



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

“Guía de Mantenimiento para Obtener
Eficiencia Energética y Prolongar la Vida Útil
en Plantas Industriales”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECANICO

P R E S E N T A:

CARLOS ALBERTO HERNANDEZ GARCIA



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JOSE LUIS FERNANDEZ ZAYAS**

2015

JURADO ASIGNADO

Presidente: **ING. CARLOS SANCHEZ MEJIA VALENZUELA**
Vocal: **DR. JOSE LUIS FERNANDEZ ZAYAS**
Secretario: **M.I. ANTONIO ZEPEDA SANCHEZ**
1er. Suplente **M.I. BILLY ARTURO FLORES MEDERO NAVARRO**
2do. Suplente **ING. MIRIAM GRACIELA MENDOZA CANO**

AGRADECIMIENTOS

Carlos Alberto Hernández García

- ✚ **A mis Padres:** Por la paciencia y el apoyo incondicional que me brindaron, ya que con su ayuda pude cerrar este ciclo.
- ✚ **A la vida:** Por permitirme terminar mis estudios de Ingeniería y por las experiencias que viví a lo largo de este tiempo.
- ✚ **A mi familia y amigos:** Ya que ellos siempre estaban presentes para darme fuerzas y motivarme en los momentos difíciles.
- ✚ **A Dr. Mario Victoria Labrada:** Porque gracias a él aprendí la importancia de la disciplina en el deporte y la vida.
- ✚ **A Lic. Margarita Domínguez:** Por su ayuda incondicional y porque gracias a ella pude conocer a la persona que vive dentro de mí.
- ✚ **A mi Facultad:** Por la formación, los profesores, experiencias y compañeros durante estos años.
- ✚ **A Karina Sierra:** Por enseñarme a ser una persona ética y comprometida, por tus consejos y apoyo incondicional en la última etapa de esta tesis 😊

Al Dr. José Luis Fernández Zayas y al M.I Norberto Chargoy por todas las facilidades prestadas para la realización de esta Tesis.

INDICE

INTRODUCCION

Capítulo 1. La función del Mantenimiento

1.1 ¿Qué es el Mantenimiento?-----	1
1.2 Historia y evolución del Mantenimiento-----	3
1.3 Objetivos del Mantenimiento-----	5
1.4 Misión del Mantenimiento-----	7
1.5 Postulados del Mantenimiento-----	7
1.6 Valores Básicos del Mantenimiento-----	8
1.7 Políticas Gerenciales del Mantenimiento-----	9
1.8 Optimización del Mantenimiento-----	10
1.9 Procesos de Optimización-----	10
1.10 Elementos Básicos para la Optimización-----	13
1.11 Mantenimiento Excelente-----	14

Capítulo 2. Actividades del Mantenimiento

2.1 La Ingeniería de Mantenimiento-----	16
2.2 Actividades de la Ingeniería de Mantenimiento-----	17
2.2.1 Inspección-----	17
2.2.2 Servicio-----	18
2.2.3 Reparación-----	18
2.2.4 Modificación-----	18
2.2.5 Fabricación-----	18
2.2.6 Montaje-----	18
2.2.7 Cambio-----	19
2.3 Ciclo Productivo-----	19
2.3.1 Descripción ciclo productivo-----	20
2.4 Localización de Fallas-----	21

Capítulo 3. Tipos de Mantenimiento

3.1 <i>Mantenimiento Correctivo</i> -----	23
3.1.1 Recursos Necesarios-----	24
3.1.2 Desventajas de Mantenimiento Correctivo-----	25
3.1.3 Soluciones al Mantenimiento Correctivo-----	25
3.2 <i>Mantenimiento Preventivo</i> -----	25
3.2.1 Categorías del Mantenimiento Preventivo-----	27

3.2.2 Ventajas del Mantenimiento Preventivo-----	28
3.2.3 Programas de Mantenimiento Preventivo-----	29
3.2.4 Como Implementar un Sistema Preventivo-----	30
3.3 <i>Mantenimiento Predictivo</i> -----	32
3.3.1 Beneficios del Mantenimiento Predictivo-----	33
3.3.2 Implementando el mantenimiento predictivo-----	34

Capítulo 4. Mantenimiento Actual

4.1 Confiabilidad Operacional-----	39
4.2 Áreas de la Confiabilidad Operacional-----	40
4.2.1 Activos-----	40
4.2.2 Procesos-----	41
4.2.3 Diseño-----	42
4.2.4 Talento Humano-----	42
4.3 Beneficios-----	43
4.4 Áreas de Aplicación-----	43
4.5 Estrategias de Confiabilidad Operacional-----	44
4.5.1 Mantenimiento Basado en Condición (CBM) -----	45
4.5.2 El Mantenimiento Productivo Total (TPM) -----	46
4.5.3 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) -----	48
4.5.4 La Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) -----	49
4.6 Confiabilidad Operacional y sus Herramientas-----	52
4.6.1 Análisis de Criticidad-----	53
4.6.2 Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) -----	55
4.6.3 Análisis de Causa Raíz (RCA) - -----	57
4.6.4 Inspección Basada en Riesgo (RBI) -----	59
4.6.5 Análisis de Costo Riesgo Beneficios (BRCA) -----	60
4.6.6 Costos del Ciclo de Vida -----	62

Capítulo 5. Costos de Mantenimiento

5.1 Costos en una Empresa -----	64
5.2 Objetivos de Costo -----	65
5.3 Presupuestos y Control -----	66

Capítulo 6. Propuestas de Planeación de Mantenimiento Correctivo, Preventivo y Predictivo.

6.1 Aplicaciones de Motores Diésel-----69
6.2 Recomendaciones para el Mantenimiento de un Motor Diésel-----70
6.3 Propuesta para Optimizar el Mantenimiento Correctivo en un Motor Diésel-----71
6.4 Mantenimiento Preventivo en un Motor Diésel-----73
6.5 Propuesta para Planificar el Mantenimiento Predictivo-----77

Conclusiones y Bibliografía.

Conclusiones -----81
Lista de figuras-----82
Bibliografía -----83

INTRODUCCION

A nivel mundial, las empresas se enfocan en las actividades que estimulan la economía y el crecimiento organizacional de los países en desarrollo. Sin embargo, el progreso industrial no se reduce solo a la inversión en nuevas instalaciones de producción y a la adquisición de nuevas tecnologías, sino que es indispensable utilizar efectivamente las instalaciones existentes, donde uno de los principales requisitos es establecer un servicio sistemático y técnico de mantenimiento que sea: eficiente, eficaz, seguro y económico de los activos industriales.

Para un mejoramiento continuo en la industria, se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

- a) Para el éxito de cualquier proyecto, este debe contar con la cooperación y el interés de todos, y ser proyectado para una planta específica.
- b) *Los procesos de mantenimiento deben optimizarse; porque en la vida útil de los activos, el uso, el paso del tiempo, los agentes externos y los accidentes ocasionales, generan un deterioro por el usuario; por lo cual es necesario, aumentar la inversión en mantenimiento de los equipos para obtener el mínimo costo total de producción.*

La siguiente tesis muestra la gran diversidad de aplicaciones industriales, derivadas de una gerencia moderna, la Gestión de los activos físicos, el proceso de mejoramiento continuo japonés (Kaizen) y la Gestión de la Calidad Total, para mejorar la planificación y administración de los proyectos de mantenimiento

El mantenimiento industrial, no solo previene los paros improductivos, sino que constituye el principal aporte al incremento de las utilidades, mediante programas de eliminación de paradas, reducción del consumo de energéticos, aumento de la calidad de los productos y por lo tanto se tendrá un mejoramiento en la productividad de la planta.

A lo largo de esta tesis se incluyen los elementos necesarios para establecer un programa de Mantenimiento Industrial y las propuestas para desarrollar un proyecto de Mantenimiento de Clase Mundial.

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.

En la actualidad la supervivencia de una empresa es muy crítica debido a la globalización y la manera en cómo se desarrollan los negocios, ya que han ido evolucionando en un mercado tan competitivo, se debe contar con estrategias que mejoren la calidad y los costos de los productos, además de ofrecer un excelente trato al cliente.

Se están implementando normas que favorecen al uso racional de los recursos energéticos, por esta razón el sector industrial gubernamental y privado, deberán desarrollar programas de mantenimiento en sus instalaciones que permitan tener un mayor control del consumo de energía. Es por ello que se deben establecer programas del mismo que contribuyan a prolongar la vida útil de los activos y mejorar el uso eficiente de energía.

OBJETIVO:

El presente trabajo de tesis, permite corroborar que haciendo uso de la de la mejora continua es posible optimizar las actividades de mantenimiento, permitiendo asegurar la competitividad empresarial en cualquier sector, avalando calidad, seguridad industrial, confiabilidad y sobre todo garantizando la disponibilidad de los equipos. Esta herramienta, otorga como consecuencia de su implementación la organización y planeación de los proyectos de mantenimiento en las diversas plantas industriales.

HIPÓTESIS:

Es posible lograr disminuir los costos de producción y los tiempos de parada si se tiene un plan óptimo de mantenimiento, para lograrlo se debe contar con estrategias que permitan facilitar las labores del departamento de mantenimiento, entre estas están; la capacitación constante, contar con las herramientas adecuadas, fácil acceso, historial de fallas anteriores, etc. El objetivo del mantenimiento es asegurar el buen funcionamiento de las instalaciones, con ello se pretende obtener ahorros en la utilización de energía, además de prolongar su vida útil.

1.1 ¿Qué es el Mantenimiento?

Mantenimiento: Son todas las actividades a realizarse en orden secuencial, con el propósito de conservar en condiciones de operación segura, efectiva y económica, los equipos de producción, herramientas y demás activos físicos, de las diferentes instalaciones de una empresa.

El mantenimiento puede considerarse tan antiguo como la existencia de la humanidad. El hombre desde sus principios practicaba el mantenimiento, desde los utensilios primitivos, hasta las herramientas de su trabajo diario, aunque no en forma lógica y ordenada, sino forzado por las necesidades básicas de supervivencia, utilizando cada día los medios y los recursos más efectivos para alcanzar sus objetivos.

Posteriormente, con la creación de los primeros talleres, al comienzo del siglo XX, se inició la etapa de actividades de mantenimiento correctivo, que vino a tomar importancia relevante en la industria militar, durante la Segunda Guerra Mundial, donde se vio la necesidad de implantar técnicas con el objetivo de prevenir las fallas de los equipos en acción; después de lo cual se estableció el mantenimiento preventivo en la industria como una actividad paralela a la producción y al control de la calidad.

