

**ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN
PARA LA FLOTA VEHICULAR DE MEZCLADORAS DE CONCRETO DE UNA
EMPRESA PRODUCTORA DE CONCRETOS, MORTEROS Y DERIVADOS.**

**LEONARDO ANDRÉS GUTIÉRREZ ARISMENDY
HOLMAN BOCANEGRA GALEANO**

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
FACULTAD DE POSGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BOGOTÁ
2015**

**ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN
PARA LA FLOTA VEHICULAR DE MEZCLADORAS DE CONCRETO DE UNA
EMPRESA PRODUCTORA DE CONCRETOS, MORTEROS Y DERIVADOS.**

**LEONARDO ANDRÉS GUTIÉRREZ ARISMENDY
HOLMAN BOCANEGRA GALEANO**

**Monografía como requisito para optar al título de Especialistas en Gerencia
de Mantenimiento**

**Director:
Ing. Nelson Dario Rojas
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
FACULTAD DE POSGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BOGOTÁ
2015**

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C., Junio de 2015.

DEDICATORIAS

Le agradezco a mis padres por su apoyo durante este largo proceso de aprendizaje, porque siempre me animaron a continuar cuando las dificultades se hacían más fuertes cada día, a ellos les debo el hoy estar culminando mi carrera profesional.

HOLLMANN O. BOCANEGRA

Quiero dedicar este trabajo de grado, a Dios, por siempre estar a mi lado.

A mis padres, Carmenza Arismendy y Julio Cesar Gutiérrez, por brindarme todo su cariño, y hacer todo lo posible para darme la oportunidad de cumplir con todas mis metas a nivel personal y profesional.

A mi esposa Karen Rodriguez, por estar siempre a mi lado apoyándome, celebrando mis triunfos, compartiendo mis alegrías y soportándome en los momentos difíciles de mi vida.

A mi hija Juliana, por ser la motivación para emprender nuevos proyectos de superación y formación para brindarle una mejor calidad de vida.

También quiero dedicar este trabajo, de manera muy especial, a mi abuelo Marco Tulio Gutiérrez y a mi tío Víctor Guasca, quienes en vida fueron un gran pilar de mi educación familiar y profesional y, aunque no estén físicamente en este mundo, estoy seguro que siempre estarán a mi lado, en mi mente y en mi corazón...

A ustedes va dedicado con todo mi corazón.

LEONARDO ANDRES GUTIERREZ ARISMENDY

AGRADECIMIENTOS

El siguiente trabajo de grado representa el logro de una de las metas más importantes que nos hemos propuesto para la vida, es por esto que queremos agradecer a todos aquellos que, de una u otra forma, hicieron posible el cumplimiento de esta meta.

A LA UNIVERSIDAD ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES Y SUS PROFESORES, por contribuir en mi formación, tanto académica como personal.

AL INGENIERO NELSON ROJAS, por su asesoría académica, que hizo posible la realización de este trabajo de grado.

LEONARDO ANDRÉS GUTIÉRREZ ARISMENDY.

A LA ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES ECCI, por brindarme este espacio de aprendizaje donde pude durante este largo tiempo prepararme como profesional competente para la sociedad.

A LOS BUENOS MAESTROS, aquellos que no buscaron dejarnos un semestre, sino que lo dieron todo para que pudiéramos aprender aunque en la mayoría de las veces se nos dificultó ellos verdaderamente nos enseñaron y aprendimos de ellos.

A MIS COMPAÑEROS, que estuvieron hombro a hombro dándolo todo por sacar este título adelante por encima de los obstáculos y aun dificultades económicas, ellos siempre decían ánimo que vamos a ser ingenieros muy pronto.

HOLMAN BOCANEGRA GALEANO.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento ha sido objeto de continuos cambios, desde su aparición en el escenario industrial. En los años 40, surge lo que es llamado la primera generación del mantenimiento en la industria, cuya única técnica empleada era la reparación posterior a la falla (mantenimiento correctivo). A partir de la década del 50, nace una segunda generación, enfocada en aumentar la disponibilidad y aprovechar al máximo, la vida útil de los activos físicos, todo esto al más bajo costo posible. Para lograrlo, se desarrollaron actividades de mantenimiento preventivo, sistemas de planificación y control.

Esta evolución continuó avanzando progresivamente, dando origen a una tercera generación, que surge a partir de los años 80, cuyos esfuerzos están dirigidos a mejorar la calidad de los productos, aumentar la confiabilidad y efectividad de los activos físicos, mejorar la seguridad y cuidar el ambiente, es decir, hacer el proceso productivo más eficiente, empleando técnicas y procedimientos como, estudios de riesgos, análisis de confiabilidad, disponibilidad, efectividad y mantenimiento basado en condición, que permitieran alcanzar las metas propuestas. A todo esto, se han ido añadiendo nuevas tendencias y filosofías de mantenimiento, de tal forma que actualmente podemos hablar de una cuarta generación. El nuevo enfoque se centra en técnicas proactivas a fin de encontrar la causa raíz del fallo, para minimizar su ocurrencia.

El mantenimiento basado en condición consiste en realizar mediciones sistemáticas de las variables operacionales de una maquinaria o equipo industrial. Al monitorear y registrar, mediante inspecciones periódicas, parámetros claves en el desempeño de una máquina, como variables operacionales, niveles de vibraciones, ruidos ultrasónicos, estado de lubricantes, tiempo entre fallas, es posible obtener patrones o señales que, al analizarlas, permiten determinar la

condición del equipo, y de esta manera poder planificar actividades de mantenimiento específicas y programar el momento oportuno para la intervención del activo, antes de que las fallas representen un riesgo para la seguridad personal, el ambiente, la integridad de los equipos y así garantizar la continuidad del proceso productivo.

Los departamentos de mantenimiento de las empresas del sector del concreto, se han propuesto implementar un programa de mantenimiento basado en condición, en sus equipos críticos, con el propósito de lograr una disminución en los costos de mantenimiento, reducción de fallas inesperadas, disminuir el inventario de repuestos así como las actividades de mantenimiento preventivo rutinario, incrementar el tiempo entre falla, y por ende la efectividad de los activos vehiculares. El anteproyecto de grado que se presenta a continuación, consta de cuatro secciones y doce capítulos, los cuales se refieren a continuación.

Del **capítulo I al capítulo IV**, se mencionan los aspectos generales de la investigación, se describe el problema por el cual atraviesa y en función a este, se establece el objetivo general que se persigue, junto a los objetivos específicos, y se genera la justificación por la cual se lleva a cabo la investigación. Del **capítulo V al capítulo VI**, se presentan el marco de referencia de esta investigación así como conceptos y principios básicos que permiten una mejor comprensión del tema, adicionalmente se describe el tipo de investigación de este estudio. Del **capítulo VII al capítulo IX**, constituye la metodología a seguir para alcanzar los objetivos propuestos y los costos de la investigación. Por último, se muestran los resultados e impactos esperados de la investigación y se generan las conclusiones y recomendaciones del trabajo propuesto.

RESUMEN

El siguiente trabajo fue realizado con la finalidad de elaborar un plan de mantenimiento basado en condición enfocado en mejorar la efectividad de los activos vehiculares críticos de una empresa productora de concretos, morteros y derivados, a fin de disminuir las horas de parada no programadas, elevar la productividad del sistema y minimizar los costos asociados al mantenimiento. Para lograr esto, primero se realizara un diagnóstico de la situación de los activos y una recopilación de información técnica. Luego, se elaborara un programa de análisis de los lubricantes para determinar los sistemas críticos. Este análisis servirá de base para seleccionar las herramientas predictivas, y a partir de ellas determinar los procedimientos de inspección y otros aspectos claves como puntos de medición, rutas de muestreo, frecuencia de inspección, actividades. Una vez diseñado todo el programa, se procederá a su ejecución, dando como resultado la detección de diversos problemas que, de no ser corregidos a tiempo, pueden originar fallas que impactarían significativamente en la producción, seguridad y medio ambiente.

ABSTRACT

The following work was performed for the purpose of developing a plan condition based maintenance focused on improving the effectiveness of vehicle active critics of a manufacturer of concrete, mortars and derivatives, in order to reduce the hours of unscheduled stop, raise system productivity and minimize costs associated with maintenance. To accomplish this, we first conduct a diagnosis of the situation of the assets and a collection of technical information. Then, develop a program of lubricant analysis to determine critical systems. This analysis will provide the basis for selecting predictive tools, and from them determine the inspection procedures and other key aspects such as measurement points sampling routes, frequency of inspection activities. Once designed the entire program, will proceed to implementation, resulting in the detection of various problems that, if not corrected in time, can cause failures that would impact significantly on production, safety and environment.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	12
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
2.3 SISTEMATIZACIÓN	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	17
4.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	17
4.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	17
4.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
5. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN	19
5.1 MARCO CONCEPTUAL	19
5.2 MARCO TEÓRICO	31
5.3 ESTADO DEL ARTE.....	40
6. TIPO DE INVESTIGACIÓN	53

7. DISEÑO METODOLÓGICO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
7.1 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
7.2 ANÁLISIS DE DATOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
7.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
7.4 ENTREGA DE RESULTADOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
8. FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	86
8.1 FUENTES PRIMARIAS.....	86
8.2 FUENTES SECUNDARIAS	86
9. COSTOS DEL PROYECTO.....	87
10. TALENTO HUMANO	94
10.1 RECURSOS FÍSICOS	94
CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES.....	97
ANEXOS.....	98
BIBLIOGRAFÍA	105
CIBERGRAFÍA.....	107

1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN PARA LA FLOTA VEHICULAR DE MEZCLADORAS DE CONCRETO DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE CONCRETOS, MORTEROS Y DERIVADOS.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las compañías del sector del concreto, en su constante búsqueda por mantener la competitividad en el mercado, está abriendo sus perspectivas hacia la integración de sus operaciones con sistemas de mantenimiento de clase mundial, los cuales demandan un conocimiento creciente de la relación mantenimiento - calidad del producto y exigen una mayor importancia a los aspectos de seguridad, uso racional de la energía, productividad, protección del medio ambiente y un aumento de la presión ejercida para conseguir una alta confiabilidad y disponibilidad de los equipos y procesos, al mismo tiempo que se optimizan.

Ante la creciente cantidad de cambios, el personal encargado de la producción, mantenimiento y gestión de activos de las empresas del sector, están buscando nuevos caminos. Quieren ante todo, atacar los problemas críticos que se están presentando en el sector como son: las pérdidas de concreto y dinero por daños en los diferentes sistemas de las mezcladoras, los altos costos de reparación, la baja disponibilidad de los activos, y la migración de los clientes por el incumplimiento en el suministro de concreto.

Para ello tratan de encontrar un marco estratégico de trabajo que sintetice los nuevos avances en un modelo coherente, de forma que permita una evaluación racional y se apliquen los nuevos avances que sean de mayor valor para sus compañías. Entre ellos se destacan los proyectos que involucran la confiabilidad y la mantenibilidad para la optimización del mantenimiento preventivo mediante la inclusión de técnicas de ensayos no destructivos basadas en condición.

Por este motivo, surge la necesidad de encontrar una metodología basada en un procedimiento sistemático que permita generar estrategias efectivas de

mantenimiento, ajustar las acciones de control de fallas de los diferentes sistemas de las mezcladoras en su entorno operacional y garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción en la flota vehicular de mezcladoras de concreto, debido a la función que cumplen estos activos dentro del proceso de la elaboración del producto, que es distribuir el concreto premezclado en óptimas condiciones de calidad, donde el cliente lo requiera, lo cual es de vital importancia en la entrega del producto final y en la satisfacción del cliente.

Esta metodología debe incidir de manera directa en la identificación, evaluación, control y eliminación de los fallos donde sea posible, en la flota vehicular de mezcladoras de concreto dentro de su contexto operacional, ya que si ocurre un fallo en las mezcladoras de concreto podría presentarse una inmediata implicación ambiental, de rendimiento o de seguridad, de esta manera hay una clara necesidad de una administración efectiva del activo y de sus prácticas de mantenimiento que puedan influenciar positivamente en factores cruciales de éxito como son: la seguridad de las personas, de los procesos y del medio ambiente, la calidad en los productos, la confiabilidad en los equipos y procesos y la rentabilidad.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se pueden optimizar las actividades y los costos del mantenimiento, ajustando las acciones de control de fallas en el entorno operacional de la flota vehicular de mezcladoras de concreto, garantizando el cumplimiento de los estándares de calidad y producción en el proceso de suministro de concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados?

2.3 SISTEMATIZACIÓN

¿Cómo podrían aplicarse las metodologías de ensayos no destructivos?

¿Cuál es el estado actual de los sistemas de las mezcladoras de concreto?

¿Cuáles podrían ser las actividades de mantenimiento más apropiadas para la flota vehicular de mezcladoras de concreto?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Generar una estrategia de mantenimiento que permita optimizar las actividades y costos del mismo y ajustar las acciones de control de fallas en el entorno operacional de las mezcladoras de concreto, mediante la elaboración del plan de mantenimiento basado en condición para la flota vehicular de mezcladoras de concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las condiciones iniciales de los diferentes sistemas de la flota vehicular de mezcladoras de concreto, mediante la elaboración de un programa de análisis de lubricantes.
- Proponer metodologías para la aplicación de las técnicas de análisis de lubricantes basados en condición.
- Generar los programas de mantenimiento basado en condición de la flota vehicular de mezcladoras de concreto, por medio de la planeación y programación de las actividades de mantenimiento más apropiadas que deben desarrollarse, con sus respectivas frecuencias de aplicación.

4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Las compañías orientadas hacia el mercado de la construcción, específicamente en el sector del concreto, se comprometen con los clientes en ofrecerles productos y servicios de alta calidad, en consecuencia, han adoptado una filosofía de aseguramiento de calidad, administración de riesgos y mejora continua en sus procesos en cada una de sus plantas de producción.

Las empresas del sector del concreto, pretenden implementar una política de mantenimiento basada en la condición de los equipos mezcladores de concreto, con el objetivo principal de optimizar sus procesos de Gestión del Mantenimiento y de incrementar los niveles de productividad y competitividad.

Por esta razón, la elaboración del plan de Mantenimiento Basado en Condición para la flota vehicular de mezcladoras de concreto en una empresa productora de concretos, morteros y derivados, surge como una alternativa que le permite al personal de producción, mantenimiento y gestión de activos, generar estrategias efectivas de mantenimiento, ajustar las acciones de control y eliminación de fallas, donde sea posible, en el entorno operacional de las mezcladoras de concreto y garantizar el cumplimiento de los estándares de producción en el proceso de suministro de concreto a los clientes.

4.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Debido a la apertura económica a la que está sometida Colombia desde el año 1990, las compañías productoras de concreto se han visto en la necesidad de reducir costos operacionales y aumentar su productividad de una forma tal que les permita entrar a competir en el mercado nacional en cuanto a calidad y precio de

sus productos. Consciente de ello, estas empresas han centrado sus esfuerzos en la búsqueda por encontrar los mecanismos capaces de sortear las actuales contingencias económicas, para poder así asumir el reto que los enfrenta ante este nuevo modelo económico.

La industria del concreto, se ha dado cuenta, que la aplicación efectiva de un plan de mantenimiento basado en condición en sus procesos y operaciones, es uno de los mejores caminos en busca de la administración eficaz de los recursos y del aumento de la confiabilidad, disponibilidad y conservación de sus activos fijos, ya que al analizar las condiciones operacionales de los equipos, se puede constatar que los fallos afectan a las operaciones de tres maneras: al rendimiento total, a la calidad del producto y al servicio al cliente. En todos los casos estas consecuencias son económicas, es decir, cuestan dinero a las empresas.

Es por esto, que han decidido elaborar el plan de Mantenimiento Basado en Condición para la flota vehicular de Mezcladoras de Concreto de sus plantas de producción, con el firme propósito de minimizar el costo del mantenimiento implicado, garantizando un óptimo funcionamiento de los equipos, y el aumento de la confiabilidad, disponibilidad y conservación del activo.

4.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de este proyecto se orienta de manera única y exclusivamente a la elaboración y entrega del plan de Mantenimiento Basado en Condición para la flota vehicular de Mezcladoras de Concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados, mas no a su implementación y evaluación técnico-económica, ya que la aplicación y evaluación del proyecto demoraría un tiempo razonablemente largo, y el proyecto debe desarrollarse durante el transcurso del segundo semestre académico del año 2015.

5. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 MARCO CONCEPTUAL

El mantenimiento predictivo y el monitoreo de condición son dos herramientas ampliamente utilizadas por los departamentos de mantenimiento en todo el mundo, como una herramienta poderosa para una mayor productividad y competitividad. La selección de la maquinaria para ser incluida en estos programas depende de un análisis de su criticidad, su costo, sus requerimientos de seguridad y ambientales, la confiabilidad esperada y el impacto de su falla. En industrias como la generación de energía y petroquímica, el análisis de vibración ha sido históricamente la técnica seleccionada para monitorear la condición de los grandes componentes críticos de equipo rotatorio. Inversamente, las compañías de transporte y maquinaria pesada, han confiado en el análisis de aceite para tomar efectivas decisiones de mantenimiento predictivo. En otras industrias como las de metales primarios, papeleras, manufactura, etc., podríamos encontrar la aplicación o combinación de diferentes técnicas predictivas incluyendo la termografía, análisis de corriente en motores, el ultrasonido y eventualmente pruebas no destructivas.¹

El diseño adecuado de una estrategia de mantenimiento basado en condición (MBC) permitirá acceder a los beneficios y aprovechar al máximo las inversiones en tecnología y educación que se deben hacer.

5.1.1 Monitoreo por condición. Monitoreo (*monitoring*) es la medición de una variable física que se considera representativa de la condición del equipo y su comparación con valores que indican si el equipo está en buen estado o

¹ PORRITT, William. *Mantenimiento y reconstrucción de maquinaria: Resolución de uno de los más importantes problemas en la industria moderna.* Hispano Europea. Barcelona. 1984.

deteriorado. Los objetivos del monitoreo por condición es indicar cuándo existe un problema, para diagnosticar entre condiciones buena y mala; y si es mala indicar cuán mala es. Evitando fallos catastróficos, diagnosticar fallos con problemas específicos, pronosticar la vida útil y cuánto tiempo más podría funcionar el equipo sin riesgo de fallo. Esta técnica permite el análisis paramétrico de funcionamiento cuya evaluación permite detectar un fallo antes de que tenga consecuencias más graves.

En general, consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, para así determinar en qué período de tiempo ese fallo va a tomar una relevancia importante, para así poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves.

Una de las características más importantes es que no debe alterar el funcionamiento normal de los procesos, la inspección de los parámetros se pueden realizar de forma periódica o de forma continua, dependiendo de diversos factores como son: el tipo de planta, tipos de fallos a diagnosticar y la inversión que se quiere realizar.²

5.1.2 Beneficios del monitoreo por condición. Una forma en la que se podría intentar evaluar los ahorros que se obtendrían al implementar una estrategia de mantenimiento de monitoreo por condición es confeccionando una lista de las detenciones producidos en los últimos años en conjunto con sus causas. Con esto se podría determinar:

² DUFFUAA, Salih. *Sistemas de mantenimiento. Limusa. México. 2008.*

1. Cuáles intervenciones podrían haber resultado más económicas si se hubiera detectado, el fallo en una etapa más incipiente, evitando que la máquina funcionara hasta la rotura.

2. Qué averías podrían haber sido reparadas más rápidamente si se hubiese conocido bien, antes de abrir la máquina, cuál era el elemento defectuoso.

3. Cuáles serían los ahorros si después de efectuado un mantenimiento se controla la calidad del mantenimiento realizado. Para esto se evalúa la condición mecánica en que quedó la máquina a través del análisis de las mediciones realizadas inmediatamente después de la reparación. Las técnicas actuales del mantenimiento permiten verificar si un elemento reemplazado quedó disminuido debido a un procedimiento de montaje inadecuado (por ejemplo, un rodamiento con sus pistas de rodadura sin dientes). Evalúe así las economías que se obtendrían por ese concepto si los elementos reemplazables de las máquinas de su planta duraran lo especificado en las normas bajo las cuáles fueron compradas las máquinas.

