas.

Las alarmas absolutas son límites condenatorios que se aplican al estado de contaminación del lubricante, y se pueden tomar las recomendaciones del fabricante del equipo, en el caso que las hubiera o en su defecto las recomendaciones del Laboratorio de Análisis de Lubricantes.

Mientras que las alarmas estadísticas están basadas en los propios valores registrados en el equipo. El análisis de la tendencia estadística permite identificar fallas incipientes. No se debe olvidar la variabilidad inherente a la propia exactitud de las pruebas que se realizan.

Resulta muy importante para poder identificar las causas de falla tener en cuenta las condiciones operativas y ambientales. Tal como es sabido, aún dos máquinas idénticas condiciones operativas y ambientales disímiles no requerirán las mismas intervenciones de mantenimiento, ni presentarán la misma clase de fallas. Pero para el caso de equipos idénticos en condiciones operativas similares, se pueden utilizar las mismas alarmas estadísticas.

Así mismo, es fundamental conocer la metalurgia de las partes móviles que tienen contacto con el lubricante, para eventualmente identificar el origen de los metales de desgaste.

Para llevar adelante una Estrategia Proactiva el primer paso es seleccionar los equipos a incluir dentro del Programa, y definir los objetivos de limpieza, y luego tomar acciones para llevarlos a cabo.

Para seleccionar los puntos de lubricación a monitorear mediante análisis de aceite, tal como ya se mencionó anteriormente, debe tenerse en cuenta la criticidad del componente y en cómo afecta éste a la confiabilidad y disponibilidad de la máquina. Incluso debe incluirse en el programa un reductor de 2 litros de capacidad, si éste afecta la confiabilidad y seguridad de la máquina. Para ésta

caso no se esperan beneficios extendiendo la vida del aceite, sino desde el punto de vista del Mantenimiento Predictivo.

El control de contaminación de los aceites, es el pilar básico de la Estrategia Proactiva, enfocándose al control de la principal causa de desgaste y falla de los equipos, debiéndose evitar que los contaminantes ingresen al sistema. El objetivo de limpieza afecta desde la recepción, almacenaje y manipulación de los lubricantes nuevos, la limpieza de los respiraderos, la correcta selección y frecuencia de cambio de filtros.

A continuación se detallan las principales consecuencias sobre la superficie metálica, según el tipo de contaminante.

| <b>Tipo de contaminante</b> | <b>Efectos sobre la superficie de la maquinaria</b>   |
|-----------------------------|---|
| Partículas                  | Desgaste superficial por abrasión y fatiga  |
| Agua                        | Herrumbre, rayado   |
| Combustible                 | Incremento del desgaste, por pérdida de resistencia de la película lubricante                       |
| Anticongelante              | Herrumbre, corrosión. Incremento del desgaste, por pérdida de resistencia de la película lubricante |
| Aire                        | Cavitación  |
| Calor                       | Formación de baniz. Incremento del desgaste, por pérdida de resistencia de la película lubricante   |

*Tabla 1: Consecuencias sobre superficies metálicas según el contaminante*

Los aceites sufren un mecanismo de envejecimiento natural que va alterando sus propiedades físicas: la densidad, la viscosidad, y las propiedades químicas, que disminuye su vida útil, a través los siguientes mecanismos:

- Oxidación.
- Polimerización.
- Ruptura.
- Evaporación.

Al disminuir la contaminación con agua, con aire, con partículas, con calor, no sólo se estará disminuyendo el desgaste de la maquinaria, sino también extendiendo la vida útil del aceite.

### **3.7 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

Un motor de combustión interna basa su funcionamiento, como su nombre lo indica, en el quemado de una mezcla comprimida de aire y combustible dentro de una cámara cerrada o cilindro, con el fin de incrementar la presión y generar con suficiente potencia el movimiento lineal alternativo del pistón.



Este movimiento es transmitido por medio de la biela al eje principal del motor o cigüeñal, donde se convierte en movimiento rotativo, el cual se transmite a los mecanismos de transmisión de potencia (caja de velocidades, ejes, diferencial, etc.) y finalmente a las ruedas, con la potencia necesaria para desplazar el vehículo a la velocidad deseada y con la carga que se necesite transportar.

Mediante el proceso de la combustión desarrollado en el cilindro, la energía química contenida en el combustible es transformada primero en energía calorífica, parte de la cual se transforma en energía cinética (movimiento), la que a su vez se convierte en trabajo útil aplicable a las ruedas propulsoras; la otra parte se disipa en el sistema de refrigeración y el sistema de escape, en el accionamiento de accesorios y en pérdidas por fricción.