“La importancia del mantenimiento nació de observar que todo equipo sufre, por una gran diversidad de causas, deterioro o desgaste, que es fundamentalmente de tres tipos”. [1]

- ✚ **Normal:** debido a causas como la presión, movimiento o velocidades de operación, corrosión, fatiga, temperatura, vibraciones, etc.
- ✚ **Anormal:** debido a descuido, golpes, sobrecarga de trabajo o mala operación
- ✚ **Accidental:** debido a múltiples causas, incontrolables, naturales o meteorológicas, u otras que se conocen usualmente como accidentes

Actualmente muchas compañías en el mundo están perdiendo millones por no producir sus plantas a optima capacidad, en gran medida por no contar con un programa de mantenimiento efectivo, seguro y económico que disminuya los paros improductivos debidos a las fallas imprevistas.

[1]. MORROW, L.C. Manual del Mantenimiento Industrial”, Tomo 1. Decimocuarta Edición. Editorial CECSA. México, 1986

Esto se debe a que el mantenimiento recibe muy poca atención y se le considera como un recurso para cubrir emergencias, llegando a considerarse una carga de producción. A esta actitud asumida por ciertas directivas, se les une la adoptada por los ingenieros de mantenimiento, en limitar sus actividades profesionales solo al desarrollo técnico y ser pasivos ante la degradación de sus funciones dentro de la empresa.

Por lo tanto se requiere de un plan de mantenimiento que abarque los campos de organización y administración, que optimice los factores disponibles y que pueda ser adoptado y aceptado por todos. La base para crear e implementar el plan debe ser la moderna ideología del mantenimiento, que no solo previene los paros improductivos, sino también que aporta al incremento de utilidades, mediante programas de reducción de costos (consumo de energéticos), aumentando la calidad de los productos y en general el mejoramiento de la productividad de la planta.

Para lograr la mayor efectividad, se requiere además de los recursos y técnicas adecuadas, del apoyo de producción, para que el departamento de mantenimiento sea dirigido con sentido gerencial amplio, es decir, se debe hacer un cambio en la estructura centralizada por una integrada y lograr de esta manera, conformar grupos interdisciplinarios que trabajen con un solo objetivo.

Con la implantación del mantenimiento el deterioro de los activos no se detiene, sino solamente se retarda, en un mayor o menor grado según la calidad y efectividad del mismo.

En las plantas donde no cuentan con un plan de mantenimiento adecuado, la proporción del mantenimiento de paros, contra el mantenimiento planeado guarda aproximadamente, la relación 80/20 o sea 80% de emergencia y solo 20% de planeado; el propósito de la gestión moderna del departamento de mantenimiento será hacer el cambio en forma paulatina hasta lograr invertir la relación dada.



Figura 1. 1. Mantenimiento industrial.

Fuente: http://www.uhu.es/formacion_permanente

1.2 Historia y Evolución del Mantenimiento

El comienzo del siglo XX marca efectivamente el inicio de las actividades de mantenimiento reparativo y la creación de los primeros talleres, que originan la *Primera Generación de Mantenimiento*, que se extiende hasta mediados del siglo y tiene como características relevantes [1]:

- ✚ Equipos robustos, sobredimensionados y simples.
- ✚ Volúmenes de producción bajos.
- ✚ Las actividades demandaban poca destreza.
- ✚ No existía alta mecanización industrial
- ✚ Poca importancia a los tiempos de parada de los equipos.
- ✚ La prevención de fallas en los equipos no era la prioridad.
- ✚ El mantenimiento era mantenimiento de reparación.
- ✚ No había necesidad de un mantenimiento sistémico.

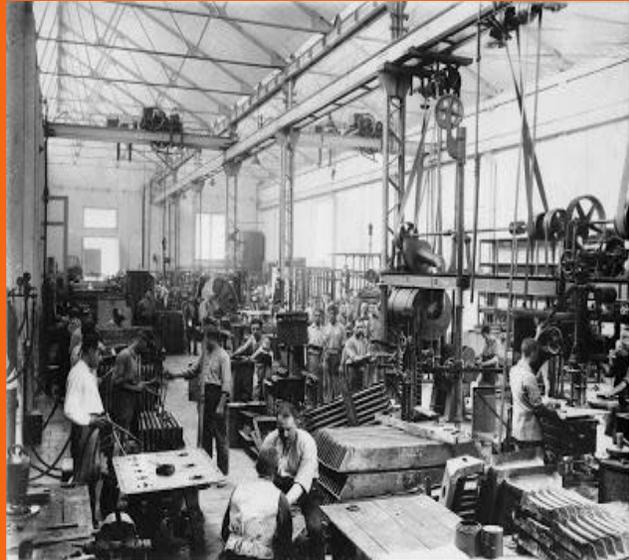


Figura 1. 2. Primeras fábricas.

Fuente :Museo de historia de Cataluña
Imagen de la Exposición

En la Segunda Guerra Mundial se vio la necesidad de implantar técnicas con el fin de prevenir las fallas de los equipos en combate y disminuir los costos de reparación, por lo que vino a tomar importancia relevante la disponibilidad y duración de la vida útil de la maquinaria, lo que dio origen a la *Segunda Generación de Mantenimiento*, que se extendió hasta mediados de los años 70 y tiene como características principales:

- ✚ Importancia en la productividad
- ✚ Incremento en la mecanización en las industrias
- ✚ Aumento de la complejidad de los equipos
- ✚ Inicio del Mantenimiento Preventivo

[1]. MORROW, L.C. Manual del Mantenimiento Industrial”, Tomo 1. Decimocuarta Edición. Editorial CECSA. México, 1986

- ✚ Altos niveles de repuestos
- ✚ Crecimiento de los costos de mantenimiento
- ✚ Sistemas de planificación y control de mantenimiento
- ✚ Aumento de la vida útil de los equipos y sistemas
- ✚ Inicio de la sistematización del mantenimiento

En la década de los años 70 se presenta el auge de nuevas tecnologías y se desarrollan técnicas novedosas con el fin de prevenir las fallas de los equipos y disminuir los costos de reparación con base en los postulados de máxima Calidad, Seguridad y protección del Medio Ambiente, lo que dio origen a la *Tercera Generación de Mantenimiento*, que se extendió hasta final del siglo y tiene entre sus características primordiales ^[2].

- ✚ Altos volúmenes de producción
- ✚ Alto grado de mecanización y automatización
- ✚ Importancia a la productividad y los estándares de calidad
- ✚ Demanda de Disponibilidad y Confiabilidad de los equipos
- ✚ Relevancia a la protección integral de las personas, equipos y medio ambiente
- ✚ Significancia de los costos de mantenimiento
- ✚ Extensión al máximo de la vida útil de los equipos
- ✚ Desarrollo acelerado de las tecnologías de información
- ✚ Aplicación de las filosofías Mantenimiento Productivo Total (MPT) y del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)

El final del siglo pasado y el comienzo del nuevo milenio representa la nueva revolución industrial y tecnológica marcada por la competitividad como factor de sobrevivencia de las organizaciones, lo que contribuye a la *Cuarta Generación de Mantenimiento*, que se extiende desde principios del siglo hasta hoy, donde se destacan como principales características.

[2]. PEREZ JARAMILLO, Carlos Mario. "Gestión y Control de Mantenimiento Industrial". Seminario INCOLDA – EAFIT. Medellín, Julio 1987

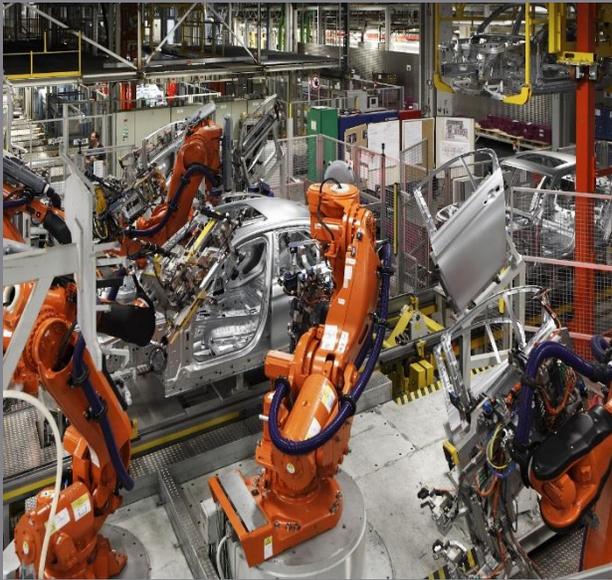


Figura 1. 3. Línea de producción BMW Serie 3.

Fuente: www.press.bmwgroup.com

- ✚ Competitividad como factor de supervivencia de las empresas
- ✚ Alto nivel de competencias del personal de mantenimiento

- ✚ Confiabilidad y excelencia operacional
- ✚ Confiabilidad integral de los activos.
- ✚ Prevención del mantenimiento (PM)
- ✚ Análisis de incertidumbre

- ✚ Desarrollo de la Optimización del Mantenimiento Planeado
- ✚ Optimización Costo-Riesgo-Beneficio
- ✚ Análisis del Costo del Ciclo de Vida
- ✚ Modelos Mixtos de Confiabilidad

- ✚ Optimización Integral del Mantenimiento

1.3 Objetivos del Mantenimiento

A medida que transcurre el desarrollo tecnológico las instalaciones se vuelven cada vez más complejas y automatizadas, con grandes cadenas de producción, cuya detención representa grandes pérdidas económicas. La importancia del mantenimiento se deriva por tanto, de la necesidad de contar con una estructura que permita restablecer rápidamente las condiciones de operación ideal, para reducir al mínimo las pérdidas de producción.

Desde el punto de vista de la *administración de mantenimiento industrial* su principal fin es la conservación del servicio. Esto es, el equipo recibe mantenimiento para garantizar que la función que desempeña, dentro del sistema productivo se cumpla a cabalidad. En términos económicos un eficiente mantenimiento significa ^[1].

[1]. MORROW, L.C. Manual del Mantenimiento Industrial”, Tomo 1. Decimocuarta Edición. Editorial CECSA. México, 1986

- ✓ Protección y conservación de las inversiones
- ✓ La garantía de Productividad
- ✓ La seguridad de un servicio

Se debe aceptar que el mantenimiento efectivo de los activos es costoso, pero que más costoso es aun el dejar de mantenerlos, ya que si no se les da el correcto mantenimiento, en intervalos adecuados de tiempo, no es posible producir. Por lo anterior, se puede deducir que el objetivo del mantenimiento es ^[3]:

“Conservar en condiciones deseadas de operación los componentes del sistema productivo, con el mejor rendimiento posible y con costos compatibles”.