El coste del mantenimiento debe considerar: Costes directos (repuestos, materiales, mano de obra, etc.), costes de movilización de repuestos, costes de lucro cesante o pérdidas por no producción, costes por falta de calidad del producto. 3

Dada la creciente sofisticación de las tecnologías de mantenimiento y los requerimientos de diagnósticos certeros y oportunos, la industria de servicios de mantenimiento ha venido creciendo sostenidamente en las economías rápidas. La visión tradicional del mantenimiento y el diagnóstico industrial está cambiando radicalmente. Hoy en día, el mantenimiento según condición se está convirtiendo

3 DUFFUAA, Salih. *Sistemas de mantenimiento. Limusa. México. 2008.*

en una poderosa herramienta de productividad, clave para enfrentar la creciente competitividad de mercados irregulares en expansión. Este cambio es parte de una transformación global que abarca toda la industria.

5.1.3 Objetivos del mantenimiento según condición. El objetivo de un programa de monitoreo de condición, es conocer la condición de la maquinaria, de tal manera que se pueda determinar su operación de manera segura, eficiente y con economía. Las técnicas de monitoreo están dirigidas a la medición de variables físicas que son indicadores de la condición de la máquina y mediante un análisis, efectuar la comparación con valores normales, para determinar si está en buen estado o en condiciones de deterioro. Esta estrategia asume que hay características medibles y observables que son indicadores de la condición de la maquinaria. Podemos clasificar los objetivos del MBC en:

- Detectar condiciones que pueden ser causa de falla – (proactiva)
- Detectar problemas en la maquinaria – (predictiva)
- Evitar fallos catastróficos – (predictiva)
- Diagnóstico de la causa de la falla – (proactiva)
- Pronóstico de utilidad – (predictiva) 4

El monitoreo de condición estudia la evolución de los parámetros seleccionados en función del tiempo y establece una tendencia que indica la existencia de un fallo, su gravedad y el tiempo en que el equipo puede fallar. La toma de decisiones a tiempo permite evitar que el fallo se presente (proactivo) o eliminar la posibilidad de un fallo catastrófico (predictivo). La ventaja de esta estrategia, es que puede ser efectuado mientras el equipo está funcionando. De esta manera, las acciones de mantenimiento o corrección de los parámetros de funcionamiento cuando las

mediciones así lo indiquen, evitando acciones intrusivas a la maquinaria que son generadoras de defectos.

5.1.4 Selección de la maquinaria a monitorear. El MBC no es una estrategia económica y deberán ser identificados aquellos equipos en el proceso de producción que afectan a cualquiera de las siguientes: Confiabilidad, Disponibilidad, Costo, Seguridad.

En cualquier entorno, debemos considerar una condición de optimización de las estrategias de mantenimiento y conservación, de tal manera que los costos de la aplicación de las tecnologías y estrategias no sean superiores a los que se tratan de evitar.⁵

Figura 5.1. Optimización del Mantenimiento.



Fuente: Monitoreo de Condición – Una estrategia de Integración de Tecnologías.
Gerardo Trujillo – Noria Latín América.

⁵ CROVSE, William. Puesta a punto y rendimiento del motor. Alfa Omega. México. 2002.

5.1.5 Selección de la tecnología adecuada. La selección de la tecnología adecuada para cada maquinaria depende de varios factores como son: el tipo de maquinaria, el modo de fallo a diagnosticar y la capacidad de inversión.

Una de las mejores maneras de aplicar esta tecnología es mediante el Análisis de Modos de Falla, Efecto y Criticidad. (AMEF). Otras opciones incluyen el desarrollo de metodologías como Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), Análisis de causa raíz, Análisis de Pareto, Análisis de frecuencia de falla (TPEF), etc.

Lo que realmente importa, es que el programa de monitoreo de condición esté dirigido a la causa de falla y que puedan identificarse los indicadores de su deterioro.

Una vez que se ha efectuado el análisis de las causas de falla críticas de la maquinaria, es importante identificar una acción de mantenimiento que permita eliminarla, detectarla y controlarla. De esta manera construimos nuestro plan de mantenimiento. De la misma manera, estamos ahora en condiciones de establecer nuestro programa de monitoreo de condición, seleccionando la tecnología o estrategia que pueda ayudarnos a responder las siguientes preguntas:⁶

1. ¿De dónde proviene?
2. ¿Qué la causa?
3. ¿Qué tan severa es?
4. ¿Se puede controlar?
5. ¿En cuánto tiempo ocurrirá?

5.1.5.1 Técnicas y tecnologías de monitoreo de condición. El monitoreo de condición es un concepto que ha sido utilizado desde hace mucho tiempo. Por lo

⁶ CROVSE, William. *Puesta a punto y rendimiento del motor. Alfa Omega. México. 2002.*

general los operadores y mecánicos perciben señales de la maquinaria con sus propios sentidos. Ahora lo que se pretende es amplificar estas señales y aislarlas para incrementar su percepción mediante tecnología y medición. Las técnicas de monitoreo las podemos clasificar en:

- Inspecciones de la maquinaria.
- Mediciones de desempeño de la maquinaria.
- Monitoreo de las condiciones dinámicas de la maquinaria.
- Monitoreo de los fluidos.
- Monitoreo de las partículas de desgaste.

5.1.5.2 Fortalezas y debilidades. Cada una de las técnicas descritas anteriormente tiene fortalezas y debilidades. En función de ellas debemos seleccionar la que pueda responder a las preguntas del profesional de la confiabilidad.

Hagamos la analogía de nuestra situación con la de un médico ante la presencia de una enfermedad. En una primera consulta, por lo general se basa en la descripción de la condición externa del paciente y lo interroga para conocer su estado. Efectúa una inspección visual de los principales indicadores externos, utilizando la vista, los oídos, el tacto y el olfato. Posteriormente puede utilizar instrumentos que le ayuden a precisar la situación, como estetoscopio, lámparas y magnificadores, termómetros, etc. Sus observaciones le irán proporcionando información que debe analizar y procesar para determinar si los síntomas que aprecia son suficientes para diagnosticar una enfermedad.⁷

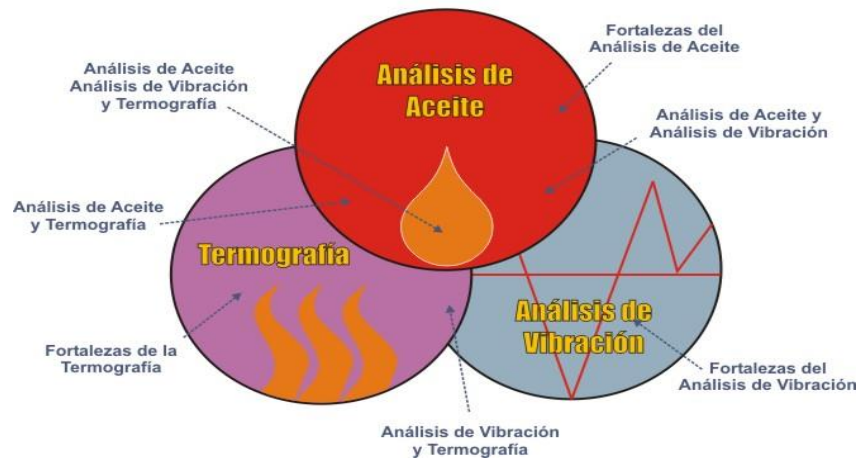
En caso de que la información recibida no sea concluyente, le pedirá al paciente que acuda a efectuar algunos análisis más detallados. Dependiendo de la causa

⁷ CROVSE, William. *Puesta a punto y rendimiento del motor. Alfa Omega. México. 2002.*

probable, determinará si requiere de un estudio por rayos X, una tomografía, análisis de orina o sangre, electrocardiograma, o incluso un muestra de tejido o inspección interna por cámara de fibra óptica.

Esos resultados, en conjunto con los de su inspección inicial, seguramente le permitirán identificar el síndrome a partir de los síntomas. Sin embargo la selección de las pruebas es definitiva en el resultado a obtener. En el caso extremo de un daño en el hígado; si el médico selecciona hacer una prueba de rayos X, es seguro que no recibirá información de la causa de falla o de los efectos. In embargo, la muestra de sangre, orina y probablemente un ultrasonido pueden ayudar a diagnosticar adecuadamente antes de que la condición se vuelva crítica.⁸

Figura 5.2. Selección de la tecnología que esté dirigida a las causas de falla.



Fuente: Monitoreo de Condición – Una estrategia de Integración de Tecnologías. Gerardo Trujillo – Noria Latín América.

Hagamos pues, un análisis de nuestras causas de falla y veamos cuál técnica o tecnología tiene la capacidad de responder a la mayor cantidad de las 5 preguntas

⁸ CHEK, Chart. *Manual de especificaciones de lubricación automotriz*. Prentice Hall. México. 1998.

planteadas arriba. Bien; ahora veamos cuáles de ellas tienen la capacidad de avisarnos antes que las otras y como estas tecnologías y técnicas se interrelacionan entre sí.

5.1.5.3 Frecuencia de monitoreo. Una vez que hemos seleccionado las técnicas y tecnologías para monitorear la causa de falla y sus efectos, es necesario determinar la frecuencia con la que aplicaremos este monitoreo, que garanticen su eficiencia.

De gran valía en esta decisión es considerar una de las herramientas de RCM: el análisis del periodo P-F. Toda la maquinaria debe entregar un rango de desempeño. Mientras el desempeño esperado se mantenga dentro de esos límites, se considera que el activo está efectuando su trabajo. Supongamos que tenemos una bomba que debe entregar entre 45 y 50 gpm en el proceso para mantener su funcionalidad. Cuando la bomba está nueva, entrega 50 gpm y conforme se gasta, su desempeño disminuye a 45 gpm. Al llegar a este valor, se determina que el equipo está fuera de especificación de desempeño y debe ser reparado a la condición original o reemplazado. Esta pérdida de desempeño puede deberse a un deterioro gradual del equipo por su funcionamiento y entonces estaremos esperando que el tiempo que transcurra sea equivalente a la vida útil esperada del equipo (TEV). Otro escenario es que se presente una causa de falla en el equipo que pueda acortar su desempeño. Cuando esta causa de falla se presenta, el periodo de vida esperada de la bomba se acorta y tendremos una falla del equipo antes del TEV. Dependiendo del modo de falla, será la severidad del daño y por consecuencia el tiempo en que la bomba fallará.⁹

⁹ CHEK, Chart. *Manual de especificaciones de lubricación automotriz*. Prentice Hall. México. 1998.

Figura 5.3. Inicio de Falla – Final de la Falla P-F.



Fuente: Monitoreo de Condición – Una estrategia de Integración de Tecnologías. Gerardo Trujillo – Noria Latín América.

El punto P en este análisis, es el momento en que la causa de falla se puede detectar en el equipo (P siempre será posterior al momento en que la causa de falla se presenta) y F es el momento en el que el activo llega a su límite inferior de desempeño. En nuestro ejemplo F es cuando la bomba entrega menos de 45 gpm.

Una vez que hemos seleccionado la tecnología que proporciona el P-F más largo, debemos establecer el periodo de monitoreo que nos permita capturar el modo de falla que significa el P-F crítico más corto en el equipo. Si nuestra frecuencia de monitoreo (FM) es establecida con una frecuencia igual al P-F, entonces nuestra posibilidad de detectar el problema es muy remota. Si por el contrario, nuestra FM es mayor que P-F, entonces nuestro programa no será capaz de detectar este problema y nuestro programa carece de sentido.¹⁰

¹⁰ CHEK, Chart. *Manual de especificaciones de lubricación automotriz*. Prentice Hall. México. 1998.

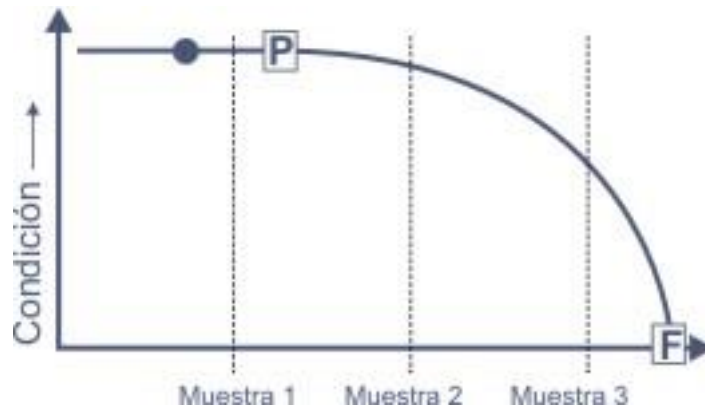
Figura 5.4. Seleccione la Tecnología con el P-F más largo.



Fuente: Monitoreo de Condición – Una estrategia de Integración de Tecnologías.
Gerardo Trujillo – Noria Latín América.

A partir de lo anterior, es obvio que nuestra FM debe ser menor que P-F. Idealmente deberá ser establecida como $FM = P-F/3$. De esta manera estamos en la condición de detectar el inicio del problema, su avance y todavía estar en condiciones de monitorear el final de la vida del equipo.

Figura 5.5. Frecuencia ideal del muestreo.



Fuente: Monitoreo de Condición – Una estrategia de Integración de Tecnologías.
Gerardo Trujillo – Noria Latín América.

En muchas ocasiones la maquinaria puede tener un P-F demasiado corto para algunos modos de falla, ocasionando que las tecnologías de monitoreo deban ser efectuadas en línea para garantizar su efectividad.

5.1.5.4 Integración de Tecnologías. La tendencia del MBC actual está llevando a los departamentos de confiabilidad del mundo a utilizar un conjunto de tecnologías dirigidas a los principales modos de falla, integradas en un solo departamento que pueda sumar la información para la toma de decisiones. Cada vez son más los profesionales bilingües, trilingües o políglotas en términos de la manera en que la maquinaria se comunica con ellos y aprovechan al máximo esta integración. La utilización de sistemas expertos que pueden diagnosticar, alarmar y en ocasiones corregir automáticamente la maquinaria hace más eficiente esta estrategia. La estrategia del MBC puede ser implementada dentro de las diferentes filosofías del mantenimiento como RCM, Mantenimiento Productivo Total TPM, Mantenimiento Basado en Riesgos MBR, etc. 11

Habrá también que reconocer que esta estrategia no es capaz de localizar todas las fallas de la maquinaria y que depende de la cantidad de técnicas y tecnologías aplicadas y su frecuencia de monitoreo. Por lo general las fallas súbitas, las que son por fatiga y aquellas que no generan señales posibles de monitorear permanecen fuera del alcance de un programa de MBC.

5.1.5.5 Factores claves de éxito. La aplicación de los siguientes principios puede ayudarle a implementar un programa de MBC exitoso:

1. La selección adecuada de las tecnologías
2. Tecnologías dirigidas a las causas de falla y sus síntomas
3. Determinación de una adecuada frecuencia de monitoreo

11 DUFFUAA, Salih. *Sistemas de mantenimiento*. Limusa. México. 2008.

4. Habilidad para interpretar los resultados y la tendencia
5. Métodos y programas de almacenamiento y análisis de la información
6. Establecimiento de límites y alarmas adecuados
7. Actualización de la tecnología
8. Integración de las tecnologías en un mismo departamento
9. Toma de decisiones adecuada
10. Cuantificación de los beneficios del programa (No evento)
11. Educación y certificación de los profesionales a cargo del programa¹²

5.2 MARCO TEÓRICO

5.2.1 Monitoreo Tribológico. El monitoreo tribológico comprende las técnicas más predictivas, incluido análisis automático de partículas, que en complemento con el análisis de vibraciones presentan la más alta condición de un procedimiento Proactivo. Consiste en un programa de muestreo de aceites lubricantes y de sus respectivos informes de análisis con interpretación de los resultados.

Adicionalmente, varios procedimientos incorporan desarrollos propios como el análisis automático de partículas para muestras de aceite emulsionado, muestras turbias y muestras de aceite de motor. Dichas técnicas permiten alcanzar un alto grado de predictibilidad, con un servicio independiente de todo proveedor de aceites, filtros, máquinas, repuestos y servicios relacionados.¹³

Con este método se propone establecer un programa de monitoreo de la condición de los aceites lubricantes en uso. Este monitoreo permite conocer el estado operacional de los componentes en movimiento que estén relacionados con el sistema de lubricación bajo estudio, permite poder detectar muy tempranamente

¹² DUFFUAA, Salih. *Sistemas de mantenimiento*. Limusa. México. 2008.

¹³ CHEK, Chart. *Manual de especificaciones de lubricación automotriz*. Prentice Hall. México. 1998.

una amplia gama de situaciones anormales posibilitando establecer correlaciones directas de causalidad y de ésta forma prevenir efectivamente la ocurrencia de síntomas más avanzados que sean indicadores francos de fallas y permite también efectuar diagnósticos y recomendaciones específicas de acción, basados en la interpretación de los resultados de análisis. La mayor parte de las situaciones anormales va en última instancia a reflejarse en el aceite.

El monitoreo tribológico es un servicio que forma parte de la gestión global de mantenimiento. Los gastos de mantenimiento causados se incrementarían inicialmente en algún porcentaje que no es marginal. Sin embargo, después de que éste aporte a un programa de mantenimiento preventivo-predictivo previamente implementado, se estima que dentro del plazo de un año será posible cuantificar el retorno sobre la inversión a través de disminución o eliminación de la cantidad de fallas imprevistas y de los gastos de reparación o reposición asociados a estas fallas, a través del aumento de las horas efectivas de disponibilidad operacional de los equipos y a través de la disminución de las fallas durante los procesos productivos, lo que redundará en obtener una mejor calidad e imagen, una mayor lealtad de parte de los clientes y una ventaja competitiva.

5.2.1.1 Aplicaciones a contaminación y desgaste. Se sabe que el ochenta por ciento de las fallas de sistemas hidráulicos son atribuibles al fluido y de éstas, el ochenta por ciento son por el contenido de partículas en el mismo. También es cierto que el veinte por ciento de la vida útil de una máquina depende de su fabricante y el ochenta por ciento depende del usuario. A continuación se enuncian los principales factores influyentes:¹⁴

¹⁴ PORRITT, William. *Mantenimiento y reconstrucción de maquinaria: Resolución de uno de los más importantes problemas en la industria moderna.* Hispano Europea. Barcelona. 1984.

Contaminantes del aceite nuevo: los aceites nuevos se contaminan en los estanques de almacenamiento de materias primas y productos terminados, mangueras, cañerías, envases. Los contaminantes más comunes son partículas metálicas, óxidos metálicos, resinas orgánicas y agua, entre otros.

Contaminantes externos: los contaminantes externos son aquellos que entran a través de los respiraderos del sistema, de obturaciones inadecuadamente dimensionadas o dañadas o durante reparaciones realizadas sin adecuadas prevenciones. El ingreso de contaminantes al sistema corresponde a partículas que llegan con el viento y propias del ambiente.

Contaminantes de generación interna: los contaminantes de generación interna pueden ser los más peligrosos por tratarse, muy frecuentemente, de partículas muy duras y agresivas. Entre éstos se pueden mencionar contaminantes de tipo particulado como: las partículas que se han acumulado o se han soltado durante la puesta en marcha y las partículas que se han introducido con el lubricante durante el mantenimiento.

Filtración: los filtros de aceite podrán instalarse en diferentes puntos y su caracterización dependerá de los objetivos preestablecidos. Al seleccionar un filtro hay que recordar que su rendimiento se ve afectado por diversos parámetros de funcionamiento, incluyendo la viscosidad del aceite, el caudal y sobre todo las concentraciones de partículas sólidas.

Filtros externos: en muchos casos es útil y hasta necesaria la aplicación de éstos en el proceso que se ha dado en llamar de diálisis y a los filtros utilizados se les llama riñón por la similitud con ese procedimiento de la medicina. Este

procedimiento tiene por objetivo realizar una limpieza adicional, intermitente, para ajustar el nivel de limpieza ante una tendencia negativa de éste.¹⁵

5.2.2 Análisis de aceites. Mediante este análisis se determina tanto el estado de la máquina como el del lubricante. El aceite lubricante se puede utilizar como medio de diagnóstico debido a que éste aparta el material desgastado fuera de la superficie de desgaste. El análisis del material de desgaste puede, por lo tanto, proporcionar una información importante acerca de las partes internas de un motor o una máquina. Por otro lado, el análisis de aceite nos proporciona información sobre su propio estado.