En este tipo de motor es preciso preparar la mezcla de aire y combustible convenientemente dosificada, lo cual se realizaba antes en el carburador y en la actualidad con los inyectores en los sistemas con control electrónico. Después de introducir la mezcla en el cilindro, es necesario provocar la combustión en la cámara de del cilindro por medio de una chispa de alta tensión que la proporciona el sistema de encendido.

#### **4. METODOLOGIA**

La recolección de información a través de revistas científicas, libros especializados, documentos técnicos, sitios de internet y personal especializado en el tema son las fuentes principales para el desarrollo de la primera etapa del proyecto.

Finalizada esta etapa, se ejecuta el análisis de la información a través de la lectura de los documentos obtenidos, en los cuales es de vital importancia realizar cuestionamientos e investigar en cada uno de ellos, para generar plena seguridad en los conceptos y conocimientos adquiridos, para la generación de la propuesta del plan de mantenimiento.

La tercera etapa se centra en el estudio de la composición de los equipos, ya que de este modo es posible intervenir y detectar las variables que generan los diferentes fallos en los dispositivos. Los sistemas seleccionados para la generación del plan de mantenimiento son: motores, cajas de velocidad y diferenciales de los 171 buses que componen la flota.

Como herramienta para la identificación de los componentes de los equipos, se realizaron visitas a la empresa, teniendo como prioridad la observación del desarrollo y la periodicidad con que se realiza el mantenimiento, además de las fallas que se presenten.

Posterior a la identificación, observación y toma de datos, es posible iniciar con la generación del plan de mantenimiento para los sistemas seleccionados.

Al recopilar la información obtenida y culminar exitosamente las etapas anteriores, se procederá a la consolidación de un único documento donde se exponga con detalle la propuesta generada, los objetivos alcanzados, las conclusiones y las proyecciones generadas.

## 5. CRONOGRAMA

Las actividades a realizar son:

| SEMANAS                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ACTIVIDADES                 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Recolección de información  | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Análisis de la información  |   |   |   |   | ■ | ■ |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Estudio composición equipos |   |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Generación del plan de mtto |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |
| Consolidación del documento |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  | ■  | ■  |

Tabla 2: Cronograma de actividades para la ejecución del proyecto de grado

## 6. PRESUPUESTO

| ITEM                  | Valor unitario | Estudiante 1 | Estudiante 2 | Cantidad     | Total          | Financiación     |
|-----------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|----------------|------------------|
| Internet              | 1.200 (hora)   | 30.000       | 30.000       | 50           | 60.000         | Recursos propios |
| Fuentes investigación | 0              | 0            | 0            | 0            | 0              | Recursos propios |
| Fotocopias            | 300            | 30.000       | 30.000       | 300          | 60.000         | Recursos propios |
| Impresiones           | 200            | 30.000       | 30.000       | 300          | 60.000         | Recursos propios |
| Transporte            | 1800           | 54.000       | 54.000       | 60           | 108.000        | Recursos propios |
|                       |                |              |              | <b>TOTAL</b> | <b>288.000</b> |                  |

*Tabla 3: Presupuesto invertido por cada estudiante*

- **Internet:** tiempo empleado en la recolección de información en internet, para la realización del documento.
- **Fuentes de investigación:** Libros de consulta y revistas especializadas de los diferentes temas.
- **Fotocopias e impresiones:** Documentación requerida para la recolección de información del tema.
- **Transportes:** Para la realización de visitas a la empresa y consultas a la biblioteca.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- GARCIA GARRIDO, Santiago, Organización y gestión integral de mantenimiento. 2003. Ed. Díaz de Santos
- Política de gestión integral, Sistemas Operativos Móviles S. A.
- Conceptos básicos sobre mantenimiento industrial. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.  
[http://www.itsteziutlan.edu.mx/site2010/index.php?option=com\\_content&view=article&id=685:conceptos-basicos-sobre-mantenimiento-industrial&catid=27:artlos&Itemid=288](http://www.itsteziutlan.edu.mx/site2010/index.php?option=com_content&view=article&id=685:conceptos-basicos-sobre-mantenimiento-industrial&catid=27:artlos&Itemid=288)
- PLAZA TOVAR, Alejandro Santiago, Apuntes teóricos y ejercicios de aplicación de gestión del mantenimiento industrial - Integración con calidad y riesgos laborales – Lulu
- El análisis de aceite como herramienta del mantenimiento proactivo en flotas de maquinaria pesada. Carolina Altmann.  
<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0607lubricacion.pdf>
- Funcionamiento del motor de combustión interna.  
<http://www.banrepcultural.org/node/92121>
- GÓMEZ DE LEÓN, Félix Cesáreo, Tecnología del Mantenimiento Industrial. Universidad de Murcia. 1998
- TRULL DOMÍNGUEZ, Oscar, Generar un plan de Mantenimiento RCM. Modelo Educativo. Primera edición. ADP