Este postulado que básicamente incluye como aspectos el técnico y el económico, se puede subdividir en cuatro puntos que constituyen los propósitos fundamentales del mantenimiento y son:

- a. Mantener los activos físicos en buenas condiciones operacionales
- b. Sostener lo más bajo posible los costos de producción
- c. Mantener los equipos productivos operando de manera segura, durante un porcentaje óptimo de tiempo
- d. Optimizar el desarrollo del talento humano

Para lograr lo anterior, todo plan que busque el mejoramiento de la función de mantenimiento debe contener ^[4]:

- ✓ Establecimiento de objetivos
- ✓ Aplicación de fundamentos administrativos
- ✓ Sistemas de planeación y control
- ✓ Programas de mantenimiento concreto y efectivo
- ✓ Adecuado suministro de materiales y repuestos
- ✓ Apropiado control de costos y presupuestos
- ✓ Un sistema informativo sencillo y objetivo

Se debe finalmente, considerar como principal objetivo la importancia, de crear dentro de todas las áreas de la empresa la conciencia de los beneficios del mantenimiento, no solo en el aumento de la vida útil de los activos y en el mejoramiento de la calidad de los productos, sino también en el aumento directo de la seguridad de los operarios, y de la protección del medio ambiente, que se deben considerar como los parámetros primordiales para medir la efectividad del sistema.

[3]. BALDIN, FURLANETTE, ROVERSI, TURCO. "Manual de Mantenimiento". Primera Edición. Editorial Limusa S.A. México, 1992.

[4]. HEINZELMAN, Jhon E. "El Manual completo de la Administración de Mantenimiento". Lineal Publishing Co. New York 1987.

1.4 Misión del Mantenimiento

El mantenimiento industrial tiene como propósito garantizar el óptimo funcionamiento de los equipos y todas las partes que integran la infraestructura empresarial, mediante programas de prevención y predicción de fallas, reparación de daños y mejoramiento continuo de sus condiciones operativas con la política de cero defectos, para cumplir sus cuatro objetivos fundamentales.

- A. **Conservación de los Activos Físicos.** Mediante desarrollo de las técnicas administrativas y de mantenimiento más eficaces, para conservar en el largo plazo la vida útil de los equipos productivos, acordes con los requerimientos económicos.
- B. **Disponibilidad de los Activos Físicos.** Mediante el desarrollo de normas y procedimientos que promuevan de manera eficiente, segura y económica la máxima disponibilidad técnica y operativa de los equipos de acuerdo con los requisitos de producción.
- C. **Administración Eficaz de los Recursos.** Mediante la mejora de los procesos, procedimientos y estándares que mejor promuevan el uso eficiente, eficaz y económico de todos los recursos tangibles e intangibles de la organización.
- D. **Desarrollo del Talento Humano.** Por medio de programas de formación y capacitación permanentes, sistemas de competencias, Coaching, Empowerment, gerencia del desempeño y Gestión Global del Conocimiento.

Resumiendo los puntos anteriores se puede decir que la misión del mantenimiento es: "Preservar las funciones principales de todos los activos de la compañía, a lo largo de su ciclo de vida, a satisfacción de los propietarios, los usuarios, los clientes y la sociedad; seleccionando e implementando las mejores prácticas para enfrentar las fallas y mitigar sus consecuencias, con el compromiso efectivo de todas las personas de la organización, debidamente capacitadas para desempeñar sus funciones en la búsqueda permanente de la Excelencia Operacional".

1.5 Postulados del Mantenimiento

En el mantenimiento como cualquier otra ciencia, existen un sin número de principios básicos que se deben tomar en cuenta para el mejor cumplimiento de sus funciones. Mediante la siguiente enumeración se dan los postulados más importantes ^[5]:

-  El mantenimiento es parte integral de la estructura organizacional

[5]. CASTLES, Jhon G. "Mantenimiento Preventivo Industrial". Editorial McGraw-Hill. New York, 1971.

- ✚ Mantenimiento es parte vital de la producción
- ✚ Mantenimiento significa: la protección de la inversión, la garantía de la productividad y la seguridad del servicio
- ✚ El trabajo de mantenimiento debe planificarse antes de su ejecución. La planeación, la programación, el control y el soporte técnico son parte integral en la ejecución de los trabajos de mantenimiento
- ✚ El desarrollo y la implementación de programas de mantenimiento se deben basar en el conocimiento y la experiencia. Los programas se elaboran para ser cumplidos
- ✚ El trabajo del personal debe ser programado y revisado con base en estándares. Se debe utilizar la información estadística como soporte en los procesos de evaluación y toma de decisiones
- ✚ La carga de trabajo debe ser ejecutada y controlada de acuerdo con prioridades.
- ✚ El registro permanente de la información técnica, administrativa y de costos, es esencial en la gestión del mantenimiento
- ✚ Mantenimiento es responsable de la preservación y el mejoramiento de las condiciones reales de los equipos, no de su operación
- ✚ El mantenimiento se diseña en una planta desde su montaje. Las instalaciones deben diseñarse para facilitar el mantenimiento
- ✚ Deben establecerse programas permanentes para entrenamiento, capacitación y desarrollo del talento humano. El mantenimiento no se improvisa se aprende
- ✚ Mantenimiento debe recibir apoyo logístico y técnico adecuado de toda la organización.
- ✚ Las sugerencias de los trabajadores, son una de las mayores fuentes de recursos del mantenimiento
- ✚ La intervención de personal de mantenimiento en la etapa de diseño de los proyectos asegura el mantenimiento futuro de los equipos
- ✚ La participación activa y responsable del personal en el control de riesgos, logra alcanzar altos niveles de seguridad y preservación del medio ambiente
- ✚ El Juez final del mantenimiento es el volumen de producción

1.6 Valores Básicos del Mantenimiento

La cultura corporativa es el sistema de valores y creencias compartidas de una compañía; la gente, la estructura organizacional, los procesos de toma de decisiones y los sistemas de gestión interactúan para producir normas de comportamiento. Una estricta cultura corporativa contribuye al éxito de las compañías, al guiar el comportamiento y dar significado a las acciones. Una de las exigencias fundamentales de la gestión moderna es crear los valores y normas culturales.

Los principales valores que se incluyen dentro de la filosofía del mantenimiento son:

- ✚ Lealtad
- ✚ Respeto
- ✚ Confianza
- ✚ Tolerancia
- ✚ Honestidad
- ✚ Cooperación
- ✚ Responsabilidad
- ✚ Vocación de Servicio
- ✚ Sentido de Pertenencia

Hoy en día, en la mayoría de los procesos industriales se hace necesario un mantenimiento organizado, seguro, efectivo y económico, que evalúe la disponibilidad de los activos físicos. La gestión de los activos es un reto al futuro, donde el objetivo es transmitir los valores del mantenimiento. La clave del éxito será la consolidación de la cultura interna y el trabajo en equipo del personal, que se mide por el cuidado y el compromiso puesto en los anteriores valores y sus logros. Esto se ve reflejado en la actitud, la conducta y el cuidado de los activos, así como en la forma de respetar las reglas y los procedimientos.

1.7 Políticas Gerenciales Del Mantenimiento

Con el desarrollo industrial actual, el mantenimiento está llamado a ser el pilar de toda compañía que quiera ser competitiva. Esto forma parte de la transformación que una empresa moderna debe dar. Algunas de las estrategias gerenciales que favorecen el mantenimiento óptimo se enuncian a continuación:

- ✚ Liderar y llevar a cabo planes de Desarrollo Integral del personal en las áreas técnica, administrativa y humana, mediante capacitación, formación de habilidades, entrenamiento y desarrollo
- ✚ Familiarizar al Talento Humano de mantenimiento con la utilización de la tecnología informática, para implementar una herramienta de procesamiento que permita la gestión óptima de la información del mantenimiento
- ✚ Definir las áreas específicas con las que se está relacionado con otros departamentos para fomentar el trabajo en equipo
- ✚ Proyectar las funciones del mantenimiento para conquistar mejoras considerables en seguridad, calidad, productividad y efectividad en las operaciones de la organización
- ✚ Participar activamente en la implantación de panoramas de riesgo y de protección al medio ambiente, generando un plan integrado de seguridad

- ✚ Diseñar y desarrollar procesos de Reingeniería del Mantenimiento, participando en el desarrollo de nuevos proyectos desde la etapa de diseño hasta su implementación

1.8 Optimización del Mantenimiento

La optimización del mantenimiento industrial implica lograr una mayor productividad mediante el incremento en su eficiencia y en su eficacia. Eficiencia hace referencia a la ejecución de acciones con alta calidad en el menor tiempo posible; eficacia a la ejecución de acciones tendientes a obtener excelentes resultados para alcanzar los objetivos propuestos, al logro de resultados al más bajo costo posible [6].

Todo programa de optimización de mantenimiento debe ser establecido con los siguientes objetivos [7].

- ✚ Optimizar el talento humano y los recursos físicos disponibles para realizar el mantenimiento en forma efectiva
- ✚ Determinar los niveles óptimos de existencia de repuestos
- ✚ Justificar con base a costos reales de mantenimiento, el reemplazo y la inversión en nuevos equipos
- ✚ Formular políticas administrativas para fijar y controlar la eficiencia del mantenimiento

Para lograr los objetivos planteados y vigilar el desarrollo del programa de optimización, el área de mantenimiento debe valerse de indicadores de gestión, mediante el estudio y análisis de los reportes que produce el sistema de información, sobre parámetros tales como la confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y efectividad de los equipos y sistemas.

1.9 Procesos de Optimización

El primer paso en el desarrollo del programa de optimización, consiste en el establecimiento de metas parciales concretas, o de estándares, con fines de comparación futura. Las categorías básicas que integran la función del mantenimiento son (Ver figura 1.4) [11].

- ✓ La organización
- ✓ La mano de obra

[6]. BLANCO RIVERO, Ernesto. "Factores del Mejoramiento de Productividad". Segundas Jornadas de Ingeniería Electromecánica. Escuela de Ingeniería Electromecánica. Paipa, Agosto de 1991

[7]. GUERRERO, Carlos N. "Programas de Optimización de Mantenimiento en el C.I.B." ACIEM Cundinamarca. VI Jornadas Nacionales de Mantenimiento. Bogotá, Octubre 1987.