Este sistema de PdM se puede aplicar a cualquier máquina lubricada: motores (diesel, gasolina, gas), transmisiones, cajas de cambios, turbinas de gas y vapor, compresores, reductores, sistemas hidráulicos, etc.

Los procesos por los que un lubricante se deteriora se pueden dividir en dos: degradación y contaminación.

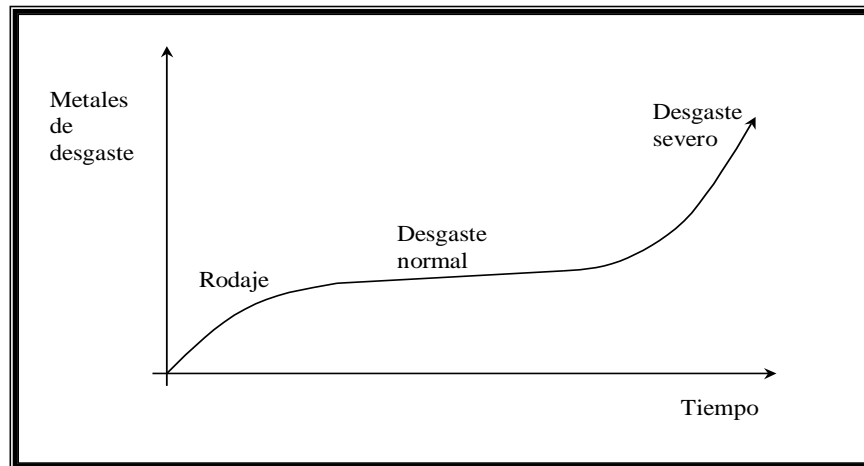
El proceso de degradación es causado principalmente por un proceso de oxidación por efecto de la temperatura, el oxígeno del aire y los catalizadores de hierro, cobre, etc., produciendo una alteración de las características físicas y químicas del aceite.

El proceso de contaminación se produce por la presencia de partículas metálicas de los elementos de la máquina, partículas sólidas (atmosféricas) y por la entrada de agua al sistema.

¹⁵ CHEK, Chart. *Manual de especificaciones de lubricación automotriz*. Prentice Hall. México. 1998.

Las partículas de desgaste no son solubles en el aceite y provocan desgastes abrasivos. Las partículas sólidas atmosféricas y del agua alteran las propiedades físicas del aceite. 16

Figura 5.6. Comportamiento de elementos rodantes lubricados.



Fuente: TERRADILLOS, Jesús. Mantenimiento preventivo-predictivo a través del análisis del aceite. España. 2004.

En la ilustración 6 tenemos que en la zona de rodaje es donde se generan partículas más rápidamente, debido a imperfecciones que se han producido durante la fabricación de las piezas. La fase normal de funcionamiento es la de desgaste normal. Cualquier forma que altere el funcionamiento normal o que incremente la fricción entre las partes móviles dará como resultado un desgaste anormal acelerado y por consiguiente un aumento de la cantidad de metal de desgaste.

Las ventajas de un programa de análisis de aceite se pueden resumir en los puntos siguientes: reducción de los costos de mantenimiento, incremento de la disponibilidad del equipo, extensión de intervalos de cambio de aceite, mejora de

16 CHEK, Chart. Manual de especificaciones de lubricación automotriz. Prentice Hall. México. 1998.

la seguridad, evita desarmes innecesarios de los equipos y mayor aprovechamiento de la vida útil de las piezas de los equipos.¹⁷

5.2.2.1 Sistema para el mantenimiento preventivo-predictivo mediante el análisis de aceite. Existen varias técnicas analíticas para el análisis de aceite, de las cuales resaltamos las siguientes:

Espectroscopia de plasma de acoplamiento incluido: permite determinar de forma rápida y precisa las concentraciones de elementos químicos solubles o partículas en suspensión, expresadas en partes por millón (ppm).

Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier permite determinar la degradación del aceite, la presencia de ácido corrosivo y la contaminación con agua. En el caso de aceites de motor, permite detectar contaminación con combustible, refrigerante y el hollín que genera una mala combustión.

Viscosimetría: es la característica física más importante del lubricante dado que determina la capacidad de carga del mismo.

Análisis automático de partículas: por medio del principio de absorción de luz permite determinar la presencia de partículas en suspensión de cualquier composición, cuantificarlas y clasificarlas según su tamaño, a partir de dos micrones. El tamaño y concentración de las partículas presentes en los aceites usados tiene relación directa con la severidad de las anomalías.¹⁸

5.2.2.2 Elementos típicos encontrados en un análisis de aceite. Se pueden clasificar en tres grupos: metales de desgaste: partículas metálicas suspendidas

¹⁷ DUFFUAA, Salih. *Sistemas de mantenimiento*. Limusa. México. 2008.

¹⁸ CROVSE, William. *Puesta a punto y rendimiento del motor*. Alfa Omega. México. 2002.

en aceite formadas por fricción de elementos metálicos, abrasión o corrosión; elementos contaminantes: elementos que se introducen en el sistema procedentes del exterior; elementos de activación: compuestos que se añaden al aceite base para mejorar determinadas características de los aceites base.

5.2.2.3 Ferrografía. La ferrografía, la cual hace parte del análisis de aceite, consiste en determinar el contenido, tamaño y forma de las partículas de hierro contenidas en un aceite lubricante debido al desgaste producido en el interior de una máquina durante su operación. Existen tres técnicas: ferrografía en línea, ferrografía de lectura directa y ferrografía analítica.

La ferrografía en línea, consiste en un monitoreo permanente en el circuito de recirculación del aceite, para observar incrementos en el nivel de partículas ferrosas del mismo.

La ferrografía de lectura directa, permite medir los valores L y S, respectivamente representativos de la cantidad de partículas metálicas grandes ($>5 \mu$) y pequeñas ($<2 \mu$) presentes en la muestra.

Los fenómenos de desgaste normal se traducen por la emisión de pequeñas partículas en muy bajas cantidades y los de desgaste anormal se manifiestan por la aparición de mayor cantidad de partículas (o partículas de gran tamaño), los cuales provocan un aumento considerable del valor L. A partir de dichos valores L y S se puede determinar la mayor o menor gravedad de los fenómenos de desgaste. 19

La ferrografía analítica, se utiliza para estudiar con detenimiento las partículas contaminantes cuando la ferrografía de lectura directa indica un desgaste

19 CHEK, Chart. *Manual de especificaciones de lubricación automotriz*. Prentice Hall. México. 1998.

importante o anormal. Este análisis permite aislar, examinar e identificar varias familias de partículas tales como: ferromagnéticas, metales no ferrosos, elastómeros, orgánicos, etc. Este es el procedimiento que se debe llevar a cabo para el análisis ferrográfico:

El primer paso debe ser la toma de la muestra. Para que sea representativa, es muy importante que se realice con el equipo en funcionamiento. Se toma una pequeña muestra del aceite (25-30 c.c.), para lo que se utiliza una manguera y un recipiente desechable y limpio etiquetado y con tapa para su almacenamiento.

El segundo paso debe ser la elaboración del ferrograma. Existen varias formas de hacer un ferrograma. Aquí se describe una, en la cual se usa un cubre objetos de microscopio como base para realizar el depósito de partículas. Éste se coloca en un soporte giratorio a baja velocidad (70 r.p.m.), el cual genera dos campos magnéticos circulares que giran a la misma frecuencia, pero que son de diferente intensidad. Se deposita lentamente la muestra de aceite previamente calentada y agitada en el cubre objetos. Por la fuerza centrífuga, el aceite se desplaza hacia los bordes del cubre objetos, atravesando el campo magnético, el cual retiene las partículas formando dos anillos (en el exterior se retienen las partículas más finas y en el interior las de mayor tamaño). Posteriormente se agrega un solvente (Toluol) y se aumenta la velocidad a 140 r.p.m. para limpiar el cubre objetos. Por último se aumenta la velocidad a 200 r.p.m. hasta que dicho solvente se seque. 20

El tercer paso debe ser el análisis del ferrograma. Con la ayuda de un microscopio, se determina la cantidad de hierro presente comparando con un patrón y el tamaño de las partículas con una retícula calibrada en el ocular del microscopio. El análisis de la forma de las partículas se realiza por medio del microscopio electrónico.

El cuarto paso debe ser la evaluación del ferrograma donde se realiza un seguimiento de la cantidad de hierro presente en el aceite a través del tiempo. Mientras éste no se incremente de manera notoria, el equipo trabaja satisfactoriamente; pero si varía en forma brusca hay problemas de desgaste en elementos como rodamientos y engranajes. También existen problemas cuando se encuentran partículas grandes (50 micras).

La ferrografía se utiliza principalmente para: el monitoreo de equipos para determinar fallas en componentes antes de que se vuelvan severas, evaluación de funcionamiento de dos aceites o aditivos en un equipo y no analiza el estado del aceite.

En ferrografía no hay alternativas de equipo, sólo el uso de un ferrógrafo comercial. Para hacer ferrografía se requiere de un microscopio que pueda dar 100X y hasta 800X o 1000X. Debe tener capacidad para conectar un sistema de iluminación bicromática y cámara de video o al menos fotográfica de 35 mm o *polaroid*.

Se debe tener un dispositivo para preparar la muestra y la experiencia para clasificar lo observado como partículas dentro de los dieciséis tipos que se dan en esta clase de muestras. El monitoreo debe considerar tanto el tamaño como la cantidad de partículas. La ferrografía es útil para todo tipo de partículas, las cuales se pueden clasificar en algo más de una docena, aunque obviamente es más sensible a las partículas ferrosas. 21

Para llevar a cabo un buen mantenimiento a través del lubricante es crítico realizar un buen muestreo, siendo la muestra tomada representativa de todo el sistema. La

21 CHEK, Chart. *Manual de especificaciones de lubricación automotriz*. Prentice Hall. México. 1998.

muestra se debe tomar cuando el aceite esté caliente (trabajando) o dentro de los veinte minutos después de parada la máquina.

5.2.3 Frecuencia de muestreo. La frecuencia de toma de muestra depende del tipo de máquina, aplicación, condiciones ambientales, etc. La frecuencia se debe establecer entre el jefe de mantenimiento, el fabricante del equipo, el fabricante del lubricante y el laboratorio encargado de realizar el análisis. La experiencia determinará la frecuencia buscada. Aunque se recomienda realizarlo 6 veces entre cambios de aceite, se pueden establecer los intervalos mostrados en la tabla 1.

Tabla 5.1. Frecuencias para el análisis de aceite.

APLICACIÓN S/N ISO.		PERIODICIDAD DE ANÁLISIS [HORAS]
C	Engranajes industriales.	Entre 1500 h/ 3000 h.
D	Compresores.	Alternativos. Rotativos. Frigoríficos.
E	Motores (vehículos industriales).	Depende del tipo de lubricante y condiciones de servicio: Camiones cada 20000 h. Coches cada 5000 h.
H	Hidráulicos.	Hidráulicos. Minerales. H. acuosos.
M	Corte.	Puros. Acuosos.
N	Transformadores.	500 a 1000 h. 1 vez/ semana o cada 15 días.
O	Transferencia de calor.	A los 3 meses de llenado y después anualmente.
T	Turbinas.	1500 a 3000 h. dependiendo del trabajo.
U	Tratamientos térmicos.	3000 h. a 5000 h. 1 vez al año.

Fuente: TERRADILLOS, Jesús. Mantenimiento preventivo-predictivo a través del análisis del aceite. España. 2004

5.3 ESTADO DEL ARTE

5.3.1 Estado del arte local. En el año 2011 los ingenieros Imer Mosquera Aguilar, Juan Carlos Cadavid Rodríguez y Luis Alfonso Ortiz Rojas en su tesis para optar por el título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento titulada “Mejoramiento del Programa de Mantenimiento Preventivo Aplicada en la Planta de Roll y

Diamante de la Empresa Universal de Autopartes”, presentada a la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, en esta tesis los ingenieros hacen un análisis de criticidad de las máquinas de la empresa Universal de Autopartes dedicada a la fabricación de muelles de ballesta para vehículos, donde determinan que la máquina más crítica es la perforadora, máquina que hace perforación central de las hojas de resorte, una vez determinada esta máquina se hace un análisis de modos y efectos de falla, con esta información se determina cual es la causa raíz del motivo de las fallas de este equipo crítico de la empresa.

En el año 2011, los ingenieros Raúl Enrique Romero Copete y Antonio Tobías Páez Rodríguez, en su tesis para optar por el título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento titulada “Diseño de un Modelo de Mantenimiento para la Pequeña Central Hidroeléctrica Santa Ana”, presentada a la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, hacen el diseño de un modelo de mantenimiento con herramientas del sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM) que pretende estandarizar algunas de las tareas de mantenimiento, crear formatos que sean lo suficientemente útiles para llevar el control y capitalizar el conocimiento generado por los técnicos electromecánicos, uno de los formatos que más llama la atención son las lecciones de punto, donde con ejemplos hacen una explicación muy breve pero fácil de entender, finalmente hacen un presupuesto muy detallado donde explican los recursos necesarios para poner en funcionamiento el plan de mantenimiento propuesto por los autores.

En el año 2011, los ingenieros Pedro Pablo Chaparro, Alexander Navarrete Gómez, Iván Enrique Mendoza Hernández, en su tesis para optar al título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento titulada “Determinación de la Causa de la Dilución de Aceite en los Motores Fuera de Borda Yamaha F20C en la Represa Betania Huila”, presentada a la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, en este documento mediante varios análisis de aceite en laboratorios autorizados para hacer estas pruebas, hacen ensayos del antes y el después del

cambio de aceite para determinar en qué momento del funcionamiento del motor ocurre este fenómeno, utilizan herramientas estadísticas para buscar tendencias y analizar la información, finalmente determinan que las razones principales por las cuales se genera la dilución del aceite en la gasolina están relacionadas con malas prácticas de mantenimiento y el no acatamiento de los tiempos de recambio de los filtros de aceite y gasolina en los motores.

En el año 2011, el ingeniero Mario Giovanni Pineda Lara, en su tesis para optar por el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento titulada “Diseño de un Plan de Mantenimiento para Compensar Caja de Compensación” , presentada a la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, este documento describe el modelo que diseñó el autor para la gestión de mantenimiento en la caja de compensación familiar Compensar, en este documento se hace la evaluación de los activos, la metodología propone diseñar la mejor alternativa para un óptimo desempeño en mantenimiento y los costos más bajos.

En el año 2011, la ingeniera MC Laura Andrea Gómez Ojeda, en su tesis para optar por el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento titulada “Diseño de un Plan de Mantenimiento para la Empresa Control de Sólidos Ltda.”, presentada a la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, en este documento se hace un plan de mantenimiento para la empresa Control de Sólidos utilizando como herramienta el Mantenimiento Productivo Total (TPM) hace un listado de los activos y un análisis de criticidad, genera formatos y toda la documentación que apoya su estrategia, al final muestra como un buen plan de mantenimiento es una herramienta para aumentar la productividad de las pequeñas y grandes empresas, que para este caso presta servicios de limpieza a empresas del sector petrolero.

En el año 2010, los ingenieros Blake Turner y Oscar López en su trabajo de grado para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento titulado “Propuesta de Aplicativo para la Gestión del Mantenimiento de la Flota de Tracto

Camiones de la Empresa Entre Flores Ltda.”, presentada a la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, analizaron la importancia que tiene la gestión de mantenimiento, llevada y controlada desde el software SIGMAT 2010. Esta herramienta computacional ayuda a optimizar el control del mantenimiento en la empresa Entre Flores Ltda., en donde se realizó un análisis de confiabilidad en la flota de 47 tracto camiones con la que cuenta la organización. También realizaron un análisis de los usos y beneficios que arroja el buen manejo de los aceites para los camiones y se encontraron con una reducción considerable en los efectos ambientales negativos generados por la organización, al igual que una reducción en los costos.

En el año 2009, los ingenieros Héctor Sánchez y John Mario Bravo en su tesis para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento titulada “Programa de Mantenimiento preventivo para una Empresa del Sector Industrial (TECNOFRES)”, presentada a la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, esta propuesta nace debido a la necesidad de la empresa de disminuir en su mayor proporción las paradas no programadas de los equipos de producción (correctivos), por ello se enfocan en desarrollar un programa basado en mantenimiento preventivo óptimo. Por lo cual hacen una investigación de los tipos de mantenimiento (correctivo, preventivo, predictivo), ya enfocándose en el mantenimiento preventivo hacen un estudio a fondo del mantenimiento como son: análisis, planeamiento, programación, accesibilidad a la información, identificación de equipos críticos, cálculo de indicadores, implementación de formatos, costos de desarrollo.

En el año 1989, los estudiantes Marvin González y Edgar Yustes en su proyecto de grado para optar al título de Técnico Profesional en Mecánica Automotriz titulado “Manual de Lubricación para la Industria Automotriz”, presentada a la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, plasmaron todo lo relacionado con la parte de lubricación (historia de la lubricación, tipos de lubricantes, factores que

afectan la lubricación, clasificación de los lubricantes), una vez revisados estos temas, se centran en analizar los componentes más importantes de los motores para tener una idea clara de ellos y a cada uno de estos componentes le realizan un análisis de lubricación teniendo en cuenta los factores que afectan la lubricación (carga, temperatura, velocidad, desgaste, corrosión, etc.). Y por último, tratan temas de análisis y diagnóstico de lubricantes, para luego generar un plan de optimización de lubricantes en automotores.

En el año 2010, los ingenieros John Hernández y René Manrique en su tesis para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento titulada “Reestructuración del Plan de Mantenimiento para la Flota de Vehículos Mercedes Benz Existente en la Empresa SI99 S.A.”, presentada a la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, proponen disminuir los costos de mantenimiento correctivo, preventivo, por condición y reparaciones planeadas. Estos costos son elevados debido a la apatía hacia el mantenimiento preventivo, lo cual conlleva a un mayor deterioro del activo. Para ello plantearon unas nuevas rutinas de mantenimiento en las cuales se agregaron varios aspectos importantes en la vida del automotor, con ello analizaron que no era necesario realizar mantenimientos preventivos en periodos tan cortos y debido a esto lograron un ahorro sustancial para la compañía.

En el año 2010 el ingeniero Oscar A. Riojas Castillo en su tesis para optar al título como Especialista en Gerencia de Mantenimiento titulada “Diseño de un sistema de lubricación basado en condición, controlado y sistemático en la empresa Bimbo Colombia planta Tenjo” presentada a la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, plantea una propuesta del control adecuado de lubricantes, haciendo un correcto almacenaje para que estén (fríos, limpios y completamente libres de agua) y utilizando aquellos que sean importantes ya que debido a un exceso de lubricantes se genera un descontrol en las operaciones ya que no se lleva un control riguroso de inventario, para ello se prevé implementar un sistema de

monitoreo por condición, midiendo ultrasonido, realizando un análisis de aceites y un control visual .

5.3.2 Estado del arte nacional. En el año 2005 la Ingeniera Ángela María Gómez Giraldo candidata Especialista en Logística Empresarial en su tesis “Logística en Reserva: Manejo Integral y Uso de Aceites Lubricantes Automotrices”, tesis presentada a la Universidad de Medellín Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas Especialización en Logística Empresarial; en esta investigación se describe dos conceptos nuevos para el autor pero importantes en logística: el termino de logística inversa, que hace referencia al movimiento de los residuos o bienes después de cumplir su vida útil y el de logística verde, que hace referencia a que el movimiento de los residuos y/o bienes que genere el menor impacto sobre el medio ambiente, además genera un plan de residuos de lubricantes para CORPAUL, entidad creada por el Hospital San Vicente de Paul de la ciudad de Medellín en 1973 y que en la actualidad se dedica al manejo integral de residuos con varios proyectos de tipo ambiental.