[11]. HOLDERBANK. "Seminario de Mantenimiento". CEMENTOS BOYACA. Bogotá, Agosto de 1989. Lecciones 5, 6, 7 y 8.

- ✓ La disponibilidad de los equipos
- ✓ El control de los materiales
- ✓ El control de los costos
- ✓ El medio ambiente

La organización, busca establecer el equilibrio adecuado entre las funciones de ejecución y de dirección de la mano de obra, con el fin de lograr un control efectivo de las actividades.

En la mano de obra se deben considerar, el número de trabajadores, los niveles de capacitación técnica y experiencia personal, la disponibilidad de los equipos y herramientas adecuadas, la descripción de las funciones laborales y los sistemas de programación de personas, esto con el fin de facilitar y determinar las actividades específicas con el talento humano más conveniente.

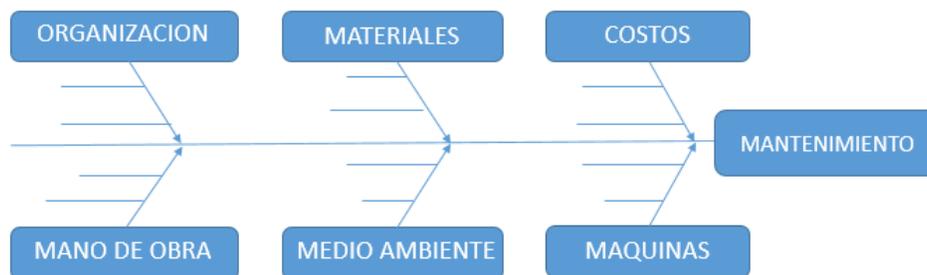


Figura 1. 4. Diagrama de Ishikawa

A continuación, se pasa a identificar la seguridad funcional mecánica y la disponibilidad de los equipos, junto con las dificultades de los procesos, para poder recomendar los cambios, o las actividades importantes para aumentar sus índices de confiabilidad.

En la siguiente etapa de revisión, hay que cerciorarse que el control de materiales se hace de modo que se optimiza el capital de explotación, se minimizan las paradas de los equipos y se maximiza el rendimiento de la mano de obra. Esto asegurando la disponibilidad de los materiales y equipos requeridos.

En la última etapa el control de costos, se realiza el análisis económico de cada uno de los parámetros revisados y se determina el nivel óptimo de mantenimiento para un funcionamiento conveniente de la compañía.

El nivel óptimo es el punto en el cual los costos totales, que combinan los costos directos, con el tiempo perdido, deterioro excesivo y demás desperdicios, son mínimos y están determinados por el punto más bajo en la curva de costos. (Ver Figura 1.5)

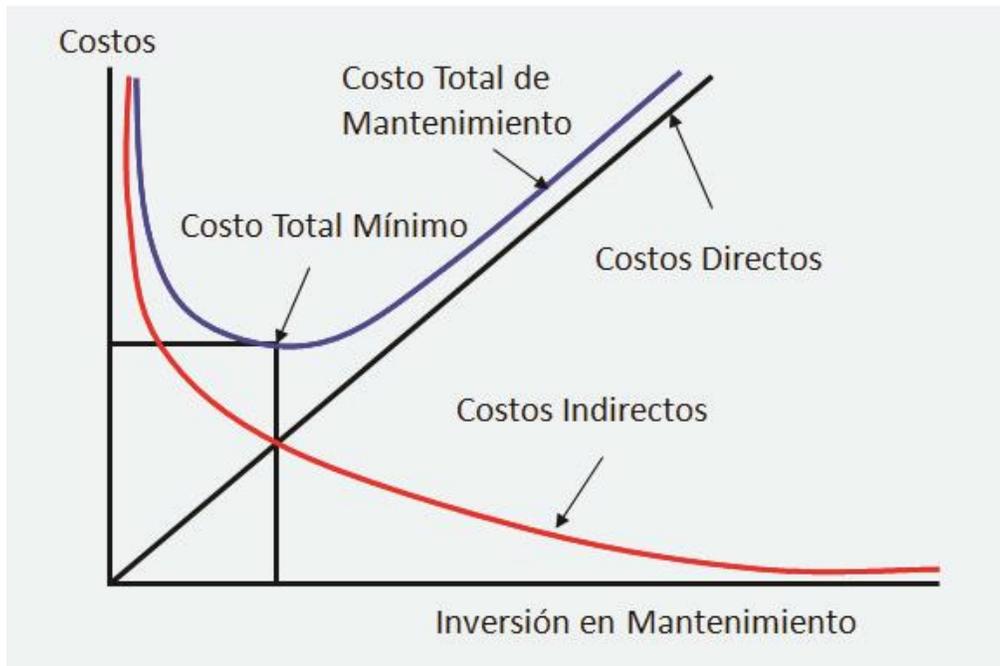


Figura 1. 5. Curva de Costos
 Fuente: <http://www.reporteroindustrial.com>

Si los costos combinados se encuentran a la izquierda del punto mínimo, esto quiere decir que la inversión en mantenimiento es insuficiente. Por el contrario, si dichos costos se hallan a la derecha del punto mínimo, es porque la cantidad de mantenimiento es exagerada.

Una correcta evaluación es la medida fundamental para convertir al mantenimiento en un centro generador de utilidades industriales; por lo tanto se requiere, inicialmente poder agrupar la información suficiente y oportuna sobre los siguientes aspectos:

- ✓ La proporción de tiempo perdido, o de la inactividad de los equipos por fallas imprevistas, en comparación con otras compañías
- ✓ La efectividad del trabajo de mantenimiento con base en las normas preestablecidas
- ✓ El porcentaje de mantenimiento correctivo, trabajos de emergencia, u otros índices de control
- ✓ El porcentaje de salidas de existencias, de equipos y materiales para mantenimiento

Finalmente, como complemento a los puntos anteriores, existen una gran cantidad de metodologías y enfoques administrativos que han sido creados con el propósito de obtener un elevado nivel de productividad, calidad y eficiencia, que son aplicables también al mantenimiento, con el fin de mejorar el rendimiento de sus procesos. Entre estos están [4]:

- ✚ El Kaizen

[4]. HEINZELMAN, Jhon E. "El Manual completo de la Administración de Mantenimiento". Lineal Publishing Co. New York 1987.

- ✚ Las Cinco Eses 5´S
- ✚ El Coaching
- ✚ La Reingeniería
- ✚ El Justo a Tiempo
- ✚ El Benchmarking
- ✚ El análisis de Pareto
- ✚ El Empowerment
- ✚ La gestión total de Calidad

Todas las anteriores metodologías, técnicas, estrategias o herramientas de soporte a la productividad industrial, han tenido un desarrollo muy importante en las últimas décadas, y la mayoría de ellas permanece vigente todavía, lo cual no significa que se deben aplicar todas para alcanzar la competitividad, sino que se debe usar la mejor en cada caso particular.

1.10 Elementos básicos para la optimización

Existen cuatro elementos básicos para desarrollar un óptimo programa de mantenimiento empresarial: La Visión, la Organización, la Tecnología y la Gente.

Visión

La visión del mantenimiento es la imagen guía que define su prospectiva a largo plazo, debe incluir:

- Reducción del monto de mantenimiento
- Mantenimiento basado en condición, en vez de actividades basadas en el tiempo
- Uso extensivo de medidas costo-desempeño y de índices para lograr el mejoramiento continuo de la confiabilidad de los equipos

Organización

Las nuevas organizaciones están enfocadas a los procesos del negocio más que al desarrollo de los productos y tienen como características:

- Redes de clientes y proveedores internos y externos
- Importancia de la planificación y el apoyo técnico
- Calificación y capacitación permanente del personal
- Cambios en los roles del personal
- Aumento del personal contratado.

Tecnología

Los desarrollos tecnológicos se muestran íntimamente relacionados con los procesos del negocio y su influencia es determinante por:

- La gran cantidad de desarrollo de software
- El establecimiento masivo de redes Cliente-Servidor (Base de datos)
- Las relaciones entre Diseño, Procesos, Maquinas, Trabajo, Clientes y Proveedores
- El reporte rápido de las tendencias de los equipos críticos

Gente

El mantenimiento actual incluye un mínimo de personal que apoye la optimización de la producción, para el aumento de la disponibilidad y la confiabilidad de la planta, sin comprometer la seguridad humana, de los equipos y de las instalaciones.

El perfil del trabajador de mantenimiento actual debe reunir una serie de condiciones muy especiales:

- Capacidad de diagnóstico muy amplia
- Ser técnico más que obrero
- Multiespecializado, altamente formado tanto en lo conceptual como en lo práctico.
- Capacidad de trabajo individual y en equipo
- Poseer acceso inmediato al historial de equipos, a la documentación técnica, mediante terminales de consulta
- Ser facilitador interno del operador del equipo, quien asume la más alta responsabilidad en el mantenimiento

1.11 Mantenimiento Excelente

El Mantenimiento Excelente es reconocido por algunos aspectos básicos: Máxima calidad de los trabajos, trato especial a los clientes, innovación continua de los procesos, productos y servicios, y lograr el compromiso, creatividad y energía de los colaboradores. El mantenimiento excelente es fanático de la calidad, ya que se esfuerza por producir valiosos logros técnicos, bajos costos, calidad óptima, atención y disposición adecuada del personal, control riguroso de la seguridad y el respeto al ambiente, sistemas sencillos y eficaces de comunicación ^[8].

[8]. BOTERO B. Ernesto. "Administración del Mantenimiento" Instituto Colombiano de Administración INCOLDA. Bogotá, 1986.

Las organizaciones que buscan obtener un incremento de los resultados positivos, se han propuesto contar con estrategias, políticas y prácticas, que conduzcan a todas las personas a participar en técnicas de trabajo en equipo; ya los empleados obtienen mejores resultados en labores de mantenimiento de equipos y herramientas, trabajando en armonía y de manera coordinada, que haciéndolo en forma independiente. Dicho mantenimiento se mejora considerablemente en calidad, debido a que resultan de la participación activa de los miembros del grupo.

Sin embargo, para lograr esta meta se debe estudiar un modelo de calidad y de control, que permita a la dirección de la empresa pasar de las palabras a los hechos, utilizando para ello los principios de la mejora continua japonesa (Kaizen) y buscando el compromiso de todos.

Implementar programas de Confiabilidad Operacional, o Humana, en las organizaciones involucra grandes desafíos, exige una cultura del cambio, para lograr discutir muchos procesos de planeación y de gestión y lograr una conducción efectiva de los canales de comunicación.

Las acciones de mejoramiento de la Confiabilidad Humana buscan recuperar el valor del talento humano, desarrollar su experiencia y sus capacidades físicas y fisiológicas, mejorar sus relaciones interpersonales, y guiar su conducta, principios y valores, hacia la cultura corporativa; para comprometer su capacidad total de gestión en beneficio del colectivo social.

La auténtica fuente de la competitividad industrial es el talento humano empoderado y comprometido con su organización, para ello se requiere que el ingeniero de mantenimiento debe poseer un alto nivel competitivo, tenga también una formación en principios y valores cívicos, morales y éticos, acordes con las exigencias de la actual sociedad.

2.1 La Ingeniería de Mantenimiento

La ingeniería de mantenimiento se encuentra ubicado dentro del ámbito general de ingeniería, o más específicamente de la Ingeniería de Fabricas que se define como aquella rama del conocimiento que se relaciona con: Explotación, investigación, desarrollo y transformación de los recursos naturales para ponerlos al servicio del hombre mediante un proceso de producción. La Ingeniería de Fabricas se puede dividir en seis clases de ingeniería interrelacionadas en mayor o menor grado, estas son ^[1]:

- ✚ **Ingeniería de Investigación.** Comprende las etapas de búsqueda de materiales, herramientas, procedimientos y técnicas que mejoren los sistemas y productos al servicio del hombre
- ✚ **Ingeniería de desarrollo.** Aplica los resultados de la investigación en exploración de los recursos naturales
- ✚ **Ingeniería de Diseño.** Desarrolla nuevos procesos y los transfiere a planos completos con sus especificaciones, para la manufactura de los equipos y la construcción de plantas y edificios
- ✚ **Ingeniería de Construcción.** Se encarga de construir los edificios e instalar los equipos con sus servicios necesarios, cimentando en los planos elaborados por la Ingeniería de Diseño
- ✚ **Ingeniería de Producción.** Opera los equipos instalados y probados para obtener los mejores rendimientos de producción con base a los procesos preestablecidos
- ✚ **Ingeniería de Mantenimiento.** **Conserva la función del sistema, con las mejores condiciones operacionales de los equipos, y resuelve los problemas de preservación y aumento de la vida útil de los activos de la planta física**

Con base en lo anterior se puede definir la Ingeniería de Mantenimiento como: “La labor de gestionar y desarrollar los programas de conservación integral de los sistemas, equipos, herramientas y demás activos, de las diferentes instalaciones de una fábrica”.

[1]. MORROW, L.C. Manual del Mantenimiento Industrial”, Tomo 1. Decimocuarta Edición. Editorial CECSA. México, 1986



Figura 2. 1. Mantenimiento a instalaciones de un parque industrial

Fuente: <http://symisrl.com>

2.2 Actividades de la Ingeniería de Mantenimiento

La ingeniería de Mantenimiento desarrolla permanentemente todas las actividades necesarias para conservar la función principal de los activos físicos, de los sistemas productivos. Sin embargo, todas las actividades realizadas se han caracterizado, para una mejor comprensión, dentro de las siete principales siguientes [9].

2.2.1 Inspección

Es la actividad consistente en efectuar los análisis del funcionamiento y operación de los equipos, con el fin de determinar su estado físico y las posibilidades de falla, antes de que puedan presentarse y generar una parada del sistema.

Las inspecciones pueden ser:

- ✓ Ligera: se realiza en forma superficial con poca instrumentación
- ✓ Profunda: requiere de instrumentación y herramienta compleja
- ✓ Abierta: el equipo se abre o se desmonta para realizar inspecciones internas
- ✓ Cerrada: no es necesario abrir o desmantelar el equipo, esta se realiza generalmente con equipos de diagnóstico

[9] MEJIA, Fernando y Otros. "Curso de Actualización de Mantenimiento Industrial". AIMUN Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Bogotá, Mayo 1984.

2.2.2 Servicio

Son actividades que se realizan con el fin de mantener la apariencia y las propiedades físicas de los equipos e instalaciones y son necesarias para la supervivencia de los equipos. Las acciones de servicio más comunes son las siguientes:

- ✓ Limpieza
- ✓ Pintura
- ✓ Desinfección
- ✓ Desoxidación

2.2.3 Reparación

Es la actividad encargada de corregir defectos, sustituir partes o piezas de sistemas o equipos, que han dejado de hacer su función principal, para que vuelvan a operar eficientemente. Las reparaciones son fundamentalmente de dos clases:

- ✓ Reparación mayor: requiere gran cantidad de mano de obra y materiales
- ✓ Reparación menor: se realiza con menor utilización de la mano de obra, en poco tiempo y con poco herramental

2.2.4 Modificación

Es la actividad consistente en alterar el diseño de los equipos, sistemas e instalaciones, para simplificar la operación y el mantenimiento, o para satisfacer necesidades particulares de producción. Las modificaciones pueden ser de tres tipos:

- ✓ De simplificación: para lograr una operación más eficiente o simplificar el mantenimiento, con disminución de costos
- ✓ De adaptación: con la finalidad de aumentar el nivel de producción, o por cambio del producto
- ✓ Por necesidad: debida a que los activos son obsoletos, o al trabajo para obtener reemplazos y repuestos

De las modificaciones deben quedar registros precisos, en tiempo real, para que el mantenimiento sea planeado con base al nuevo estado.

2.2.5 Fabricación

Es la actividad consistente en la manufactura de piezas o herramientas para mantenimiento; o de partes de repuestos de difícil adquisición, con el fin de reparar, modificar o realizar servicios a equipos e instalaciones.

2.2.6 Montaje

Es la actividad consistente en establecer, arrancar y poner en operación normal, equipos nuevos o reconstruidos. Los montajes tienen como ventaja muy importante la capacitación que se requiere por parte de los trabajadores que posteriormente se encargan de operar o mantener

estos equipos, puesto que generalmente los montajes son dirigidos por técnicos especialistas, o por los mismos fabricantes.

2.2.7 Cambio

Actividad que implica el remplazo de partes o equipos que han agotado su vida útil y su reparación ya no es económica. Todas las actividades de cambio deben fundamentarse en las necesidades de modernización, o de ajuste en las líneas de producción para mejorar la eficiencia, aumentar la capacidad productiva, o la calidad del producto.

2.3 Ciclo Productivo

Toda empresa, constituida con el propósito de desarrollar una actividad industrial, para elaborar un producto debe realizar un ciclo productivo. Los elementos básicos de cualquier sistema productivo se muestran en la Figura 2.2. Existen tres recursos básicos que se relacionan por medio de los tres procesos, para mediante una sucesión permanente integrar el ciclo productivo.

Los tres recursos necesarios son ^[10].

- ✓ El Capital
- ✓ Las materias primas
- ✓ Los productos terminados

Los tres procesos a realizar son:

- ✓ Compras
- ✓ Manufactura
- ✓ Ventas

[10] LONDOÑO A., Gustavo A. "Análisis de Rodamientos por Impulsos de Choque". Revista Ingeniería de Mantenimiento No. 4. Soporte y Cía. Ltda. Medellín, 1991.

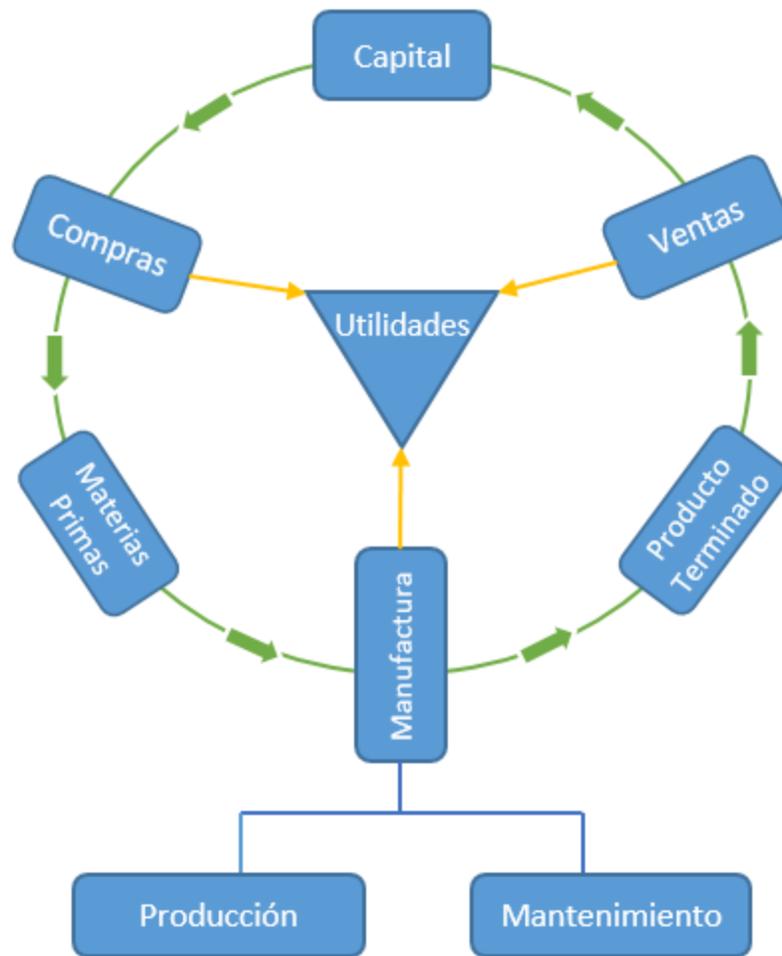


Figura 2. 2. Ciclo Productivo

2.3.1 Descripción del ciclo productivo

Mediante el proceso de compras se transforma el capital de explotación en las materias primas y recursos físicos necesarios, los cuales mediante un proceso de manufactura y control de calidad, se transforman en unos productos terminados, para satisfacer las necesidades de comodidad, de servicios o utilidad, en beneficio del hombre. Los productos terminados son comercializados, mediante un proceso de ventas que tiene como objetivo lograr la retribución del capital invertido y un excedente de utilidades que es el fin último del proceso productivo. El capital recuperado se reinvierte en nuevas materias primas para así seguir la rotación anti-horaria del proceso cíclico. Para que el proceso de manufactura sea efectivo y contribuya a la generación de utilidades, se requiere de la cooperación integrada de producción y mantenimiento, que permita una alta efectividad y disponibilidad de los sistemas productivos.