En el año 2011, el ingeniero físico Alexander Ruden Muños, candidato a Magister en Ciencias Físicas en su tesis Análisis Estructural, Superficial y Tribológico de Recubrimientos de Nitruro de Cromo (CrN) Sintetizado por Magnetron Sputtering Reactivo DC, presentada a la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales Facultad de Ciencias Exactas y Naturales; el autor en el laboratorio de plasma de la universidad ensaya con la técnica del cátodo blanco sumergido en gas inerte plasma, la aplicación del recubrimiento duro sobre dos sustratos: acero inoxidable AISI 304 y acero grado ingeniería AISI 4140, se obtuvieron por este método capas de aproximadamente 890 nm, las cuales mejoraron la dureza superficial de las probetas y su coeficiente de fricción, otra conclusión de esta tesis es el mejoramiento de la resistencia a la corrosión, finalmente se determinó que el espesor de la capa de nitruro de cromo (CrN), depende directamente de la presión ajustada en el reactor de plasma.

En el año 2009, el estudiante Daniel Gallego en su proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico titulado “Implementación del Programa de Lubricación Productiva PLP en la Planta COLANTA Armenia”, presentada a la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, implemento sistemas de lubricación efectivos, confiables y seguros, para ello se ubicaron los activos críticos y se evaluaron los lubricantes para dichos puntos y se establecieron los mecanismos de cambios de aceite, lo cual genero una disminución en las fallas de los equipos y menos paradas no programadas, además generar un menor impacto ambiental. Se plantea una metodología de trabajo por medio de unos pasos: lubricación (correctiva, preventiva, predictiva, proactiva), señalización de puntos de lubricación y lugares de almacenamiento, cálculos pertinentes, selección de aceites, comparativos de lubricantes y elaboración de fichas de seguridad.

En el año 2007, el Ingeniero Carlos Eduardo Silva Martínez con el proyecto de grado titulado “Diseño de un Sistema de Mantenimiento para Equipos Móviles de Transporte de carga Terrestre”, para optar al título de Ingeniero Mecánico, presentada a la Universidad Tecnológica de Pereira, ha hecho investigaciones durante el pasado y presente siglo, que han definido distintos estilos o filosofías de mantenimiento, las cuales han facilitado y definido como debe ser la aplicación y la administración de procesos básicos como la reparación, inspección, lubricación y monitoreo de equipos y componentes. Todo esto, enfocado a incrementar la durabilidad y confiabilidad de los anteriores. Dentro de estas filosofías o sistemas de mantenimiento, los denominados mantenimientos correctivos, preventivos y predictivo, juegan el rol principal en la mayoría de empresas y plantas que planean y ejecutan su mantenimiento. En el campo automotor y en la gama de equipos móviles en general, ya sean de transporte de personas, transporte de carga, maquinaria pesada, etc., es común encontrar que se ha relegado el mantenimiento a la corrección de fallas y varadas en el instante que aparecen. De igual forma, la literatura correspondiente a la aplicación de las filosofías de mantenimiento a

flotas vehiculares y de equipos móviles, es escasa y no agrupa los conceptos teóricos y prácticos que deben ser tenidos en cuenta.

En el año 2012 la estudiante de Ingeniería Mecánica Adriana María Ruiz Acevedo candidato a optar por el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento presento una tesis a la Universidad Distrital de Santander en Bucaramanga con su tesis “Modelo para la Implementación de Mantenimiento Predictivo en las Facilidades de Producción de Petróleo” en donde la autora hace un comentario de la baja disponibilidad de los activos del campo de San Francisco Hocol, luego se realiza una evaluación de mantenimiento el cual lo hace AMS Group para implementar el mantenimiento predictivo dentro del marco de mantenimiento basado en condición, posterior a esto se hace la ejecución del plan comenzando por la clasificación de equipos críticos hasta el desarrollo del mantenimiento predictivo tomando como base fundamental la norma ISO 17359 la cual incluye una serie de pasos como lo son aplicar las técnicas predictivas y realizar la emisión de un diagnóstico y su posterior mantenimiento cuando se requiera, generando una retroalimentación para la mejora continua del proceso.

5.3.3 Estado del arte internacional. En el año de 1992 el ingeniero Eduardo Santos Martínez, candidato a Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica con Especialización en Diseño, tesis presentada a la Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Posgrados en la ciudad de México D.F., con su tesis “Lubricación Industrial”; en esta tesis el autor hace un completo documento que explica el origen, la obtención y las características de los principales lubricantes utilizados en la industria, incluye una sección de grasas y otra de aceites, además cuenta con varias tablas de equivalencias entre lubricantes, da pautas de tribología hace énfasis en las ventajas, económicas y ambientales de mantener equipos lubricados, al final recomienda varios temas para hacer profundización en aplicaciones especiales como lubricación hidrodinámica, lubricación en condiciones extremas y plantas nucleares.

En el año 2009 el ingeniero Adalberto Jurado Hernández candidato a Maestro en Ciencias en la Especialidad de Medio Ambiente y Desarrollo Integrado, tesis presentada al Instituto Politécnico Nacional de la Ciudad de México D.F., Secretaria de Investigación y Posgrado, con su tesis Esquema de Manejo Adecuado de los Aceites Lubricantes Usados en un Municipio Urbano, hace el recuento de los aceites generados en la cabecera rural de México D.F., en el pueblo de Izcalli entre los años 2000 a 2005 por talleres automotrices, donde se verifico el acatamiento al programa de mantenimiento de aceites lubricantes usados para determinar su cumplimiento y encontrar áreas de oportunidad de manejo, dentro de esta investigación se determinó que el 50% de los talleres revisados estaba acatando el programa de manejo de aceites residuales, además hace referencia a las consecuencias que tiene el aceite al entrar en contacto con los cuerpos de agua “en el agua un galón de aceite usado contamina un millón de galones de agua que pueden satisfacer las necesidades de 50 personas en un año”, igualmente se plantean tres alternativas limpias para la recuperación del aceite.

- Reprocesamiento: Reutilizar parcialmente el aceite utilizado en la producción de aceites con características similares.
- Reciclaje Térmico: Utilizar el aceite usado en la generación de calor principalmente en hornos para fundición de materiales no ferrosos.
- Regeneración: Utilizar el 100% del aceite para generar nuevos lubricantes mediante filtrado, centrifugado y procesos químicos.

En el año 2006, el Ingeniero Juan José Sepúlveda realizo una tesis titulada “Documento de Apoyo a la Gestión de Mantenimiento, para la Selección y Aplicación de Lubricantes”, para optar al título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Austral de Chile, en la parte técnica de este trabajo se abordan temas de lubricantes como por ejemplo tipos de lubricantes más comunes, selección de lubricantes, aplicación, manipulación, almacenaje y sistemas de análisis. Por otro

lado se enfatiza en la gestión de lubricantes, en donde se lleva a cabo un análisis de la vida útil del lubricante que va desde su selección de acuerdo al elemento a lubricar, diseño de planes de lubricación, control ambiental de los lubricantes, gestión de los sistemas de análisis de aceites, procesos de filtrado de aceites y disposición final de residuos.

En el 2007, el Ingeniero Felipe Orlando Arenas Valdez, escribió una tesis titulada “Sistema de Gestión Administrativa de las Actividades de la Lubricación para la Planta Cartulinas CMCP”, con el fin de optar al título de Ingeniero en Ejecución Mecánica, de la Universidad de Talca en Chile. En este trabajo se comienza realizando una auditoria a la estrategia de lubricación utilizada por la empresa CMCP, la cual es una empresa dedicada al procesamiento de la madera para fabricación de productos de papel, en esta auditoría se evidencian las debilidades y fortalezas del actual plan, posteriormente se diseñan unos procedimientos y estándares para la ejecución de los nuevos procesos de lubricación, de igual forma se crea toda la documentación necesaria para llevar el control del nuevo sistema implantado y la creación de sistemas de control que permitan la retroalimentación de las acciones tomadas.

En el año 2011 el estudiante Gustavo Antonio Moreno Russian candidato a optar al título de Ingeniero Mecánico en Puerto La Cruz Venezuela presento un trabajo de grado denominado “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE UNA FLOTA DE TRACTOCAMIONES EN BASE A LOS REQUERIMIENTOS EN SU CONTEXTO OPERACIONAL” en el cual se plantean una serie de estrategias para lograr el objetivo principal como lo es el diseño de un plan de mantenimiento para una flota de tracto camiones en su contexto operacional, para ellos se realizó un diagnóstico de la situación actual de los sistemas, verificando su estado actual y comportamiento, luego se aplicó la técnica del Análisis de Criticidad bajo la metodología EQUICRIT mediante el cual se determinó el sistema más crítico de los tracto camiones, seguido a este proceso se aplicó la filosofía de Mantenimiento

Centrado en Confiabilidad para finalmente crear un plan estratégico de mantenimiento aplicable al subsistema más crítico.

En el año 2007 el estudiante Ricardo Edwin Garzón Rojas candidato a otra a título de Ingeniero Mecánico en la ciudad de Quito Ecuador presento un trabajo de grado denominado “Sistema Automatizado de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Pequeñas y Medianas Empresas” en el cual plantea la utilización de la metodología RCM para pequeñas y medianas empresas con la utilización de Access de Microsoft, luego se habla de la evolución y las estrategias de mantenimiento y denota la confiabilidad operacional y sus parámetros, entonces realiza un enfoque al RCM y describe cuáles son sus requerimientos para ser aplicado y detalla el procedimiento de aplicación, también describe la definición de un análisis de modo de falla-efecto y su metodología para ser aplicado, a eso se le suma una base de datos para el ingreso de la información que se necesita en los informes.

En el año 2009 el estudiante Christian H. Mundarain Castañeda candidato para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la ciudad de Puerto La Cruz Venezuela presento un trabajo de grado denominado “DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN, ENFOCADO A LA MEJORA DE LA EFECTIVIDAD DE LOS ACTIVOS ROTATIVOS” en el cual plantea un diseño de un programa basado en condición que se centra en la mejora de la eficiencia de los activos rotativos críticos de la planta Supermetanol C.A. donde se busca reducir las horas de paradas no programadas elevando así la productividad del sistema, lo cual conllevara a la reducción de los costos elevados por los mantenimientos, para lograr estos objetivos se realizó un diagnóstico general de los activos de la empresa y se recopiló la información técnica de los activos rotativos, con esta información se detectaron los activos más críticos a los cuales se les aplicó un análisis de modos y efectos de falla para saber que fallas

eran las más recurrentes y así se determinó las herramientas predictivas a usar y determinar los procedimientos de inspección.

En el año 2010 el estudiante Martin Da Costa Burga candidato a optar por el título de Ingeniero Mecánico en la ciudad de Lima Perú, presentó una tesis de grado denominada "APLICACIÓN DEL MANTEMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD A MOTORES A GAS DE DOS TIEMPOS EN POZOS DE ALTA PRODUCCIÓN" en el cual plantea el uso de la metodología RCM, lo primero que se hizo en esta tesis fue la identificación de los problemas que impiden la maximización de las funciones de los motores de gas de dos tiempos a través de un análisis de modo de falla, causas, efectos, lo cual permitió detectar la criticidad de cada una y sus efectos en la producción, salud, mantenimiento y medio ambiente, mediante el desarrollo de la metodología se pudieron determinar las estrategias de mantenimiento para la eliminación de fallas, dentro de las cuales encontramos la Optimización del mantenimiento preventivo y la Implementación del mantenimiento predictivo.

En el año 2010 el estudiante Fredy Román Guananga Díaz candidato a optar por el título de Ingeniero Industrial en la ciudad de Riobamba Ecuador presentó una tesis de grado para la Escuela de Ingeniería Industrial titulada "OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETERAS, EN LA EMPRESA MIVIRN UBICADA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO" en la cual se pretende optimizar el proceso productivo en la elaboración de concreteras en la empresa MIVIRN donde se realizó una observación y exploración preliminar de las fases de producción donde se utilizó para tal fin la técnica de análisis de métodos y tiempos, con la utilización de herramientas gráficas como diagramas de flujo y diagramas de proceso, el proceso de elaboración de piezas y partes de las concreteras siguen un ciclo secuencial, donde se generan desordenes y pérdidas de tiempo para la selección

de los materiales, se realiza una serie de procedimientos para el mejoramiento de los procesos productivos en las concreteras.

En el año 2004 el estudiante de Ingeniería Mecánica José Manuel Alarcón García candidato a optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica presentado a la Universidad de las Américas Puebla en la ciudad de México presento su tesis con el nombre “Implementación de un sistema de mantenimiento preventivo, auxiliado por un software, para una línea de pintura electroforética” la cual se desarrolla en Maquinados de Materia Diana S.A. donde tienen como finalidad establecer un sistema de mantenimiento preventivo para la línea de pintura electroforética para la fabricación de muebles, allí se pretende desarrollar un sistema de mantenimiento preventivo supervisado por un software, se realiza un análisis inicial de las maquinas con las que cuenta la empresa y se desarrolla un plan con unas características de revisiones periódicas las cuales van a ser monitoreadas por el software, donde los operarios deberán subir al sistema el comportamiento de las máquinas y las tareas realizadas.

6. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Tabla N°6.1. Tipo de Investigación.

TIPO DE INVESTIGACIÓN	CARACTERÍSTICAS
• Histórica	Analiza eventos del pasado y busca relacionarlos con otros del presente.
• Documental	Analiza la información escrita sobre el tema objeto de estudio.
• Descriptiva	Reseña rasgos, cualidades o atributos de la población objeto de estudio.
• Correlacional	Mide grado de relación entre variables de la población estudiada.
• Explicativa	Da razones del porque de los fenómenos.
• Estudios de caso	Analiza una unidad específica de un universo poblacional.
• Seccional	Recoge información del objeto de estudio en oportunidad única.
• Longitudinal	Compara datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población con el propósito de evaluar cambios.
• Experimental	Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes.

Fuente: Escuela Colombiana de Carreras Industriales. Adaptado de Colciencias.

El tipo de investigación que se utilizará es estudio de caso desarrollando una investigación mixta que es aquella que participa de la naturaleza de la investigación documental y de la investigación de campo. La investigación documental es aquella que se realiza a través de la consulta de documentos (libros, revistas, procedimientos, manuales, registros, etc.). La de campo o investigación directa es la que se efectúa en el lugar y tiempo en que ocurren los fenómenos objeto de estudio, debido a que el desarrollo del proyecto se realizará en la planta de producción de una empresa productora de concretos, morteros y derivados.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para alcanzar los objetivos planteados en la investigación. Se señala en primer lugar las técnicas de recolección de la información y el análisis de datos; luego se describe la propuesta de solución y finalmente se presentan los resultados obtenidos.

7.1 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos aplicados fueron las siguientes:

a) Revisión bibliográfica, análisis de documentos técnicos y análisis de archivos del manual del fabricante.

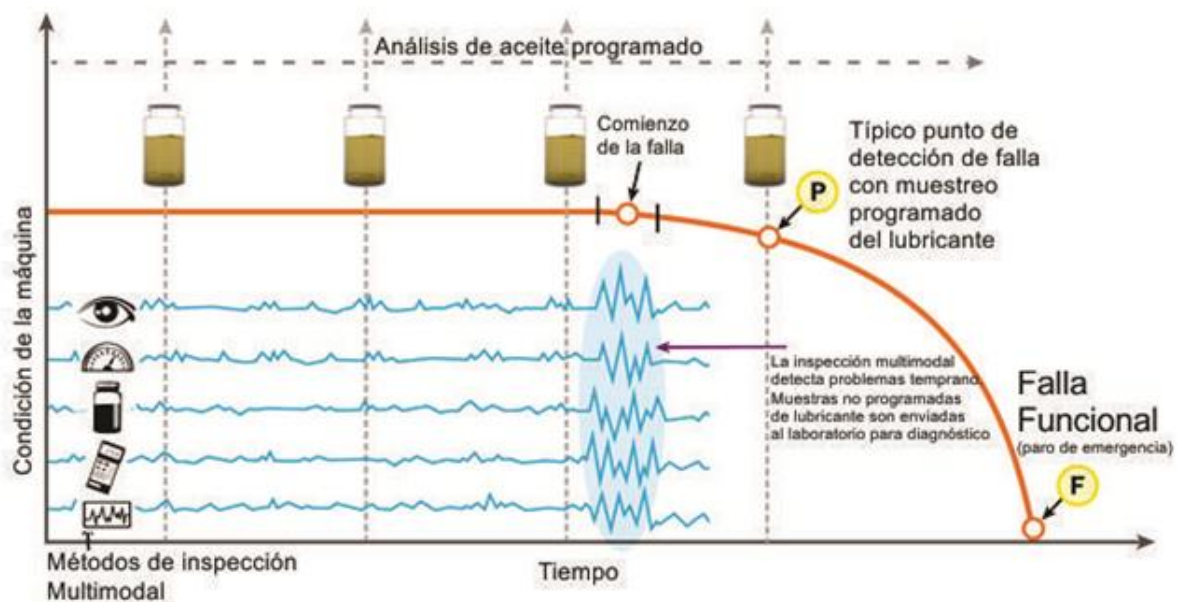
b) Luego se recurrió a técnicas directas como: procesos de toma de muestras de lubricante de motor, consultas a los operadores de las mezcladoras de concreto y al personal de mantenimiento y producción de las plantas de producción de concreto que proporcionaron ideas y experiencias sobre el objeto de estudio para la aplicación de tecnologías predictivas utilizando la herramienta de análisis de lubricantes.

7.2 ANÁLISIS DE DATOS

Una vez recopilada la información, se procedió al procesamiento de las técnicas anteriormente señaladas, en cuanto al análisis de lubricantes practicado a los equipos, los datos se codificaron y tabularon, dicho procesamiento se realizó de forma manual y la presentación de los datos se hizo en relaciones porcentuales y relativas.

En cuanto a las técnicas de análisis estuvieron apoyadas en herramientas basadas en la estadística descriptiva, la cual se dedica a analizar y representar los datos, bajo una serie de medidas de tendencia central, lo que permitió representar los datos en tablas absolutas y porcentuales y, posteriormente analizarlos e interpretarlos. De igual forma la interpretación de los datos fue complementada con la información recabada de las consultas aplicadas a los operadores activos y al personal adscrito al Departamento de Mantenimiento de las plantas de producción de concreto, y a su vez soportada por la información del Marco Teórico.

Figura 7.1. Análisis de datos.



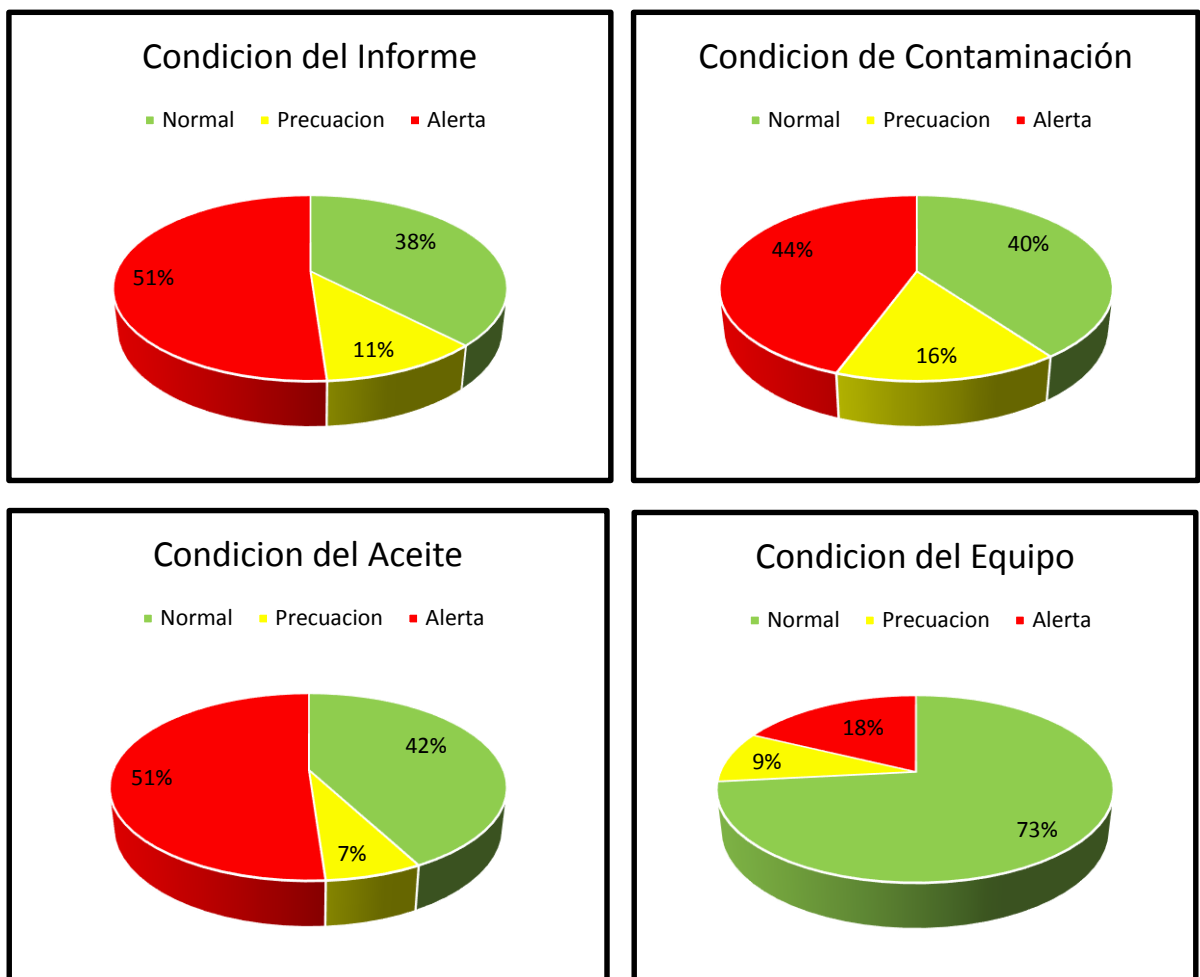
Fuente: Los autores.

7.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

7.3.1 Objetivo 1. Abajo se encontrara el resumen de los resultados obtenidos durante el periodo correspondiente de Enero a Abril de 2015, tomando como condiciones iniciales estos resultados.

De las 45 muestras de aceite motor analizadas, 20 (44%) resultaron con alerta en contaminación, 23 (51%) con alerta en la condición del aceite y 8 (18%) resultaron con alerta en la condición del equipo, constituyéndose los factores de contaminación y condición del aceite como las principales causas para este tipo de aviso.

Figura 7.2. Graficas de análisis de aceite de motor.



Fuente: Los Autores.

Tabla 7.1. Muestras de aceite de motor analizadas.

CONDICION	INFORME		CONTAMINACION		ACEITE		EQUIPO	
	Numero	%	Numero	%	Numero	%	Numero	%
Normal	17	38%	18	40%	19	42%	33	73%
Precaución	5	11%	7	16%	3	7%	4	9%
Alerta	23	51%	20	44%	23	51%	8	18%
TOTAL	45	100%	45	100%	45	100%	45	100%

Fuente: Los Autores.

A continuación se clasificaran los resultados del análisis de lubricante de motor de acuerdo a la condición de contaminación, del lubricante y de desgaste interno del equipo:

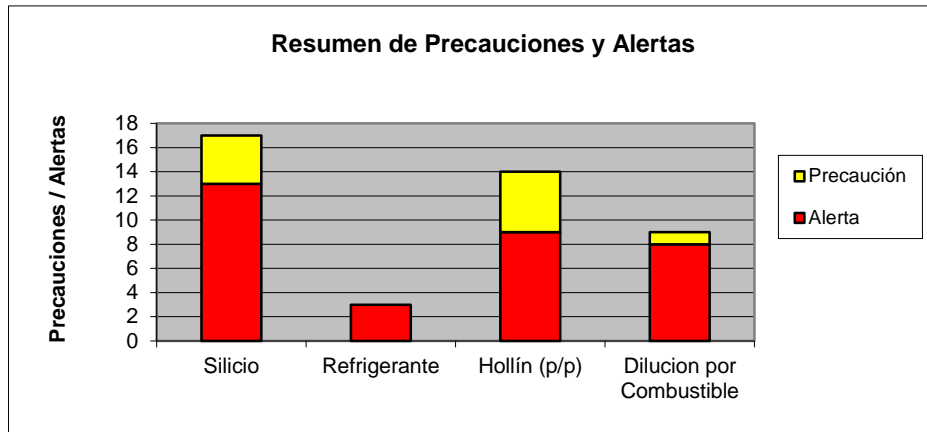
Tabla 7.2. Clasificación de resultados de acuerdo a la Contaminación.

Clasificación de resultados de acuerdo a la Contaminación	Alerta	Precaución
Silicio	13	4
Refrigerante	3	0
Hollín (p/p)	9	5
Dilución por Combustible	8	1

Fuente: Los Autores.

Si la presencia de SILICE no está acompañada de desgaste metálico, indica la presencia de compuestos de silicio no abrasivo, como los antiespumantes, compuestos de juntas o tapas de rodamientos, procedimientos inapropiados de toma de muestra/manipulación, por ej. envase de muestra contaminado con suciedad; muestra tomada bajo condiciones de mucho viento en una situación donde hay presencia de polvo; tapas de envases que permanecieron fuera de los envases por un largo periodo de tiempo; el motor opera con gas combustible que contiene siloxanos, que no es abrasivo. Cuando el SILICE está asociado con desgaste metálico, se debe los siguientes puntos: Mala filtración debida a filtros de mala calidad, prolongados periodos de cambio de los mismos, y/o se utiliza el sopleteado en ellos. Mal manejo y almacenamiento del lubricante. Entrada de aire al equipo por sitios no adecuados para ello, como por mangueras porosas y arandelas desajustadas.

Figura 7.3. Clasificación de resultados de acuerdo a la Contaminación.



Fuente: Los Autores.

El hollín es un subproducto de combustión y existe en todos los aceites de motor diesel en operación. Este llega al motor por varios medios de escape de gases durante la operación del motor. Aunque la presencia de hollín es normal y esperada por algunos miles de horas de operación de un aceite de motor, la concentración y el estado del hollín pueden ser anormales, señalando un problema con el motor y/o la necesidad de un cambio de aceite. Lo siguiente son algunos problemas relacionados con la contaminación con hollín:

La eficiencia de la combustión está relacionada directamente con la tasa de generación de hollín. Mala regulación de encendido, filtro de aire obstruido y excesiva holgura de los anillos causan alta concentración de hollín. Los problemas de combustión no se resuelven con un cambio de aceite.

Los nuevos motores diesel diseñados para bajas emisiones tienen mayores presiones de inyección. Esto se debe a un incremento en la sensibilidad al desgaste abrasivo (por ejemplo, concentración de hollín) entre el actuador, el eje y el cojinete del eje y pueden conducir a aferramiento del actuador. Las unidades nuevas de recirculación de gases de combustión (EGR) en los motores diesel amplifican la cantidad y abrasividad del hollín producido.

El hollín pule la película protectora anti-desgaste en zonas límite tales como las levas y el árbol de levas. La elevación del carbón por la acumulación de hollín y lodo detrás de los anillos del pistón en las ranuras puede causar desgaste rápido de los anillos y las paredes del cilindro. Esto puede provocar la ruptura o daño severo de los anillos durante condiciones de arranque en frío. El hollín es un hidrocarburo parcialmente quemado que resulta de una combustión incompleta. El hollín no es resultado del lubricante.

La dilución por combustible severa (arriba del 2%) está asociada con fugas, problemas en el inyector de combustible y combustión ineficiente. Estos son síntomas de condiciones serias que no pueden corregirse con un cambio de aceite. De acuerdo con una referencia, el 0.36% del total de combustible consumido termina en el motor. Problemas asociados con la dilución por combustible incluyen:

La dilución por combustible en condiciones de operación en frío puede causar encerado. Durante el arranque, esto puede provocar baja presión y escasez de aceite.

El combustible diesel introduce las moléculas aromáticas no saturadas, las cuales son pro-oxidantes, en el aceite de motor. Esto puede dar lugar a una pérdida prematura del número básico (pérdida de protección contra corrosión) y al espesamiento oxidativo del aceite de motor, causando depósitos y ligera escasez de aceite.

La dilución por combustible puede reducir la viscosidad de un aceite, por ejemplo, pasar de un 15W-40 a un 5W-20. Esto colapsa el espesor crítico de la película del aceite, dando por resultado el desgaste prematuro de la zona de combustión (pistones, anillos y camisas) y desgaste de cojinetes del motor.

La dilución por combustible por inyectores defectuosos causa comúnmente lavado del aceite en la camisa del cilindro, lo que acelera el desgaste del anillo, pistón y cilindro. Esto también provoca altas condiciones de fuga de gases de combustión (blow-by) e incremento en el consumo de aceite (blow-by inverso).

La dilución por combustible severa diluye la concentración de aditivos del aceite, y por lo tanto, su efectividad.

La dilución por combustible por bio-diesel puede dar lugar a problemas mayores a los normales comparados con el diesel refinado del crudo. Estos problemas incluyen estabilidad de oxidación, obstrucción de filtros, formación de depósitos y volatilidad, dando por resultado acumulaciones en el motor.

Tabla 7.3. Clasificación de análisis de acuerdo al Lubricante.

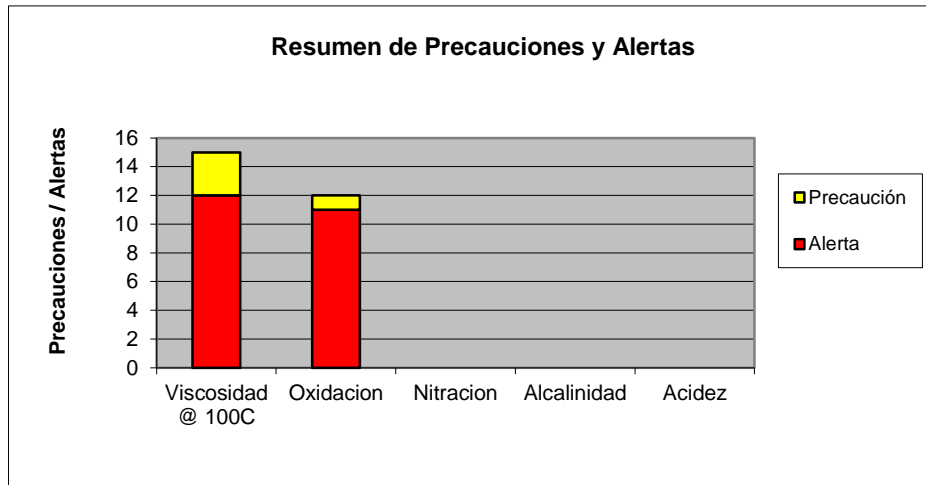
Clasificación de resultados de acuerdo al Lubricante	Alerta	Precaución
Viscosidad @ 100C	12	3
Oxidación	11	1
Nitración	0	0
Alcalinidad	0	0
Acidez	0	0

Fuente: Los Autores.

La viscosidad se incrementa con el hollín. Sin embargo, una alta dispersancia asociada con algunos aceites de motor modernos puede incrementar aún más la viscosidad con el hollín. La alta viscosidad se relaciona con problemas de arranque en frío y con el riesgo de escasez de aceite, la eficiencia de la combustión y la economía del aceite/combustible.

La baja viscosidad en el lubricante genera depósitos o sedimentos perjudiciales, restricciones del flujo de aceite, recalentamiento del motor, lubricación insuficiente y contacto de metal con metal.

Figura 7.4. Clasificación de análisis de acuerdo al Lubricante.



Fuente: Los Autores.

La oxidación del lubricante se debe fundamentalmente a periodos sobre-extendidos de cambio del mismo y puede generar disminución de la duración de los equipos, depósitos de laca, taponamiento de los filtros de aceite, aumento de la viscosidad del aceite, corrosión de piezas metálicas, aumento del desgaste de los componentes y una disminución del rendimiento de los equipos

Tabla 7.4. Clasificación de análisis de acuerdo a Elementos de Desgaste.

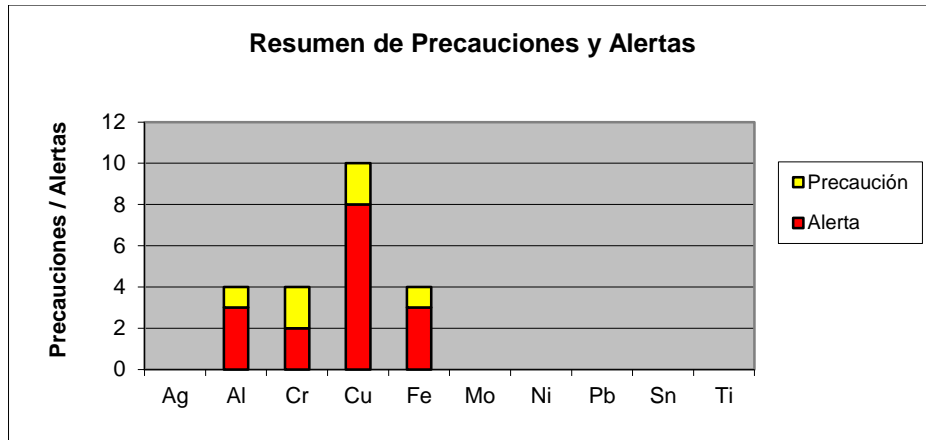
Clasificación de resultados de acuerdo a Elementos de Desgaste		Alerta	Precaución
Plata	Ag	0	0
Aluminio	Al	3	1
Cromo	Cr	2	2
Cobre	Cu	8	2
Hierro	Fe	3	1
Molibdeno	Mo	0	0
Níquel	Ni	0	0
Plomo	Pb	0	0
Estaño	Sn	0	0
Titanio	Ti	0	0

Fuente: Los Autores

Por la contaminación del aceite con Sílice y hollín, se podría incrementar la viscosidad del aceite y generar condiciones de precaución o alerta en los

contenidos de metales de desgaste como el Aluminio, Cromo, Cobre y Hierro, debido a que la lubricación es insuficiente, se presenta disminución de la presión de aceite, menor ahorro de combustible, menor rendimiento del motor y en efecto una disminución de la vida útil del motor

Figura 7.5. Clasificación de análisis de acuerdo a Elementos de Desgaste.



Fuente: Los Autores

Las ALERTAS encontradas en Desgaste de Equipo y en el Aceite, están estrechamente ligadas a las ALERTAS encontradas por CONTAMINACION, la cual se constituye en gran medida en la CAUSA RAIZ de todas las demás.

Al reducir la contaminación, el aceite podrá ejercer TODO SU POTENCIAL, dando como resultado motores con mayor vida útil y trabajando a costos más bajos.

Las inversiones para reducir la contaminación son bajas, pero REQUIEREN CAMBIOS CULTURALES dentro de las empresas.

7.3.2 Objetivo 2. El monitoreo de los aceites es una de las herramientas más valiosas que el Ingeniero de Mantenimiento tiene a su disposición para evaluar de manera exhaustiva y oportuna el estado mecánico de un equipo, sus condiciones de operación, y las condiciones del aceite; con lo cual a través de actividades de

mantenimiento y operativas, se pueden prevenir las fallas potenciales en un equipo, para evitar daños mediante un conocimiento veraz de las diferentes variables que afectan la buena lubricación de una máquina. Este programa también ayuda a optimizar la confiabilidad y vida útil de sus equipos y los periodos de cambio de aceite, reduciendo costos de mantenimiento y maximizando la disponibilidad de su operación.

No tiene caso desperdiciar valioso tiempo de reparación cuando un programa efectivo de análisis de fluidos, puede maximizar los recursos que tiene. Conozca como una estrategia de mantenimiento basada en el estado del equipo o componente, y del lubricante minimizará las fallas y le ahorrará valioso tiempo y dinero, al:

- Identificar la contaminación,
- Identificar el desgaste y sus posibles fuentes,
- Mover sus prácticas de mantenimiento hacia un enfoque más basado en la condición.

Las diferentes técnicas para el monitoreo periódico de los aceites usados como el análisis físico-químico, la espectrofotometría por emisión atómica, el conteo de partículas y la ferrografía permiten evaluar el estado del aceite para su cambio oportuno y el grado de desgaste de los diferentes mecanismos del equipo, el cual si es anormal permitirá implementar acciones preventivas que eviten la parada no programada o en caso contrario trabajar con confiabilidad y cuantificar la vida real de servicio del equipo que debe estar de acuerdo con lo especificado por el fabricante. Los resultados finales se reflejarán en una reducción significativa de los costos de mantenimiento.

Los análisis de laboratorio al aceite usado deben tener como objetivo evaluar la condición del aceite, monitorear su grado de contaminación y el nivel o la

gravedad del desgaste que está presentando el equipo. Es muy importante tener cuidado que la muestra de aceite que se tome del equipo sea lo más representativa posible, que las botellas para muestreo estén completamente limpias y que el procedimiento empleado para tomar la muestra de aceite sea el correcto.

El análisis de las propiedades físico-químicas del aceite usado se llevan a cabo mediante los métodos establecidos por las normas ASTM y el análisis de desgaste utilizando la espectrofotometría por emisión atómica, el conteo de partículas y la ferrografía.

Entre los aspectos que más influyen en la reducción de la vida útil de los mecanismos de los equipos están el nivel de aceite y la frecuencia con la cual se debe cambiar el aceite. La localización del punto adecuado para tomar la muestra es crítico en el análisis del aceite.

Tabla 7.5. Pruebas para el análisis de aceite.

Análisis de Aceite	Objetivo	Resultado Esperado
Viscosidad	Salud del lubricante	Estable
Numero de Neutralización (TAN y TBN)	Degradación del lubricante	Tendencia decreciente lenta
Punto de inflamación	Contaminación	Estable
Análisis de elementos por emisión atómica	Degradación de aditivos Contaminación Metales de desgaste	Decremento suave Negativo Negativo tendencia suave
FTIR – Análisis infrarrojo	Degradación de aditivos Contaminación	Decremento suave Negativo
Conteo de partículas	Contaminación y/o Desgaste	En la meta establecida

Análisis de humedad	Contaminación	Negativo
Densidad ferrosa o partículas ferrosas	Desgaste	Tendencia suave o estable
Ferrografía analítica	Localización del tipo de desgaste presente	Identificación del tipo de desgaste, procedencia y causa
Resistencia a la oxidación RPVOT	Salud del lubricante	Estable
Pruebas de membrana y gota	Salud del lubricante Contaminación Desgaste	Conservación de aditivos Negativo Negativo - Estable

Fuente: Los autores.

Para tener éxito en un programa de análisis de aceite se deben considerar las siguientes actividades:

- Elección de laboratorio confiable.
- Localización correcta de puntos de muestreo.
- Procedimientos de muestreo adecuados.
- Recipientes de muestreo limpios.
- Envío inmediato de muestras al laboratorio.

El tiempo de toma de muestras, envío y reporte de los resultados de los análisis de los aceites es vital para poder tomar las acciones de mantenimiento y operacionales de manera preventiva con el fin de tener un programa confiable que nos brinde información de manera oportuna.

En la actualidad el manejo de la información de los análisis de aceite se realiza mediante un sistema electrónico vía internet (On-Line), el cual pone a disposición

toda la información correspondiente a sus equipos y reportes de análisis de aceites, lo cual permite entre otros beneficios:

- Monitorear el rendimiento y desempeño de los lubricantes.
- Tomar acciones preventivas para evitar paradas no programadas.
- Generar informes gerenciales para el manejo del mantenimiento preventivo y predictivo.
- Generar órdenes de trabajo o servicio de acuerdo a las alertas presentada.

7.3.3 Objetivo 3. Para incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos y evitar el desgaste extraordinario y posibles fallas debidas al uso de aceites lubricantes de calidad inferior a los especificados por el fabricante de la máquina, es necesario establecer un programa de mantenimiento basado en condición, realizando un buen muestreo de aceite a partir de las buenas prácticas de lubricación para su posterior análisis.