2.4 Localización de fallas

Teniendo en cuenta que especificar las fallas es la razón que origina, en muchos casos, la mayor pérdida de tiempo en la reparación, esta debe hacerse sistemática y lógicamente. Una actitud sin meditación y sin un fundamento claro, raramente conduce al éxito. Cada prisa en la localización de errores es inoportuna y aumenta el riesgo de seguridad. Por desaciertos y por decisiones erróneas se gasta más tiempo que por el trabajo continuo y consensuado. Cuanto más rápida y exactamente se investigan las fallas y sus causas, tanto más eficaz y mejor puede ser su reparación ^[11].

La condición previa esencial para localizar de forma rápida y segura una falla, es comunicar claramente el problema al área de mantenimiento según un procedimiento predeterminado. Los medios comunes para localizar fallas son:

- ✚ Sentido común
- ✚ Intercambio de experiencias
- ✚ Métodos "OOVS" (oír, oler, ver, sentir)
- ✚ Guías "Troubleshooting" (localización de averías)
- ✚ Análisis Causa Raíz
- ✚ Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)

Un medio tan sencillo pero a su vez muy eficiente es el intercambio de experiencias dentro de la empresa. Otras posibilidades, son el intercambio de conocimientos y experiencias con los diferentes proveedores, así como entre las compañías con el centro técnico del distribuidor, o de los fabricantes.

El conocimiento de los elementos del método de resolución sistemática de problemas ofrece, tanto en la propia localización, determinación y reparación del daño como también en la elaboración de guías y diagramas de "trouble shooting", grandes ventajas. Con los equipos y maquinas sencillas, así como con los problemas sencillos, el responsable del mantenimiento puede servirse del método "OOVS".

[11]. HOLDERBANK. "Seminario de Mantenimiento". CEMENTOS BOYACA. Bogotá, Agosto de 1989. Lecciones 5, 6,7 y 8.

La oreja susceptible, la nariz crítica, el ojo entrenado y la mano experta, junto con buenos conocimientos de instalaciones, máquinas y sistemas, entran en acción para determinar rápida y exactamente la situación. Como regla, dichas guías "trouble shooting" contienen los tres métodos de información siguientes:

- Síntomas de falla
- Causas posibles del daño

Igualmente para equipos, máquinas y sistemas complejos y automáticos, como controles electrónicos, sistemas neumáticos e hidráulicos, se usan diagramas de búsqueda. El "trouble shooter" para estos casos se dirige, sistemáticamente, paso a paso hasta la localización exacta de la falla.

El desarrollo de mantenimiento actual muestra que si no se incorporan herramientas estadísticas adecuadas al análisis de fallas y a la gestión del mantenimiento, no es posible obtener una adecuada competitividad a nivel internacional.

Un sistema de Gestión de Mantenimiento busca garantizar a los clientes internos o externos, que el parque industrial esté disponible, cuando lo requieran con disponibilidad, confiabilidad y seguridad total, durante el tiempo necesario para operar, con los requisitos técnicos y tecnológicos exigidos, para producir bienes o servicios que satisfagan las condiciones, deseos o requerimientos de los clientes, en cuanto a la calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno, al menor costo posible y con los mejores índices de productividad, rentabilidad y competitividad.

En la práctica real del mantenimiento industrial solo existen dos tipos, o formas de hacer mantenimiento:

- ✓ Mantenimiento Reactivo
- ✓ Mantenimiento Proactivo

El **Mantenimiento Reactivo** es el conjunto de actividades desarrolladas en los sistemas, equipos, maquinas, instalaciones o edificios, cuando a causa de una falla, se requiere recuperar su función principal. Como su nombre lo indica, las acciones de mantenimiento reaccionan a las fallas y se ejecutan para corregirlas.

El **Mantenimiento Proactivo** es el sistema opuesto del sistema reactivo, las acciones de mantenimiento se realizan antes de presentarse la falla del equipo. En la operación proactiva la prevención de las fallas se hace a través de inspecciones y de acciones preventivas y predictivas. El objetivo del mantenimiento Proactivo es, anticiparse a la probabilidad de que ocurra una falla. Dentro de las metodologías de mantenimiento existen tres que se han establecido como los sistemas básicos y son:

- ✚ Mantenimiento Correctivo
- ✚ Mantenimiento Preventivo
- ✚ Mantenimiento Predictivo

3.1 **Mantenimiento Correctivo**

El Mantenimiento Correctivo son todas las actividades para corregir las causas de las fallas en los equipos, maquinas, instalaciones o edificios, cuando a consecuencia de una falla, han dejado de prestar la calidad del servicio para la cual fueron diseñados. Por tanto, las labores que deben llevarse a cabo tienen por objeto la recuperación inmediata de la calidad del servicio.

Toda labor de Mantenimiento Correctivo, exige atención inmediata, por lo cual esta no puede ser debidamente programada y en ocasiones solo se tramita y controla por medio de reportes "Máquina fuera de servicio" y en todos los casos el personal debe efectuar los trabajos para seguir prestando el servicio, reduciendo al mínimo el tiempo de parada y la producción perdida. El sistema correctivo es el tipo de mantenimiento más usado, ya que es el que requiere de menor esfuerzo, aunque esto realmente no es así, pues demanda cantidad de trabajo anormal, por lo general, fuera de horas hábiles.

No existe un proceso de planeación conveniente para este sistema y solo se justifica cuando el análisis técnico-económico muestra que el costo de otro tipo de mantenimiento es mayor y la falla no genera efectos secundarios en la seguridad funcional de sistema. Actualmente se conoce este sistema como RTF (Run To Failure), operar hasta la falla.

3.1.1 Recursos Necesarios

Las averías y los paros en maquinaria se presentan aun en las fábricas que cuentan con un buen sistema de mantenimiento preventivo. Para la rápida solución de los problemas se requiere contar con un equipo de reparaciones especialmente preparado en los diversos tipos de equipos y maquinas dentro de la planta.

Los cuatro factores más importantes en todo sistema de mantenimiento correctivo son ^[12]:

- ✚ El talento humano
- ✚ Los equipos (Maquinaria, herramientas, elementos de medición y control)
- ✚ El suministro de repuestos
- ✚ La organización y las actividades de control

Los recursos físicos y el talento humano se deben integrar, coordinar y complementar adecuadamente para lograr la eficiencia requerida en las labores urgentes. Para conseguir que las cosas se hagan bien se requiere de estudio, buena información y comunicación, lo que señala la importancia primordial de establecer y mantener programas permanentes de formación del talento humano y simultáneamente estudiar, analizar y determinar los procesos y métodos de trabajo más eficientes.

Otro aspecto importante a considerar, es que el personal que se envía a efectuar las reparaciones cuente con las herramientas y equipos apropiados para que pueda desempeñar su labor con rapidez y eficacia; es decir, que cuente con los recursos físicos en el momento oportuno, así como un buen suministro de repuestos y partes de recambio.

[12]. HUTTE, Association. "Manual del Ingeniero de Taller". Tercera Edición. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona, España. 1978.

Debe también instruirse acerca de la labor específica a realizar y de los procedimientos lógicos a emplear para minimizar la posibilidad de fallas o errores humanos y así poder aprovechar los recursos disponibles.

3.1.2 Desventajas de Mantenimiento Correctivo

- Permitir tiempos muy limitados para los trabajos de mantenimiento
- Falta de inventario conveniente y económico de refacciones
- Mala calidad de los trabajos por la rapidez de su realización
- Mala planeación y programación de los trabajos originados en fallas imprevistas
- Mala estimación de la carga de trabajo necesaria
- Falta de diagnóstico acertado de las causas de las fallas anteriores

3.1.3 Soluciones al Mantenimiento Correctivo

Se debe tener en cuenta los siguientes puntos para un correcto proceso resolutivo de los problemas presentados en el mantenimiento correctivo.

✓ Identificar su problema	✓ Establezca prioridades, clasifíquelas
✓ Diagnosticar su causa raíz	✓ Determine la carga de trabajo
✓ Proponga soluciones alternativas	✓ Confronte la carga y la fuerza de trabajo
✓ Evalúe y decida	✓ Programe
✓ Planee la mejor solución	✓ Dirija y realice
	✓ Controle y corrija

3.2 Mantenimiento Preventivo

Son múltiples las definiciones que se encuentran para el mantenimiento preventivo, pero todas ellas coinciden en la intervención del sistema, equipo, antes de presentarse la falla. Una definición de mantenimiento preventivo puede ser ^[27]:

"El conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que permiten en la forma más económica, continuar su operación eficiente y segura, con tendencia a prevenir las fallas y paros imprevistos".

[27]. GARCIA, Oliverio (2012). "Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial". Ediciones de la U. Bogotá

Esto significa que un programa de mantenimiento preventivo incluye dos actividades básicas [5]:

- ✚ Inspección periódica de los equipos de industria, para descubrir las condiciones que conducen a paros imprevistos de producción
- ✚ Conservación de la planta para anular dichos aspectos, adaptarlos o repararlos cuando se encuentren aun en etapa inicial

Para la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo son necesarias ciertas bases, quizás la más importante sea la participación ideológica de todos los sectores involucrados; el éxito de un programa se basa fundamentalmente, en que se venda la idea del mantenimiento preventivo a cada uno de los integrantes de la planta, a la gerencia, a los ejecutivos de producción, a los supervisores de mantenimiento, a los técnicos y demás operarios.

Es necesario también, un conocimiento a fondo de los componentes del sistema, su conceptualización, su metodología, sus etapas de aplicación y su forma de administración, con miras a obtener el verdadero objetivo del mantenimiento: lograr los más bajos costos de manufactura de unos productos de calidad [8].

Cualquier persona que espere los beneficios completos del sistema en forma rápida se desalentara. Es obvio que todo cambio produce traumas que deben ser resueltos en la primera fase. Uno de los inconvenientes principales cuando se produce un sistema de mantenimiento preventivo es el aumento de los costos de mantenimiento, puesto que en las primeras inspecciones se encuentra un gran número de fallas que deben ser corregidas, debido al alto deterioro de los equipos que usualmente han sido manejados con base en un Mantenimiento Correctivo. Por eso se recomienda, que antes de aplicar el mantenimiento preventivo, los equipos se deben poner en óptimas condiciones de funcionamiento, lo cual implica altos costos por reparaciones generales [27].