El aceite lubricante en un equipo rotativo moderno tiene una variedad de funciones adicionales a la lubricación, de las cuales las más importantes son:

- Reducir la fricción.
- Impedir el contacto directo metal-metal.
- Prevención de la corrosión.
- Actuar como medio de enfriamiento.
- Mejorar la limpieza del motor.
- Actuar como un medio de sellado.

Este procedimiento tiene la intención de servir como guía para el análisis y seguimiento del aceite lubricante, con el fin de mantener la condición del aceite en niveles satisfactorios, desde el punto de vista de los motores. El deterioro de las propiedades físicas y químicas puede afectar significativamente el desempeño del

aceite lubricante respecto a las funciones listadas arriba, dando como resultado una considerable disminución en la vida útil de los componentes, incrementando el riesgo de fallas, etc., consecuencias negativas para la operación del motor.

7.3.3.1 Muestreo del lubricante. La obtención de una muestra representativa de aceite es una de las partes más importantes de un programa de análisis de aceite. Si una muestra no representa la condición verdadera del lubricante y del componente a la hora del muestreo, la confiabilidad del resultado de la prueba y de su interpretación se afecta. Los puntos descritos a continuación son relevantes para el programa de toma de muestras en laboratorio o campo:

- a. Las zonas donde el flujo del lubricante es restringido o donde los contaminantes y los productos del desgaste tienden a depositarse deben evitarse como puntos de muestreo.
- b. Los lubricantes deben ser muestreados mientras que la máquina está funcionando, si es seguro hacerlo, de lo contrario hasta 5 minutos después de la parada. Esto asegura que los productos del desgaste y los contaminantes estén mezclados con el lubricante y que las partículas más pesadas del desgaste no se hayan precipitado.
- c. Una vez que se identifiquen el punto de muestreo y el método apropiado para el muestreo, las muestras de aceite de ese motor se deben tomar siempre en ese mismo punto con el mismo método.

Para tomar la muestra, el aceite debe estar en la temperatura de funcionamiento del sistema o por lo menos a 50°C (120°F), si la temperatura de funcionamiento normal no puede ser alcanzada cuando se toma la muestra. Son recomendables los siguientes puntos de muestreo:

- La válvula del muestreo instalada por el fabricante del equipo original OEM.
- El tubo de la ballesta de nivel del aceite.
- Si es necesario tomarla del drenaje del aceite, deje salir una cantidad igual o levemente superior a 90cc para que la muestra no lleve los sedimentos del fondo.

Nunca tome la muestra del filtro de aceite, y es recomendable utilizar los elementos de seguridad EPP y la bomba vampiro con mangueras desechables.

Es recomendable tomar muestras de aceite lubricante antes de adicionar aceite nuevo al sistema (rellenos). Use tarros especialmente para este propósito, limpios y enjuague la línea de muestreo apropiadamente antes de tomar la muestra; una cantidad de muestra apropiada esta entre los 90 y 100 ml.

7.3.3.2 Tomando una muestra de aceite. Para realizar el muestreo a través del método de extracción de aceite por vacío, se requiere una bomba de vacío o vampiro; y debe tomarse donde está el líquido normalmente en movimiento, completamente mezclado, y en la temperatura de funcionamiento normal. La muestra debe ser tomada cuanto antes después de que se haya parado la máquina, y es recomendable:

- Alistar y verificar los tarros de muestreo para asegurar que estén en su empaque original (Kit Toma Muestra), secos y libres de cualquier material extraño.
- Alistar y diligenciar la etiqueta para el marcado de la muestra, antes de tomarla para evitar que se engrase.
- Identificar el punto de muestreo según el equipo.
- Antes de recolectar la muestra, permitir que al menos 100 ml de aceite fluyan a través del punto de muestreo, esto es para limpiar el conducto, posteriormente disponer este aceite apropiadamente como desecho.

- Sellar inmediatamente los recipientes herméticamente.

Nunca utilice la misma bomba de vacío para obtener muestras del aceite de motor y del líquido refrigerante. Aunque el líquido no entra en el cilindro de la bomba, un pequeño residuo del refrigerante puede contaminar la muestra del aceite de motor, indicando una “falsa alarma” por escape del líquido refrigerante en el sistema de aceite que es muestreado.

Es importante desechar la manguera y/o tubo plástico después de tomar muestras de aceite de motor, debido a la posibilidad de que el hollín y los aditivos del aceite queden depositados en el tubo y contaminen otras muestras. Cada kit se debe utilizar de manera individual. El procedimiento para tomar una muestra de aceite confiable es el siguiente:

Paso A. Complete la etiqueta de identificación de muestras. Preste especial atención a los datos:

- Nombre de la compañía.
- Producto (Nombre completo, Grado SAE)
- Fecha de toma de la muestra.
- Identificación ID del componente.
- Marca y modelo del componente.
- Kms/Horas totales de servicio del componente.
- Kms/Horas de operación del aceite en el sistema al momento de obtener la muestra.
- Indicar si el aceite fue cambiado después de que la muestra fuera tomada (Programa de Extensión).
- Indicar la cantidad de aceite adicionado (rellenos) al momento de tomar la muestra.
- Marcar la aplicación: Motor, Transmisión, Sistemas Hidráulicos, etc.

Paso B. Mida y ajuste la longitud del tubo plástico en la bomba de vacío considerando la longitud media del depósito de aceite. Haga una pequeña marca en el extremo opuesto y agregue 20cm para conectar dicho tubo a la bomba de vacío.

Paso C. Limpie perfectamente la zona donde se tomara la muestra, auxiliándose de un trapo libre de fibras.

Paso D. Asegúrese que la muestra sea representativa del sistema, es decir, tome la muestra de preferencia y cuando sea posible, con el equipo en operación. En caso de que sea imposible tomar la muestra con el equipo operando, realícelo máximo 5 minutos después de que el equipo haya sido detenido.

Paso E. Inserte el tubo a través de la parte superior de la bomba de vacío, intentando dejar 2cm aproximadamente de tubo plástico dentro de la bomba. Coloque el frasco y atornille la bomba cuidadosamente.

Paso F. Inserte el tubo dentro del conducto de la bayoneta hacia el cárter, hasta la marca realiza en el paso B. Es sumamente importante considerar que la longitud de la manguera plástica deberá ser siempre la misma, a fin de obtener las muestras a la misma altura.

Paso G. Accione la manija de la bomba para crear el vacío. Mantenga la bomba en posición vertical, si la voltea se puede contaminar con el aceite. Si le entra aceite a la bomba, desármela y límpiela antes de tomar otra muestra.

Paso H. Empuje y hale la perilla de la bomba con la finalidad de iniciar la succión y hágalo cuidadosamente para evitar derrames o que el recipiente se colapse. Continúe hasta llenar 3/4 de la capacidad del frasco. Tenga cuidado de no

sobrellenar el tarro. Mantenga la bomba en posición horizontal, para prevenir que la misma se contamine.

Paso I. Una vez alcanzado el volumen requerido, desatornille un poco el frasco sin quitar completamente el mismo, de esta forma se romperá el vacío.

Paso J. Desatornille completamente el recipiente y tápelo de inmediato para evitar la entrada de contaminantes. Regrese el excedente de aceite en el tubo al tanque o depósito, colocando la bomba hacia arriba. Retire el tubo y límpielo.

Paso K. Deseche el tubo utilizado, identifique el contenedor donde se enviara por servicio de paquetería y envíe la(s) muestra(s) al laboratorio.

7.3.3.3 Rotulado e identificación de la muestra. Para asegurar resultados precisos de la muestra, anote toda la información solicitada para cada compartimiento de la máquina. El modelo, número de serie y las unidades del medidor de servicio tanto del equipo como del aceite son muy importantes. Si es necesario, puede obtener la información sobre la clasificación, el tipo de aceite y la lectura del medidor de servicio de los registros del taller cuando efectuaron el último cambio de aceite. También es de importancia primordial indicar si cambio (o no cambio) el aceite al tomar la muestra.

Las muestras de aceite nuevo son necesarias para analizar las condiciones en que se encuentra el aceite. Al recibir aceite de una marca nueva o un envío de aceite de gran volumen, envíe una muestra indicando en la etiqueta el tipo, la marca y la clasificación del aceite. Para evitar que la etiqueta se engrase y facilitar su lectura, llénela con la información antes de tomar la muestra.

Una muestra no puede ser procesada fácilmente si el nombre del cliente, la identificación de la unidad y del componente, y la fecha de la muestra no se proporcionan.

Si una maquina en particular se ha muestreado previamente y las identificaciones de la unidad y del componente no concuerdan con los resultados, pueden llevar a decisiones erróneas o sencillamente perdida de valiosos datos.

Además de proporcionar los datos para cada muestra, es conveniente informar cualquier mantenimiento reciente, cambio en el funcionamiento normal o condiciones de funcionamiento inusuales.

Figura. 7.6 Etiqueta para rotulado de muestras de aceite.

El formulario de rotulado de muestras de aceite incluye los siguientes campos y opciones:

- 1** Cliente/Ciudad: _____
- 2** Producto: _____
- 3** Fecha Toma de Muestra: AA DD
- IDENTIFICACION DEL EQUIPO** **TOME LA MUESTRA EN CALIENTE**
- 4** Equipo: _____
- 5** Marca: _____ **6** Modelo: _____
- Periodo de servicio aceite **7** Km Horas
- Periodo de la Unidad **8** Km Horas
- Cambió Aceite **9** SI NO
- 10** Observaciones: _____

Lista de componentes con casillas de verificación:

- Motores Combustion Interna **11**
- Engranajes
- Sistemas Hidráulicos
- Turbinas
- Compresores
- Transmisiones
- Otros
- Aceite sin uso:
- Lote/Batch

N° ETIQUETA

PRECAUCIONES
 Este aceite debe ser usado en los motores de la marca y modelo especificados en esta etiqueta. No se debe usar en otros tipos de motores.
 Consulte el manual de instrucciones para más detalles de uso.

Fuente: Los Autores.

Tabla 7.6. Instrucciones de etiquetado de muestra.

No.	CAMPO	INSTRUCCIÓN
1	Cliente/ciudad	Nombre del propietario y lugar de operación.
2	Producto	Propiedad específica del aceite.
3	Fecha de toma de muestra	DD/MM/AAAA
4	Equipo	Placa, Numero Interno, etc.
5	Marca	Nombre del fabricante.
6	Modelo	Referencia del equipo según fabricante.
7	Periodo de servicio de aceite	Tiempo de servicio del aceite en Horas/Km.

8	Periodo de la unidad	Tiempo de operación del equipo en Horas/ Km.
9	Cambio aceite	Responder SI o NO para efectos de interpretación de resultados.
10	Observaciones	Registrar la cantidad de aceite empleada para cambio o reposición en Litros o Galones.
11	Aplicación	Seleccionar la aplicación a la cual corresponde la muestra

Fuente: Los Autores.

7.3.3.4 Despacho de muestras al laboratorio. Las muestras en general antes de su envío al laboratorio, deben almacenarse de forma que no se pierda la información de las etiquetas, que no se contaminen con otros elementos químicos o muestras, manteniéndolas bien tapadas y en sus condiciones de toma originales.

Las muestras de lubricante deben ser analizadas por el proveedor de aceite, en un laboratorio acreditado, de acuerdo a los estándares internacionales establecidos para tal fin y que apliquen las normas ASTM para el análisis de lubricantes.

- Realice el despacho de las muestras de acuerdo a su programa de muestreo y observe las recomendaciones establecidas en el mismo.
- Tenga en cuenta que todos los tarros toma muestras estén etiquetados de acuerdo al procedimiento descrito arriba y especificado por su proveedor de lubricante.
- Asegúrese que el nivel superior sea adecuado y que los tarros estén bien tapados. Un nivel muy alto puede derramarse por la presión, y borrar información en la etiqueta.
- Relacione las muestras de acuerdo al formato de envío (Anexo A), colocando toda la información requerida.
- Envíe por correo electrónico al laboratorio, la copia del formato con la relación ordenada de las muestras. Si diligencia una guía para el despacho de estas muestras, relaciónela en el formato descrito.

7.3.3.5 Contra-Muestras. Si se requiere, puede ser necesario tomar una muestra nueva para el análisis, esta muestra debe tomarse en el menor corto tiempo posible después de la muestra inicial, debido a que se debe ser lo más representativa posible de las condiciones del equipo en la primera muestra. Una segunda muestra se solicita por varias razones:

- Puede pedirse en un periodo más corto (por ejemplo la mitad del intervalo del cambio de aceite) para confirmar una tendencia.
- La muestra original puede ser sospechosa, puede no ser una muestra representativa, tomarse en frío o accidentalmente contaminada mientras se tomaba en el compartimiento.
- El volumen de la muestra original no fue suficiente para realizar todas las pruebas o para realizar pruebas adicionales.

7.3.3.6 El intervalo de muestreo. El análisis del aceite aporta un beneficio máximo como instrumento para el análisis de tendencias que facilita la supervisión de los equipos y de las condiciones del lubricante con el paso del tiempo. Un análisis de una secuencia de datos en función del tiempo pone de manifiesto cómo se pueden elevar al máximo la vida útil de la maquinaria y su fiabilidad y, al mismo tiempo, disminuye los costos de mantenimiento.

El análisis del aceite ofrece un beneficio máximo como instrumento de diagnóstico cuando las muestras se toman en los equipos apropiados y a los intervalos establecidos. El objetivo de la frecuencia de toma de muestras es conseguir un modelo regular de toma de muestras. De esta forma se determina una tendencia histórica verosímil del rendimiento de la máquina.

Para determinar los intervalos de toma de muestra de aceite, aplique los intervalos de toma de muestras recomendados por el fabricante (OEM). Si no cuenta con los

consejos del OEM, en las tablas siguientes puede consultar una referencia general para establecer la frecuencia inicial de toma de muestras:

Tabla 7.7. Equipos para aplicaciones fuera de carretera.

Punto de toma de muestras	Frecuencia
Motor diesel	250 horas
Motor de cubo	250 horas
Diferencial/Engranaje	500 horas
Sistema hidráulico	500 horas
Transmisión	500 horas
Transmisión final	1000 horas

Fuente: Los autores.

Tabla 7.8. Equipos para aplicaciones por carretera.

Punto de toma de muestras	Frecuencia
Motor diesel	25.000 km o 15.000 millas
Transmisión	40.000 km o 25.000 millas

Fuente: Los autores.

Como la aplicación es para equipos por carretera, se recomienda tomar muestras del aceite según el programa de muestreo de cada equipo/componente. Para tal efecto se llevarán a cabo análisis de aceite usado en periodos de 15.000, 20.000 y previo a cada cambio de aceite, es decir, cada 25.000 Km. A partir de este punto determinaremos con base en los reportes anteriores los siguientes monitoreos de manera individual para cada equipo.

Tabla 7.9. Maquinaria industrial o de Planta.

Punto de toma de muestras	Frecuencia
Motor de biogás	250 horas
Motor de generador	500 horas
Motor de gas natural	500 horas
Sistema de lubricación de papelera	Mensual
Turbina	Mensual
Compresor	3 meses
Transmisión	3 meses
Sistema hidráulico	3 meses

Fuente: Los autores.

Como parte de una propuesta de valor y ahorros tangible “Lubricación basada en Confiabilidad” se puede implementar pruebas de rendimiento con lubricante de motor, realizando pruebas piloto en la flota de camiones con diferentes tipos y marcas de motores, incrementando el periodo recomendado de 25.000 a 30.000 Km con protección extendida.

7.3.3.7 Interpretación de los resultados del análisis de aceite. Una vez recibido el reporte de análisis de aceite, los usuarios del mismo deberán seguir las recomendaciones y tomar las acciones necesarias para cada muestra, por supuesto entendiendo las condiciones de operación y mantenimiento específicas para cada caso. Esta puede incluir la necesidad de parar inmediatamente la máquina, mantener bajo monitoreo permanente o inclusive de reparar. Para esto es necesario mantenerse en contacto permanente con las personas que toman las decisiones, comunicando oportunamente sin crear “alarmismo”, pero a la vez

siendo diligente en la implementación de las acciones preventivas de una posible falla o parada no programada.

Tenga en cuenta que los tres factores que afectan el contenido de una muestra de aceite son:

- El tipo y condición del aceite lubricante,
- La contaminación de origen exterior e interior y
- Las partículas de desgaste, resultantes de las partes en contacto.

Estos mismos factores están afectados por los procedimientos de mantenimiento como intervalos de cambio de aceite y filtros, mantenimiento del sistema de enfriamiento, ajustes periódicos, inspecciones, aplicación del equipo y procedimientos de operación, entre otras.

En la interpretación se toman los siguientes puntos en consideración cuando se evalúa la concentración de metales de desgaste expresada en PPM (Partes Por Millón):

El número de horas de servicio del aceite desde el último cambio. Esto es absolutamente crítico para una interpretación precisa de los resultados. Las lecturas primero deben ser normalizadas al intervalo de cambio de aceite estándar, antes de que pueda hacerse la comparación de la tendencia de desgaste. Por esta razón, es muy importante que se suministre la información exacta del tiempo de servicio del aceite en la etiqueta con la muestra.

Las horas totales de operación del equipo, tiempo del componente, reparaciones totales o parciales, todos estos afectan los resultados de los elementos de desgaste. Es necesario suministrar la información correcta del total

de Kilómetros/Horas de operación del equipo/componente contenido en la etiqueta con la muestra.

Evidencia de contaminación. La presencia de combustible, agua, refrigerante o tierra tienen un efecto abrasivo directo, causando que las lecturas de los elementos de desgaste se eleven.

La condición del aceite. Esta revela si el aceite está perdiendo sus propiedades de lubricante. La degradación del aceite puede conducir a un incremento de las lecturas de metales de desgaste.

Historia del producto para determinar si cualquier problema patrón se ha desarrollado en un modelo específico de equipo o componente.

Evaluación de las prácticas de operación, aplicación, prácticas de mantenimiento, etc. Además, la interpretación implica el análisis de la **tendencia de todos los elementos para ver cómo están relacionados unos con otros.**

A continuación se enumeran algunos de los elementos que se pueden observar en un reporte de análisis de aceite y sus fuentes típicas:

Baja Viscosidad del aceite. Rellenado inicial o dilución con aceite de más baja viscosidad, combustible o solvente, ruptura térmica del aceite, muestra o rotulado errado.

Alta viscosidad del aceite. Contaminación o uso de un aceite de mayor viscosidad, hollín excesivo o aceite con alto grado de oxidación, polimerización, óxidos insolubles, pérdidas por evaporación, muestra o rotulado errado.

Alto índice de dilución por combustible. Indica excesiva contaminación del aceite de motor con combustible, perdiendo sus capacidades de lubricante.

Punto de chispa bajo. El punto de destello está debajo del límite más bajo, posible contaminación con combustible ligero.

Dilución con combustible. Inyectores defectuosos; bomba, sellos o actuadores con escape, líneas de combustible en mal estado, alta presión de la bomba, ventilación pobre del cárter del motor, sincronización y calibración del motor errónea. La fuente de la contaminación del combustible debe ser detectada y reparada.

Glicol. Fugas de glicol y/o líquido refrigerante a través de los sellos, enfriador de aceite agrietado, culata de motor o compresor agrietada o deformada, contaminación exterior.

Agua excesiva. Fugas por los sellos del sistema de enfriamiento, condensación debida a temperaturas de operación baja, ralentí prolongado o ventilación pobre del cárter del motor, contaminación exterior del agua.

Alta oxidación. Servicio sobre-extendido del aceite, nivel de aceite bajo, altas temperaturas de operación del motor y/o aceite, blow by, altas temperaturas en la admisión de aire, pobre ignición y/o combustión, alto contenido de hollín, escape de gases del cilindro, del anillo o del pistón, enfriador de aceite obstruido, falla en obturadores o termostatos, altas temperaturas o retención de calor después de la parada, muestra o rotulo errados, mezcla de productos.