Un plazo prudente para la implantación de un sistema de mantenimiento preventivo es de dos a tres años. La impaciencia puede perjudicar el desarrollo del programa, por tanto, es necesario que todas las personas relacionadas se enteren también de las dificultades que se presentan, para que colaboren de la mejor manera posible en el mejoramiento del programa.

[5]. CASTLES, Jhon G. "Mantenimiento Preventivo Industrial". Editorial McGraw-Hill. New York, 1971

[8]. BOTERO B. Ernesto. "Administración del Mantenimiento" Instituto Colombiano de Administración INCOLDA. Bogotá, 1986.

[27]. GARCIA, Oliverio (2012). "Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial". Ediciones de la U. Bogotá

3.2.1 Categorías del Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo surge de la necesidad de reducir el monto del mantenimiento correctivo y todo lo que representa. Pretende reducir las reparaciones por medio de una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados. Su meta es reducir las averías a niveles mínimos y convertir las fallas que se presentan en experiencias de aprendizaje para mejorar.

El objetivo del mantenimiento preventivo es asegurar la disponibilidad, la confiabilidad y el mantenimiento de los sistemas productivos con la aplicación de un plan de mantenimiento eficaz.

El mantenimiento preventivo puede basarse en las condiciones reales de los equipos, o en los datos históricos de fallas del equipo; el primer caso se conoce como CBM (Mantenimiento Basado en Condición) o Mantenimiento Predictivo, que por su gran desarrollo y logros obtenidos, desde la década de los setentas del siglo pasado, se ha considerado como un nuevo sistema básico del mantenimiento, que se estudia más adelante; y el segundo caso ha dado origen a una nueva tecnología del mantenimiento denominado PMO (Optimización del Mantenimiento Planeado) y cuyo desarrollo solo se alcanza en el presente siglo.

La figura 3.1 presenta una clasificación del mantenimiento preventivo en la actualidad. **Consta de dos categorías**, donde claramente se pueden observar las diferencias, una basada en las condiciones observables durante la operación del equipo y la otra tiene como base la estadística y la confiabilidad [27].

- En la primera categoría se considera la condición operacional del sistema
- En la segunda categoría basada en la obtención de los registros históricos de fallas, se realiza con base en el uso o en el tiempo de operación



Figura 3. 1. Categorías del Mantenimiento Preventivo
Fuente: Duffuaa 2002

[27]. GARCIA, Oliverio (2012). "Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial". Ediciones de la U. Bogotá

La *condición del equipo* se define vigilando los parámetros clave de operación, cuyos valores se afectan por su estado real. Para medir estas condiciones se utilizan técnicas como: **análisis de vibraciones, la termografía infrarroja, los análisis de lubricantes, el ultrasonido, la visión remota, la radiografía industrial, análisis de ruidos, el método de impulsos de choque, la coronografía ultravioleta, los ensayos no destructivos, el monitoreo de efectos eléctricos y magnéticos y varias más que aparecen todos los días.**

El *mantenimiento basado en el tiempo*, es el mantenimiento tradicional que se lleva a cabo fundamentado en las horas de operación del sistema, o con un calendario preestablecido de intervenciones, que está de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes, que luego se van ajustando por los resultados obtenidos con la aplicación de esas recomendaciones. Este sistema requiere de un alto nivel de planeación, donde las rutinas definidas, así como sus frecuencias de intervención, que se ejecutan periódicamente, son bien conocidas [27].

3.2.2 Ventajas del Mantenimiento Preventivo

Cualquier programa de Mantenimiento Preventivo con una buena proyección, que sea convenientemente aplicado, proporciona beneficios que sobrepasan los costos. Entre las múltiples ventajas del Mantenimiento Preventivo, las más importantes son las siguientes [3]:

- ✚ Reducción de las paradas imprevistas de los equipos. Se disminuye el tiempo ocioso, en relación con todo lo que se refiere a economías y beneficios para la compañía
- ✚ Menor necesidad de reparaciones o reconstrucciones en gran escala, menor número de mantenimientos repetitivos, por lo tanto, menor acumulación de la carga de trabajo
- ✚ Cambio del sistema de mantenimiento de “paros” a mantenimiento programado menos costoso, con lo que se logra un mejor control del personal, materiales y equipos
- ✚ Disminución de los pagos por tiempo extra del personal, originados por las reparaciones imprevistas
- ✚ Disminuyen los costos de reparación de los desperfectos sencillos, realizados antes de los paros imprevistos, debidos a la menor fuerza de trabajo, o a las deficiencias de las técnicas empleadas
- ✚ Aplazamientos de grandes desembolsos por reemplazos prematuros de planta o equipo, debido a la mejor conservación de los activos y al incremento de su vida útil probable
- ✚ Mejor control de refacciones, lo cual conduce a tener un inventario menos costoso

[3]. BALDIN, FURLANETTE, ROVERSI, TURCO. “Manual de Mantenimiento”. Primera Edición. Editorial Limusa S.A. México, 1992.

[27]. GARCIA, Oliverio (2012). “Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial”. Ediciones de la U. Bogotá

- ✚ Mayor seguridad para operarios y maquinaria
- ✚ Es fuente incalculable de valiosos datos estadísticos

3.2.3 *Programas de Mantenimiento Preventivo*

En cada industria dependiendo de sus actividades, es posible establecer un programa diferente de mantenimiento preventivo. Este varía de acuerdo al tipo de fábricas, plantas dentro de una misma industria, procesos, equipos, sistemas de operación, localización, etc. Un plan de mantenimiento preventivo debe ser flexible, dinámico, muy laborioso y cambiante con las experiencias adquiridas. Los principales programas de Mantenimiento Preventivo de aplicación industrial se puede agrupar en tres ^[1]:

- ✚ **Mantenimiento Preventivo Periódico Permanente.** Programa de actividades realizadas de acuerdo a un orden lógico de acciones de mantenimiento, basadas en las recomendaciones de los fabricantes
- ✚ **Mantenimiento Preventivo Periódico Productivo.** Es un programa elaborado en un 100% de acuerdo con las necesidades productivas de la organización, se realiza después de elaborar los programas de producción
- ✚ **Mantenimiento Preventivo Periódico.** Programa de actividades aplicable en las paradas generales de planta que paran totalmente las actividades productivas durante una o dos veces al año

Según las necesidades específicas se recomienda a las empresas adoptar algún programa de los anteriores. En la fabricación de productos que requieren ser elaborados con continuidad durante las 24 horas del día, corrientemente no es aplicable ninguno de los programas, sino que lo recomendable es: "La elaboración de un programa que considere las necesidades de producción pero con la máxima tendencia a ser del tipo periódico permanente".

Antes de aplicar un programa de mantenimiento preventivo es necesario cubrir dos etapas fundamentales: **la programación y la implementación** propiamente dicha. En la etapa de programación se deben cubrir cuatro actividades importantes.

[1]. MORROW, L.C. Manual del Mantenimiento Industrial", Tomo 1. Decimocuarta Edición. Editorial CECSA. México, 1986

1. **Determinar el orden de prioridades del programa de mantenimiento preventivo.** Que es el escoger el orden en que deben realizar las diferentes labores de mantenimiento preventivo estableciendo además, hojas de vida con datos técnicos y todas aquellas especificaciones que sean necesarias. Los datos obtenidos servirán para comprobar las características del equipo cada vez que sean requeridos y con base en ellos realizar una mejor programación preventiva.
2. **Clasificar los tipos de programas. Básicamente en dos:** Aquellos que no requieren parar el equipo y los que deben estar acompañados de una parada programada del equipo, pues la clase de inspecciones necesarias así lo requieren.
3. **Preparación del manual de inspecciones.** La preparación consiste en recopilar y tener disponible toda la información necesaria para la elaboración de:
 - a) Instrucciones de montaje
 - b) Instrucciones de operaciones
 - c) Manuales de mantenimiento
 - d) Formatos de inspección

Esta información debe ser obtenida de los fabricantes, de las empresas de servicio especializado, los técnicos especialistas, o de las personas más experimentadas en operación y mantenimiento de los respectivos equipos.

4. **Integración de los grupos de trabajo.** Según las necesidades precisas, los grupos de trabajo deben ser formados de acuerdo con el tipo de acciones a desarrollar y la capacitación y entrenamiento requeridos. Cuando se hace con base en el nivel jerárquico los grupos de trabajo, generalmente son de tres tipos:
 - a) Profesionales experimentados
 - b) Supervisores o técnicos experimentados
 - c) Operarios experimentados

3.2.5 Como implementar un Sistema Preventivo

Para la implementación de un sistema preventivo, es tan importante el desarrollo del programa, como vender la idea del plan, a cada uno de los líderes de la planta, desde la gerencia superior hasta el personal de producción y mantenimiento, para lograr el convencimiento sobre la conveniencia del programa a todos los interesados, con base en lo anterior se puede decir que para la implementación del sistema se requieren cuatro condiciones:

1. **Vender la idea del plan.** En primer lugar a la gerencia, cuyo apoyo influye en el éxito del programa; siguiendo el orden jerárquico, a los superintendentes y jefes de los departamentos, para continuar con el personal de planta, de producción, mantenimiento y en general a todos los interesados.

2. **Crear conciencia sobre los beneficios del sistema.** Se requiere por tanto, el convencimiento de todos los empleados, de cómo conviene a la compañía la implantación del programa y de esta forma obtener su colaboración.
3. **Establecer técnicamente los programas de inspección.** Para que cualquier programa sea una realidad, es indispensable que haya sido técnicamente bien diseñado, en cuanto a los tipos de inspección y la periodicidad que se requiere, que sea bien encausado y dirigido, durante su ejecución, por supervisores que conozcan los equipos y cuente con operarios diestros, cuidadosos y responsables.
4. **Diseñar controles efectivos para el programa.** Una vez instituido el sistema, es más indispensable su control para que haya continuidad en su desarrollo, revisiones oportunas y evaluaciones con la adecuada periodicidad.

La función principal del mantenimiento preventivo, es conocer el estado real de los equipos, mediante los registros de y en coordinación con el departamento de producción, realizar el mantenimiento correctivo necesario.

Los principales beneficios del mantenimiento preventivo frente a otros tipos de mantenimiento son evitar las paradas mayores como consecuencia de pequeños fallos, aprovechar el momento más oportuno, tanto para mantenimiento como para producción, para realizar las reparaciones; dejar el registro escrito de todas las intervenciones.