Excesivo nivel de insolubles. Alto nivel de sustancias insolubles que representan la formación de depósitos como lacas, barnices y lodos, relacionados

con la degradación del aceite, eficiencia de los filtros y saturación de la capacidad dispersante. Posible vida de servicio excesiva.

Alto índice de hollín. Combustión pobre, excesivo escape de gases del cilindro, filtración/purificación pobre o ineficaz, baja compresión en la cámara de combustión, admisión de aire restringido, calibración en la inyección errónea, inyectores o válvulas de la bomba de inyección en mal estado, operación inapropiada del equipo, baja calidad del combustible, anillos desgastados o atorados, intervalos de cambio de aceite muy extendido.

TBN Bajo. Combustión pobre, escape de gases del cilindro excesivo, índice bajo del aceite de reposición, dilución con un aceite más bajo de TBN, alto contenido de agua, temperaturas de operación demasiado bajas, servicio sobre-extendido del aceite, combustible con alto contenido de azufre, blow by anormal, uso de lubricante incorrecto.

TBN Alto. Contaminación externa o contaminación con aceites de TBN más alto.

Elevado TAN. Alta temperatura del aceite, puntos calientes localizados, servicio extendido del aceite, contaminación con otro producto, contaminación por agua derivada de la hidrólisis del aceite a base de ésteres, agotamiento de los aditivos.

Elevado Índice de Partículas Magnéticas. Causado por la acumulación normal o el desgaste excesivo, contaminación en el rellenado anterior y/o por las reparaciones (como soldadura, sand-blasting, etc.), demasiada vida extendida del aceite, desgaste normal de un equipo nuevo. Una ferrografía adicional será requerida por el nivel de partículas magnéticas dependiendo del equipo.

Elevado Metal de Desgaste. Desgaste excesivo de los cojinetes, engranes, ejes, bujes, anillos, pistones, camisas, etc. Condición potencialmente seria.

Alto Nivel de Hierro (Fe). Desgaste de componentes de la máquina, contacto metal-metal, corrosión, contaminación abrasiva, desgaste de camisas de cilindros, anillos, engranajes, cigüeñal, árbol de levas, válvulas.

Tabla 7.10. Pruebas Fisicoquímicas a Equipos.

ANALISIS	BAJO	ELEVADO
VISCOSIDAD	Dilución con Combustible, Rellenos A.B.V	Oxidación Aceite, Hollín, Rellenos A.A.V
AGUA		Fugas Sist. Refrigeración, Cont. Externa, Baja Temp. Operación del Motor, Ventilación Inadecuada Carter
OXIDACION		Alta Temperatura del Aceite o del Agua de Refrig. Termostato Defectuoso, Pre-Ignición, Sobrecarga, Líquido Refrigerante Defectuoso, Depositos Camisas
HOLLIN		Problemas Combustión, Calidad Combustible, Diseño de Motor
DILUCION CON COMBUSTIBLE		Problemas de Inyección, Afinamiento Defectuoso, Filtro de Aire Destruído, Operación en Vacío a A.R.
TBN	Tendencia Oxidación del Aceite, Elevado Contenido Azufre en la Combustión	

Fuente: Los Autores.

Alto Nivel de Cobre (Cu). Desgaste de componentes de la máquina, contacto metal-metal, corrosión, contaminación abrasiva, desgaste de cojinetes, collarines, engranajes, enfriadores de aceite, bomba de aceite. Posible presencia de aditivo anti desgaste.

Alto Nivel de Cromo (Cr). Desgaste de componentes de la máquina, contacto metal-metal, corrosión, contaminación abrasiva, desgaste de cojinetes, anillos, rodamientos, engranajes, pistones, válvulas.

Alto Nivel de Plomo (Pb). Desgaste de componentes de la máquina, contacto metal-metal, corrosión, contaminación abrasiva, desgaste de cojinetes o engranajes. Posible presencia de aditivo.

Alto Nivel de Estaño (Sn). Desgaste de componentes de la máquina, contacto metal-metal, corrosión, contaminación abrasiva, desgaste posible de cojinetes, babbit, rodamiento, bujes, soldadura estaño-plomo.

Alto Nivel de Aluminio (Al). Este puede ser crítico. Desgaste de cojinetes, pistones, bombas, contacto metal-metal, corrosión, contaminación abrasiva, contaminación electroquímica (por aire de enfriamiento), contaminación del catalizador de combustible cuando también se presente alto nivel de silicio.

Alto Nivel de Silicio (Si). Suciedad abrasiva exterior, purificación y/o filtración ineficaces, sellos defectuosos de los filtros de aire, altos niveles de metales de desgaste, uso de silicona detergente compuesto de las juntas de silicona, muestreo incorrecto.

Si el Aluminio, el Vanadio y el Níquel son altos también, contaminación posible con las partículas abrasivas del catalizador de combustible residual.

Cuando el valor del Silicio excede la gama normal y cuando los metales de desgaste son bajos, es probable que el Silicio sea no abrasivo (detergentes) o de compuestos de sellos o juntas. Cuando los metales de desgaste son altos, o con tendencia a aumentar, el Silicio podría estar en una forma abrasiva (arena).

Alto Nivel de Sodio (Na). Contaminación de agua de enfriamiento, sales. Posible presencia de aditivos.

Alto Nivel de Magnesio (Mg). Agua dura, detergentes o dispersantes.

Alto Nivel de Vanadio (V). Contaminación con combustible, escape de productos pesados de la combustión, fugas de bombas o inyectores.

Alto Nivel de Níquel (Ni). Contaminación con combustible, escape de productos pesados de la combustión, contaminación por fugas de bombas o inyectores.

Alto Nivel de Zinc (Zn). Perdida del revestido anódico de contenedores o tubería galvanizados, contaminación con aditivos.

Alto Nivel de Potasio (K). Contaminación por el agua de enfriamiento.

Alto Nivel de Boro (B). Contaminación de los productos químicos del agua de enfriamiento, aditivo de aceites lubricantes.

Tabla 7.11. Pruebas a Equipos.

PRUEBAS A EQUIPOS		
METAL	SIMBOLO	POSIBLE FUENTE DEL METAL
HIERRO	Fe	Camisa, Engranajes, Elevadores, Anillos
COBRE	Cu	Cojinetes, Bujes, Arandelas
PLOMO	Pb	Cojinetes, Rodamientos, Arandelas
CROMO	Cr	Anillos, Levas, Impulsadores
ALUMINIO	Al	Pistones, Cojinetes
SILICE	Si	Polvo, Aditivo Antiespumante
ESTAÑO	Sn	Rodamientos
SODIO	Na	Refrigerante, Sal, Posible Aditivo
POTASIO	K	Refrigerante

Fuente: Los Autores.

Aceite Turbio. Agua emulsionada y/o sedimento suspendido incluyendo los metales de desgaste debido a la salida de agua y/o a falla del emulsificador.

Aceite Oscuro. Los cambios del color no son significativos a menos que otros datos indiquen un problema.

Sedimentos. El aceite no debe contener ningún sedimento. Si la muestra fue tomada de áreas como el fondo del cárter contienen sedimentación localizada, filtro o centrifuga inadecuado u obstruido, alta oxidación.

Residuo Alto de Carbón. Esto podría ser debido a desgaste o fatiga térmica del producto después de la exposición a exceso de calor, falla en el sistema recirculante, retención de calor después de la parada.

Es importante, que si al recibir los resultados de análisis de aceite de su equipo, observa cambios o desviaciones severos en la tendencia normal de desgaste para uno o varios de los elementos en particular, informe a las personas encargadas de tomar las decisiones en su empresa, ellos poseen las herramientas para orientarlo. Una falla mayor puede estar en proceso.

En el anexo B encontrara una guía para el diagnóstico e interpretación de los resultados de análisis de aceite para motores y una guía para determinar el origen de los metales de desgaste.

7.3.3.8 Alarmas y/o Parámetros de condenabilidad. Se recomienda consultar los límites condenatorios definidos para los principales equipos de cada empresa. Tenga en cuenta que los límites de atención indican que hay que tomar una acción inmediata para evitar una posible falla del equipo/componente reportado. En el anexo C encontrara una guía general de límites condenatorios para motores diesel, transmisiones y engranajes automotrices.

7.3.3.9 La tendencia. Es un método confiable y certero en la interpretación de los resultados de las pruebas. Esta consiste en comparar los resultados de un equipo con las tablas generales de desgaste ideal por cada elemento, con el fin de establecer una línea de tendencia de desgaste real del equipo o componente. Para esto es necesario contar con más de tres muestras de un mismo equipo y

componente para establecer su tendencia de desgaste. Cuando se observan cambios o desviaciones abruptas o severas en las líneas de tendencia, estos no indican que hay problemas. Cambios o desviaciones menos severas, indican que hubo permutaciones en la operación o el mantenimiento del equipo y que inclusive pueden estar contribuyendo a un desgaste prematuro de la máquina.

Una vez se tengan más de tres muestras por equipo y/o componente, es necesario elaborar un reporte concluyente con la información obtenida de los análisis de aceite usado, mostrando la tendencia de operación del aceite en el motor y se considerará exitosa la prueba, si los parámetros como viscosidad, desgaste metálico, contaminantes y otras propiedades físico-químicas de los fluidos se encuentran dentro de los límites aceptados por el fabricante OEM (Fabricante de Equipo Original, por sus siglas en Inglés).

7.4 ENTREGA DE RESULTADOS

Se entrega la elaboración del plan de mantenimiento basado en condición para la flota vehicular de mezcladoras de concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados, en medio magnético. Adicionalmente se hará una sustentación pública del proyecto.

8. FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

8.1 FUENTES PRIMARIAS

Las fuentes de información primarias se obtendrán de la observación directa, manuales del fabricante y aplicación de la metodología de análisis de lubricantes.

8.2 FUENTES SECUNDARIAS

Las fuentes de información secundarias se obtendrán de libros, tesis, consultas en internet, información suministrada por el personal de mantenimiento y producción de las empresas del sector del concreto y documentos referentes al tema.

9. COSTOS DEL PROYECTO

En este capítulo se presenta la relación de gastos y costos incurridos, para alcanzar los objetivos planteados en la investigación. Se señalan en primer lugar las tablas de gastos globales; luego se describen los gastos discriminados en gastos de personal, en equipos, en viajes, en papelería y en software, y finalmente se presentan los resultados obtenidos al calcular la tasa interna de retorno del proyecto.

Tabla N°9.1. Gastos Globales.

GASTOS GLOBALES			
RUBRO	FUENTE		TOTAL
	ECCI	CONTRAPARTIDA	
Personal	\$ 2.500.000,00	\$ 13.700.000,00	\$ 16.200.000,00
Equipos	\$ -	\$ 4.250.000,00	\$ 4.250.000,00
Viajes	\$ -	\$ 6.500.000,00	\$ 6.500.000,00
Papelería	\$ -	\$ 212.000,00	\$ 212.000,00
Software	\$ 600.000,00	\$ 600.000,00	\$ 1.200.000,00
Imprevistos (10%)	\$ 310.000,00	\$ 2.526.200,00	\$ 2.836.200,00
TOTALES	\$ 3.410.000,00	\$ 27.788.200,00	\$ 31.198.200,00

Fuente: Los Autores. Adaptado de Colciencias.

Tabla N°9.2. Gastos de Personal.

GASTOS DE PERSONAL							
NOMBRE DEL INVESTIGADOR	GRADO	FUNCIÓN	HORAS POR SEMANA	TOTAL HORAS PROYECTO	FUENTE		TOTAL
					ECCI	CONTRAPARTIDA	
Nelson Dario Rojas	Especialista/Ingeniero	Asesor Académico	2	100	\$ 2.500.000,00		\$ 2.500.000,00
Andrés Gutiérrez	Ingeniero	Investigador	3	250	-	\$ 5.600.000,00	\$ 5.600.000,00
Holman Bocanegra	Ingeniero	Investigador - Digitador	3	250	-	\$ 5.600.000,00	\$ 5.600.000,00
Jose Mojica	Especialista/Ingeniero	Asesor en Lubricación	2	100	-	\$ 2.500.000,00	\$ 2.500.000,00
		TOTAL	10	700	\$ 2.500.000,00	\$ 13.700.000,00	\$ 16.200.000,00

Fuente: Los Autores. Adaptado de Colciencias.

Tabla N°9.3. Gastos de Equipos.

GASTOS DE EQUIPOS							
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MODELO	MARCA	USO	FUENTE		TOTAL
					ECCI	CONTRAPARTIDA	
2	Portátil	ASUS TF101	ASUS	Diagramación	-	\$ 3.600.000,00	\$ 3.600.000,00
1	Escritorio	Genérico	-	Digitación - Diseño	-	\$ 300.000,00	\$ 300.000,00
1	Impresora	Lexmark X1185	LEXMARK	Impresión	-	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00
1	Cámara Digital	N85	SONY	Desarrollo del Proyecto	-	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
				TOTAL	\$ -	\$ 4.250.000,00	\$ 4.250.000,00

Fuente: Los Autores. Adaptado de Colciencias.

Tabla N°9.4. Gastos en Viajes.

GASTOS EN VIAJES					
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	USO	FUENTE		TOTAL
			ECCI	CONTRAPARTIDA	
10	Visitas a Plantas de Concreto	Proyectistas	\$ -	\$ 1.500.000,00	\$ 1.500.000,00
1	Combustible	Automóvil	\$ -	\$ 3.000.000,00	\$ 3.000.000,00
1	Transporte Urbano	Desplazamiento	\$ -	\$ 1.000.000,00	\$ 1.000.000,00
1	Viáticos	Salidas fuera del Casco Urbano	\$ -	\$ 1.000.000,00	\$ 1.000.000,00
TOTALES			\$ -	\$ 6.500.000,00	\$ 6.500.000,00

Fuente: Los Autores. Adaptado de Colciencias.

Tabla N°9.5. Gastos en Papelería.

GASTOS EN PAPELERÍA					
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	USO	FUENTE		TOTAL
			ECCI	CONTRAPARTIDA	
4	Resma de Papel	Impresiones	\$ -	\$ 80.000,00	\$ 80.000,00
4	Bolígrafos	Registros	\$ -	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
4	Lápiz	Registros	\$ -	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
10	CD	Registros Digitales	\$ -	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
10	DVD	Registros Digitales	\$ -	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00
1	Cosedora	Informes	\$ -	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
1	Perforadora	Informes	\$ -	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
2	Cartuchos Impresora	Impresiones	\$ -	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
TOTAL			\$ -	\$ 212.000,00	\$ 212.000,00

Fuente: Los Autores. Adaptado de Colciencias.

Tabla N°9.6. Gastos en Software.

GASTOS EN SOFTWARE					
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	USO	FUENTE		TOTAL
			ECCI	CONTRAPARTIDA	
2	Licencia Office	Desarrollo de Informes	\$ -	\$ 600.000,00	\$ 600.000,00
2	Licencia Windows	Desarrollo de Informes	\$ 600.000,00	\$ -	\$ 600.000,00
TOTAL			\$ 600.000,00	\$ 600.000,00	\$ 1.200.000,00

Fuente: Los Autores. Adaptado de Colciencias.

Para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (ROI) del proyecto, es necesario ejecutar un análisis del costo de ciclo de vida del proyecto. El Costo de Ciclo de Vida se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CCV = CI + N*(CO+CM+CP)$$

Dónde:

(CCV) es el Costo de Ciclo de Vida;

(CI) es el Costo de Inversión;

(CO) es el Costo de Operación;

(CM) es el Costo de Mantenimiento;

(CP) es el Costo de Parada;

(N) es el Factor de Valor Actual.

El Costo de Parada, que se expresa por la ecuación:

$$CP = NP \times TMP \times CPP$$

Donde, (NP) es la Frecuencia de Paradas, (TMP) es el Tiempo Medio de Paradas, (CPP) es el Costo Perdido de Producción por hora y (N) es el Factor de Valor Actual, el cual se calcula de la siguiente forma, Siendo (r) la tasa de interés y (n) el número de años considerado:

$$N = \frac{(1+r)^n - 1}{r \times (1+r)^n}$$

El Costo de Inversión incluye costos tales como máquinas, instalaciones, herramientas, equipos, documentos y entrenamiento entre otros. Los costos de inversión del activo que se consideraron para el análisis, fueron:

Tabla 9.7. Valor del proyecto.

VALOR DEL PROYECTO	
Valor	\$ 31.198.200,00
IVA	16%
Valor Total	\$ 36.189.912,00

Fuente: Los Autores.

La disposición para la ejecución del proyecto según los autores son de 4 horas diarias durante 26 días al mes, por lo tanto, la vida útil del proyecto es de 7 años, 2 meses y 12 días.

Tabla 9.8. Vida útil del proyecto.

Valor de Reposición a Nuevo (VRN)	\$ 31.198.200,00
Vida Útil (horas-año)	8760
Utilización (horas-año)	1248
Vida Útil (Años)	7,02

Fuente: Los Autores.

Las tasas de interés que se tomaron en cuenta fueron las siguientes:

Tabla 9.9. Intereses sobre la inversión.

Interés	12,50%	\$ 3.899.775,00
Seguros	2%	\$ 623.964,00
Impuestos	1%	\$ 311.982,00
TTA	15,5%	\$ 4.835.721,00

Fuente: Los Autores.

El costo de inversión del proyecto por hora es:

COSTO DE INVERSION (HORA)	\$ 2.284,80
----------------------------------	-------------

El costo total de inversión del activo es:

COSTO DE INVERSION	\$ 20.014.845,23
---------------------------	------------------

El Costo de Operación incluye personal, energía, materiales e insumos, transporte, entrenamiento del personal y calidad. Los costos de operación del proyecto son:

Tabla 9.10. Costos de Operación.

CONCEPTO	PROMEDIO	TOTAL
Salario Técnico	\$ 211.250,00	\$ 2.535.000,00
Dotación	\$ 42.854,50	\$ 514.254,00
Teléfono Celular	\$ 20.000,00	\$ 240.000,00
Administrativos	\$ 27.410,45	\$ 328.925,40
TOTAL	\$ 301.514,95	\$ 3.618.179,40

Fuente: Los Autores.

El Costo de Mantenimiento incluye los costos de los materiales y recursos, que garanticen el sostenimiento del proyecto. Los costos de mantenimiento del proyecto por año que se asumieron fueron los siguientes:

Tabla 9.11. Costos de Mantenimiento.

CONCEPTO	TOTAL
ANALISIS MUESTRAS EN LABORATORIO	\$ 2.400.000,00
HERRAMIENTAS PARA TOMA DE MUESTRAS	\$ 1.200.000,00
COSTO DE MANTENIMIENTO (AÑO)	\$ 3.600.000,00

Fuente: Los Autores.

La Frecuencia de Paradas (NP), el Tiempo Medio de Paradas (TMP), y el Costo Perdido de Producción por hora (CPP) para el cálculo de los costos de parada de los equipos para la toma de las muestras son:

FRECUENCIA DE PARADAS X EQUIPO	0,58
TIEMPO MEDIO DE PARADA X EQUIPO (HORAS)	0,29
COSTO PERDIDO DE PRODUCCION (HORA)	\$ 85.000,00
COSTO DE PARADA X EQUIPO (MES)	\$ 14.461,81
COSTO DE PARADA X EQUIPO (AÑO)	\$ 173.541,67
COSTO DE PARADA TOTAL (AÑO)	\$ 7.809.375,00

Para el cálculo del factor de valor actual se asumió una inflación del 4% y una vida útil de 7 años, por lo tanto, el costo del ciclo de vida del proyecto es:

Tabla 9.12. Análisis del costo del ciclo de vida del proyecto.

ANÁLISIS DEL COSTO DE CICLO DE VIDA	Año 7
COSTO DE INVERSIÓN	\$ 20.014.845,23
INFLACION	4%
AÑOS CONSIDERADOS	7,00
FACTOR DE VALOR ACTUAL N	6,0
COSTO DE OPERACIÓN	\$ 3.618.179,40
COSTO DE MANTENIMIENTO	\$ 3.600.000,00
COSTO DE PARADA	\$ 7.809.375,00
COSTO DEL CICLO DE VIDA	\$ 110.211.048,30

Fuente: Los Autores.

Los ingresos del ciclo de vida del proyecto corresponden a los ahorros generados durante la ejecución del mismo, debido a que el proyecto se enfoca a realizar los cambios de aceite o mantenimientos preventivos, según la condición del lubricante utilizado, ampliando la frecuencia de cambio de aceite de motor de 25.000 Km a 30.000 Km.

Tabla 9.13. Ingresos del ciclo de vida del proyecto.

Año	Costo Total Actual	Costo Total CBM	Ahorro o Ingresos
1	\$ 120.687.750,00	\$ 100.573.125,00	\$ 20.114.625,00
2	\$ 138.350.250,00	\$ 115.291.875,00	\$ 23.058.375,00
3	\$ 120.687.750,00	\$ 100.573.125,00	\$ 20.114.625,00
4	\$ 138.350.250,00	\$ 115.291.875,00	\$ 23.058.375,00
5	\$ 120.687.750,00	\$ 100.573.125,00	\$ 20.114.625,00
6	\$ 138.350.250,00	\$ 115.291.875,00	\$ 23.058.375,00
7	\$ 120.687.750,00	\$ 100.573.125,00	\$ 20.114.625,00
Total	\$ 897.801.750,00	\$ 748.168.125,00	\$ 149.633.625,00

Fuente: Los Autores.

El beneficio del ciclo de vida del proyecto resulta, de la sustracción entre los ingresos y los costos del ciclo de vida del proyecto, lo que corresponde a:

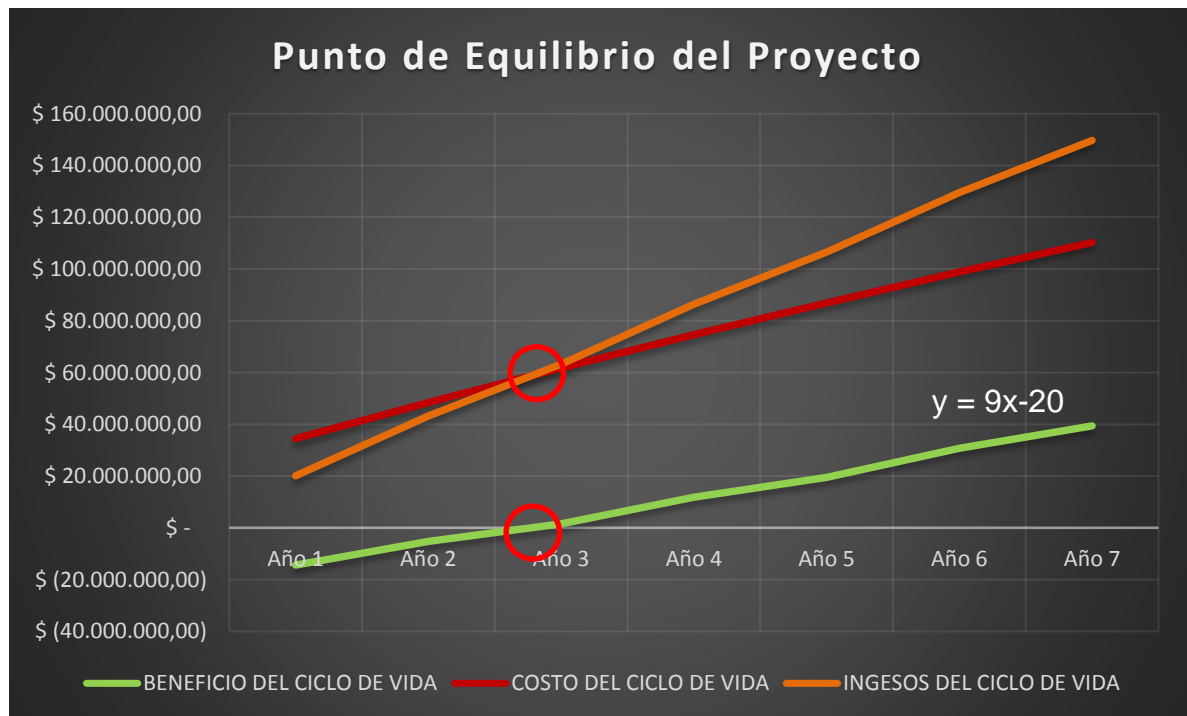
BENEFICIO DEL CICLO DE VIDA	\$ 39.422.576,70
------------------------------------	-------------------------

El retorno sobre la inversión es una razón financiera que compara el beneficio o la utilidad obtenida en relación a la inversión realizada, es decir, representa una herramienta para analizar el rendimiento que el proyecto tiene desde el punto de vista financiero.

ROA	126,36%
------------	----------------

Como se observa, el retorno sobre la inversión es del 126,36%, es decir, por cada peso que se invierte, se recupera la inversión y se ganan 26 pesos, por lo cual el proyecto es factible. La inversión realizada en el proyecto se recupera a los 2 años, 2 meses y 20 días, después de iniciado el proyecto.

Figura 9.1 Punto de Equilibrio y Recuperación de la Inversión del Proyecto.



Fuente: Los Autores.

10. TALENTO HUMANO

La elaboración del plan de mantenimiento basado en condición para la flota vehicular de mezcladoras de concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados, servirá como fuente de información y consultas para otros proyectos del mismo nivel o para cualquier persona o empresa que esté interesada en ejecutar proyectos de mantenimiento basado en condición, a través de análisis de lubricantes, específicamente en flotas vehiculares.

Adicionalmente, el personal de los departamentos de mantenimiento obtendrá una capacitación para lograr una correcta implementación del plan de mantenimiento basado en condición, dando a conocer puntos claves para el desarrollo de la mejor estrategia en el plan de mantenimiento.

10.1 RECURSOS FÍSICOS

Los recursos físicos requeridos para la elaboración del presente proyecto, así como para llevar a cabo la elaboración del plan de mantenimiento basado en condición para la flota vehicular de mezcladoras de concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados, son los siguientes:

- Dos (02) Equipos portátiles de procesamiento de datos (computadores)
- Impresora.
- Software de procesamiento de datos.
- Datos estadísticos.
- Papelería como bolígrafos, libretas, papel, CD's, memorias USB y libros.

CONCLUSIONES

- La recopilación de la información de los activos, permitió recabar datos, como las frecuencias de cambio de lubricante, tipo de lubricante, tipo de filtración, los cuales fueron de gran utilidad para realizar el diagnóstico acertado de la condición de los equipos vehiculares.
- La herramienta seleccionada, para realizar el mantenimiento basado en condición, fue el Análisis de Lubricantes, ya que posee gran capacidad para detectar los síntomas previos a la ocurrencia de las fallas; y para complementar el diagnóstico se aplicó una inspección multimodal.
- Con el diagnóstico inicial de los sistemas de los vehículos en estudio, se identificó que algunos de los componentes que los integran, presentan anomalías de diversos tipos.
- El plan de mantenimiento que se diseñó en este estudio, contemplo aspectos claves como los puntos, rutas y frecuencias de inspección, programas de actividades, necesarios para la recolección y análisis de los datos fundamentales al momento de obtener un diagnóstico acertado de la condición de los equipos.
- Con la elaboración del plan de mantenimiento basado en condición, se logrará detectar un significativo número de problemas en los activos en estudio, que, de no ser captados y corregidos a tiempo, pueden originar la ocurrencia de fallas catastróficas.
- A través del programa de mantenimiento diseñado, será posible mejorar la efectividad, siempre y cuando se tomen en cuenta las acciones recomendadas,

debido a que está orientado a disminuir las horas por paradas imprevistas de los activos.

- La utilización de las técnicas de análisis de aceite permiten corregir problemas a nivel incipiente atacando el problema en su génesis, reduciendo considerablemente los daños que de otra manera sería difícil evitar y rediseñar el programa de mantenimiento preventivo.

- Se encuentra que esta metodología resulta en general beneficiosa para empresas que dispongan de equipos que utilizan fluidos lubricantes, refrigerantes y/o transmisores de energía, sujetos a desgaste y contaminación como motores, cajas de engranajes, compresores y sistemas hidráulicos.

RECOMENDACIONES

- Continuar con la implementación del plan de mantenimiento diseñado, a fin de mejorar la efectividad de los activos vehiculares, para poder alcanzar los niveles de producción esperados.
- Implementar un programa de inspección y análisis de lubricantes para otros componentes y así complementar el monitoreo dinámico y auditar el esencial proceso de la lubricación, como parte fundamental, a fin de incrementar la efectividad de los activos.
- Se debe establecer la programación de la lubricación, basada en la condición de los equipos y progresivamente eliminar la lubricación basada en horas.
- El análisis de aceite no es un fin en sí. Solamente vale cuando los resultados son bien explicados en forma útil para los operarios. Los términos usados y las recomendaciones tienen que ser accionables. El analista tiene que estar disponible para discutir los resultados y ofrecer sugerencias personalizadas.
- Los objetivos de mantenimiento tienen que ser locales. Tienen que iniciarse con el gerente o jefe de mantenimiento de la empresa local, después de evaluar las posibilidades y los benchmarks posibles con un consultor o experto con experiencias en otras empresas similares.
- Los resultados deberían ser presentados en relación a objetivos. El análisis de aceite no es barato. Un análisis hecho y enviado con números fríos, basados en tablas “normales” o “límites condenatorios” solo vale si Usted es un experto en analizar la información y tiene miles de análisis de equipos similares para hacer la comparación y entender las causas probables de estas fallas.

ANEXOS

ANEXO B

GUÍA PARA EL DIAGNÓSTICO/INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ACEITE PARA MOTORES

Checklist Diagnostico de falla en Motores.			
Resultado	Causa Primaria	Factores Especificos	Origen
Incremento de la Viscosidad	Contaminación	Hollín Agua	Insolubles. Agua.
	Oxidación y/o Nitración	Altas Temperaturas de Operación	Intervalos drenaje extendidos Mala sincronización Problemas de Inyección Sistema de refrigeración Refrigerante inadecuado Mala operación del motor
	Uso de productos de mayor viscosidad	Mala aplicación	Viscosidad Inadecuada Producto inadecuado
Pérdida de Viscosidad	Uso de productos de menor viscosidad	Mala aplicación	Viscosidad inadecuada Producto Inadecuado
	Dilución con combustible	Mezcla rica Combustion Incompleta Problemas en accesorios línea de combustible	Problemas sistema de inyección Restricción retorno fuels. Problemas de inyección Problema mecanico (anillos, valvulas) Restricción suministro aire Restricción exhosto Problemas mecanicos Vibraciones Diafragma bomba de fuels
Baja reserva alcalina-TBN	Contaminación ácido sulfurico	TBN inadecuado Excessive blow by	Alto contenido azufre en Fuels Intervalo de drenaje inadecuado Combustion incompleta Condiciones mecanicas motor
	Oxidación del aceite	Altas temperaturas Opr. Intervalos drenaje extendido	Sistema de refrigeración Refrigerante inadecuado Mala operación motor Malas practicas de Manto
Metales de desgaste	Contaminantes externos Desgaste del motor	Metales de desgaste	Ver tabla origen de metales
Altos insolubles Tolueno-Pentano=Oxidación	Hollín.	Mala sincronización Problemas de inyección Desgaste mecanico	Mezcla rica/ restricción entrada aire Calibración de inyectores Problemas mecanicos (anillos, valvulas)
	Oxidación Nitración	Altas temp. de operación Intervalos drenaje extendido	Condiciones mecanicas Operación inadecuada Malas practicas de Manto
	Silicio	Filtros de aire	Malas practicas de Manto
	Metales de desgaste	Desgaste, corrosión o falla de componentes	Ver tabla origen de metales
Análisis de Infrarrojo	Oxidación	Altas temp. de operación	Mala sincronización Sistema de refrigeración refrigerante inadecuado Intervalo de drenaje extendido Mala operación del motor
Agua	Condensación	Bajas temp.de operación Arranque en frio	Sistema de refrigeración. refrigerante inadecuado ventilación inadecuada del motor mala operación(distancias cortas)
	Refrigerante	Bloque agrietado Empaques defectuosos	Refrigerante inadecuado Calibración del termostato Sellos defectuosos torque inadecuado cabeza cilindro

GUÍA PARA DETERMINAR EL ORIGEN DE LOS METALES EN LOS ANÁLISIS DE ACEITE PARA MOTORES

Origen de Metales (Spectrografia)	
Aluminio (Al)	Pistones Cojinetes Bujes Cilindros Componentes (algunos)
Hierro (Fe)	Anillos Cilindros Valvulas Engranajes Cojinetes tren de valvulas
Plata (Ag)	Cojinetes(motores EMD)
Molibdeno (Mo)	Anillos Tuberias Aditivos externos
Zinc (Zn)	Aditivos del aceite
Calcio (Ca)	Aditivos del aceite Particulas externas (sucio)
Sodio (Na)	Aditivos del aceite Agua de mar
Cobre (Cu)	Cojinetes Bujes Malla filtros de aire Cremalleras Enfriadores Guias de valvulas (algunos Motores) Carcaza de Inyectores (algunos)
Cromo (Cr)	Anillos Cilindros Balancines Cigüeñal Arbol de levas platinas Cojinetes (algunos Motores)
Estaño (Sn)	Pistones de aleacion (Cu-Sn) Bujes, soldaduras de estaño-plomo Cojinetes (algunos Motores)
Plomo (Pb)	Cojinetes, soldaduras. combustibles con plomo
Nickel (Ni)	Cigüeñal Arbol de levas
Silicio (Si)	Polvo, arena, sucio Aditivos externos
Magnesio (Mg)	Aditivos del aceite

ANEXO C

ALARMAS Y/O LIMITES CONDENATORIOS GENERALES PARA MOTORES DIESEL

EQUIPOS DIESEL		Laboratorio SGS	
Análisis	Metodo	ALERTA	CRITICO
Viscosidad a 40°C, % incremento máx.	D-445	120	137
Viscosidad a 40°C, % disminución máx.	D-445	88	73
Viscosidad a 100°C, % incremento máx.	D-445	16,3	18,3
Viscosidad a 100°C, % disminución máx.	D-445	12,5	11
Dilución con combustible, Vol%, máx.	D-92	3,5%	5%
Metales de Desgaste, ppm, máx (4)			
Aluminio		12	15
Cromo		12	15
Cobre		18	20*
Hierro		75	84
Plomo		85	100
Silicio		12	15
Sodio		18	20
Estaño		18	20
Boro		20	25
Agua, Vol%, máx.	D-92	0,15	0,20
Glicol, Vol%, máx.			
Hollin, %	E-2412	4,0%	5,0%
TBN (Numero básico total), mínimo %	D-2896	5	4
TAN (Numero ácido total)	D-664	3	4
a 5.8 micrones (oxidación)	E-2412	25	30
a 6.1 micrones (nitración)	E-2412	25	30

Fuente: SGS S.A. Laboratorio de Análisis de Lubricantes. Cartagena, Colombia.

Estos límites son generales, siga las recomendaciones del fabricante OEM. Siempre analice las tendencias y tome acciones preventivas antes de llegar a los límites de atención o crítico.

ALARMAS Y/O LIMITES CONDENATORIOS GENERALES PARA TRANSMISIONES AUTOMOTRICES

ENGRANAJES SAE 50		Laboratorio SGS	
Análisis	Metodo	ALERTA	CRITICO
Viscosidad a 40°C, % incremento máx.	D-445		
Viscosidad a 40°C, % disminución máx.	D-445		
Viscosidad a 100°C, % incremento máx.	D-445	15,4	17,5
Viscosidad a 100°C, % disminución máx.	D-445	12,6	11,9
Sedimentos Vol%, máx.		0,50	1,00
Metales de Desgaste, ppm, máx (4)			
Aluminio		10	15
Cromo		7	10
Cobre		120	200
Hierro		100	180
Plomo		16	20
Silicio		30	40
Estaño		13	18
Agua, Vol%, máx.	D-92	0,10	0,20
TAN (Numero ácido total)	D-664	2,5	3,5
Análisis de Infrarojo			
Diferencial de absorción/cm, máx. a 5.8 micrones (oxidación)	E-2412	25	30

Fuente: SGS S.A. Laboratorio de Análisis de Lubricantes. Cartagena, Colombia.

Estos límites son generales, siga las recomendaciones del fabricante OEM. Siempre analice las tendencias y tome acciones preventivas antes de llegar a los límites de atención o crítico.

ALARMAS Y/O LIMITES CONDENATORIOS GENERALES PARA ENGRANAJES AUTOMOTRICES

ENGRANAJES SAE 85W140		Laboratorio SGS	
Análisis	Metodo	ALERTA	CRITICO
Viscosidad a 40°C, % incremento máx.	D-445	377	450
Viscosidad a 40°C, % disminución máx.	D-445	275	220
Viscosidad a 100°C, % incremento máx.	D-445	27,5	31,25
Viscosidad a 100°C, % disminución máx.	D-445	22,5	18,75
Sedimentos Vol%, máx.		0,25	0,50
Metales de Desgaste, ppm, máx (4)			
Aluminio		20	30
Cromo		11	15
Cobre		50	80
Hierro		150	300
Plomo		50	80
Silicio		30	60
Estaño		13	18
Agua, Vol%, máx.	D-92	0,10	0,20
TAN (Numero ácido total)	D-664		
Análisis de Infrarojo			
Diferencial de absorción/cm, máx. a 5.8 micrones (oxidación)	E-2412	25	30

Fuente: SGS S.A. Laboratorio de Análisis de Lubricantes. Cartagena, Colombia

Estos límites son generales, siga las recomendaciones del fabricante OEM. Siempre analice las tendencias y tome acciones preventivas antes de llegar a los límites de atención o crítico.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO, John. Motores Térmicos. Tomo I. Medellín. Universidad de Antioquia. 2000. Páginas 17-18, 26, 46-48.

ASHLEY, Mayer. "Understanding Time Dependent Limits". Artículo publicado en Practicing Oil Analysis Magazine of Noria Corporation. Noviembre. 2005.

CHECK, Chart. Manual de lubricación automotriz. Prentice Hall. México. 1998.

CROVSE, William. Puesta a punto y rendimiento del motor. Alfa Omega. México. 2002.

DUFFUAA, Salih. Sistemas de mantenimiento. Limusa. México. 2008.

GARCIA PALENCIA, Oliverio. Gerencia del Mantenimiento Industrial. Volumen 1. Duitama. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2001. 121 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas colombianas para la presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Sexta actualización. Santafé de Bogotá D.C. ICONTEC, NTC 1486, NTC 5613, NTC 4490.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Santafé de Bogotá D.C. ICONTEC, NTC 222. 2001.

MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico. Tomo 1. Editorial Mc Graw-Hill. 3ra edición en español. 1987. Páginas: 6-222 - 6- 26, 6-230.

PEREZ, Carlos Mario. Gerencia de Mantenimiento – Sistemas de Información. Soporte y Cía. Ltda. Colombia. 2005.

PORRITT, William. Mantenimiento y reconstrucción de maquinaria: Resolución de uno de los más importantes problemas en la industria moderna. Hispano Europea. Barcelona. 1984.

ROJAS NADAL, Manuel. Reporte Investigación sobre fallas y averías de Motores de Combustión Interna. Academia para la Ciencia Militar de la URSS. 1998.

ROJAS, Nelson. Notas de clase mantenimiento preventivo. ECCI. Bogotá. 2010.

SAAVEDRA, Pedro. “La Evolución y Perspectivas del Mantenimiento Predictivo Proactivo en la Industria.” Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería. Concepción, Chile. (2004).

TROCEL, David. “Implementando un efectivo Programa de Mantenimiento Basado en Condición”. Artículo publicado en la revista MECANÁLISIS en su edición aniversario. Abril – Mayo del 2007.

CIBERGRAFÍA

AMENDOLA, Luis. Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento. Universidad Politécnica Valencia. España. Publicado en www.klaron.net

AMENDOLA, Luis. Modelos mixtos de confiabilidad. Publicado por Datastream. 2002. www.mantenimientomundial.com

Revista Machinery Lubrication en Español. Interpretación sistemática del análisis de aceite – Técnica SACODE. Publicado en www.machinerylubrication.com/sp