A todo programa de mantenimiento preventivo se le debe efectuar una evaluación permanente para establecer su eficacia y su eficiencia total. Cuando un equipo está demasiado tiempo fuera de servicio por averías frecuentes, indica que el mantenimiento no está funcionando como debería; cuando los costos de mantenimiento se aumentan considerablemente, el sistema no se está ejecutando con economía y eficacia.

3.3 Mantenimiento Predictivo

El sistema de Mantenimiento Predictivo se define como:

"El conjunto de actividades, programadas para detectar las fallas de los activos físicos, por revelación antes de que sucedan, con los equipos en operación y sin perjuicio de la producción, usando aparatos de diagnóstico y pruebas no destructivas"^[13].

En las últimas décadas, las estrictas normas de calidad y la presión competitiva han obligado a las empresas a transformar sus departamentos de mantenimiento. Estos cambios suponen pasar de ser un departamento que realiza reparaciones y cambia piezas o maquinas completas, a una unidad con alto valor en la productividad total de la empresa, mediante la aplicación de nuevas técnicas y prácticas.

En la situación actual es imprescindible, tanto en las grandes como en las medianas empresas, la implementación de una estrategia de mantenimiento predictivo para aumentar la vida de sus componentes, mejorando así la disponibilidad de sus equipos y su confiabilidad, lo que repercute en la productividad de la planta.

Aunque existen una gran cantidad de técnicas de aplicación del mantenimiento predictivo, la más importante se basa en la medición y análisis de vibraciones. Las vibraciones son una medida excelente para evaluar las condiciones mecánicas de un equipo; antes que una causa, la vibración es un síntoma de falla potencial, cuyo origen se puede determinar por medio del análisis espectral de la frecuencia de vibración. El nivel de vibración es un indicador tan importante del estado de la maquinaria, como lo es la temperatura del cuerpo para el humano, cualquier anomalía en el nivel de vibración indica sin lugar a dudas cambio y posible deterioro en las condiciones del activo.

En forma generalizada un sistema de Mantenimiento Predictivo consiste en llevar un control periódico de los niveles de vibración de cada equipo, teniendo como parámetros de medición, las características de vibración, la variación de temperaturas y el aumento del consumo de energía. Los elementos característicos de una señal de vibración son:

-  Su frecuencia
-  Su ángulo de fase
-  Su Amplitud

Esta última puede ser medida como el desplazamiento, la velocidad o la aceleración de la vibración, en el análisis de vibraciones, los datos son presentados en forma de graficas al analista quien a través de su entrenamiento es capaz de identificar anomalías en los patrones que siguen las gráficas, así como valores anormales o alarmas.

[13]. DOMINGUEZ B., Guillermo León. "La Termografía Herramienta de Mantenimiento Predictivo". ACIEM Cundinamarca. Segundas Jornadas Nacionales de Mantenimiento. Bogotá. Septiembre de 1983.

El análisis de vibraciones consta, por lo tanto, de dos partes: adquisición e interpretación de los datos de vibración. Para realizar el análisis nos podemos apoyar en varios criterios de referencia según se muestra en la figura 3.2.



Figura 3. 2. Medida del nivel de vibración.

Fuente: <http://www.energiza.org>. Edición N° 12 Noviembre 2012.

Diagnosticar el defecto específico, con la frecuencia de la vibración se determina el tipo de falla, mientras que la amplitud de la vibración determina la severidad del daño, con un alto grado de exactitud. Como cada sistema productivo tiene preestablecidos sus parámetros de operación en condiciones óptimas y sus límites permitidos de vibración, cuando estos patrones varían indican los cambios en el funcionamiento del equipo, que al ser analizados determinan las actividades correctivas que se deben tomar, programando la reparación u operación del equipo con el conocimiento real de sus necesidades.

3.3.1 Beneficios del Mantenimiento Predictivo

La inversión que se haga en el mantenimiento predictivo es absolutamente justificada, si se alcanza el objetivo fundamental del programa, con los consiguientes ahorros derivados de los beneficios generales, entre los cuales se pueden considerar:

- ✚ La detección de fallas que convierten los daños en rutinas programadas de mantenimiento
- ✚ La eliminación de inspecciones periódicas de mantenimiento, en que hay que desarmar los equipos
- ✚ Aumento del intervalo entre las revisiones detalladas e inspecciones generales de mantenimiento preventivo

- ✚ Eliminación casi total de las fallas accidentales, lo cual se refleja en una mayor productividad
- ✚ Ahorro y disminución del inventario de repuestos, ya que estos se reemplazan solamente cuando se les ha agotado su vida útil
- ✚ Corrección a tiempo de muchos problemas de montaje que generan fallas recurrentes en la maquinaria
- ✚ Reducción del número de equipos en Stand-by gracias al incremento de la confiabilidad de los que se encuentran en operación
- ✚ **Ahorro apreciable en los consumos de energía, cuando los equipos trabajan en óptimas condiciones**
- ✚ Garantía del cumplimiento de las características de diseño y mejora general de la seguridad de equipos e instalaciones

Cuando se ha logrado crear conciencia de los beneficios del sistema y se ha tomado la decisión de implantarlo, al evaluar las alternativas se debe tener en cuenta, que debido a la existencia de múltiples métodos para el diagnóstico de los equipos, todos ellos tienen características diferentes. Los sistemas portátiles garantizan menor protección a más bajo costo, mientras que los automáticos más sofisticados protegen muy bien las máquinas a un precio considerablemente mayor, pero para cada planta y proceso hay un sistema de medición que efectivamente puede salvar a la compañía de millonarias pérdidas.

3.3.2 Implementando el Mantenimiento Predictivo

Para la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo, que lógicamente supone una inversión relativamente considerable, se debe hacer un estudio particularizado de las condiciones de la organización y un análisis concienzudo, que evalúe y resuelva las alternativas iniciales basándose en los siguientes puntos ^[14].

1. ***Establecimiento de la necesidad del sistema.*** Para ello se requiere un análisis detallado utilizando dos criterios fundamentales:
 - ✓ Criterio Económico
 - ✓ Criterio Estratégico

[14]. SANCHEZ C, Edgar Nelson. "Mantenimiento Predictivo". Programa de Educación Continua. Posgrado en Potencia Eléctrica. UIS.

El criterio económico analiza los costos de mantenimiento en función de sus tres componentes:

- ✓ Costo de mano de obra
- ✓ Costo de equipos y repuestos
- ✓ Costo de producción perdida

El análisis de costos compara la inversión en mantenimiento como costo directo y costo del tiempo perdido y cuando este último es muy grande se justifica un aumento en la inversión, ya que el costo mínimo total se obtiene cuando el costo anual, o de un periodo de tiempo seleccionado, de la producción perdida es aproximadamente igual a la suma del costo anual del personal y demás recursos físicos. Como se muestra nuevamente en la figura 3.3.

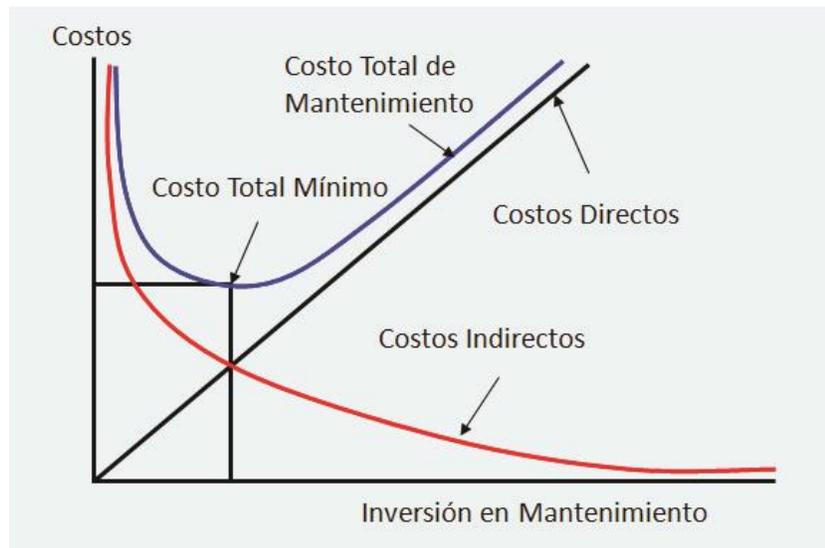


Figura 3. 3. Curva de costos

Fuente: <http://www.reporteroindustrial.com>

El criterio estratégico considera la incidencia de diferentes factores que determinan la capacidad del sistema productivo de la empresa, entre los que destacan:

- ✓ Volumen de paradas
- ✓ Volumen de maquinaria importante
- ✓ Comportamiento de los equipos con el deterioro
- ✓ Recursos actuales para mantenimiento
- ✓ Interdependencia de los equipos en el proceso productivo

El análisis de cada uno de estos factores, asociados con el tamaño de la empresa y su desarrollo tecnológico, permiten justificar la adopción del sistema.

- 2. Ajuste de la estructura del departamento.** Es necesario separar en dos equipos de trabajo colaborativo, los trabajadores de mantenimiento predictivo y de mantenimiento correctivo. Para poder llevar a cabo las inspecciones de acuerdo con la programación

previa, se necesita talento humano disponible y bien capacitado en las nuevas tecnologías; de otra forma, la urgencia de las acciones correctivas impide realizar las labores proactivas.

3. **Evaluación de las diferentes alternativas de operación.** Existen cuatro alternativas de operación para la implantación de un sistema de mantenimiento predictivo.
 - a) **Contratación del servicio.** Es la opción más sencilla y efectiva porque no requiere gran inversión y capacitación inicial, ya que existen las empresas especializadas en la prestación del servicio. Esta elección además de ágil, cumple los propósitos de información, capacitación y prueba, para precisar los beneficios del sistema en forma práctica y analizar su implantación posterior por parte de la empresa.
 - b) **Medición de índices más servicio de análisis.** Es la segunda posibilidad en la implantación del sistema y consiste en la adquisición por parte de la compañía de equipos de diagnóstico portátiles y de bajo costo, para tomar mediciones en el ámbito general y así poder determinar las más severas de las mediciones, cuando se requiere solicitar el servicio de diagnóstico más detallado. Esta alternativa tiene como ventajas principales, la menor dependencia del servicio exterior y vincular al personal propio con la nueva tecnología.
 - c) **Medición y grabación de indicadores más servicio de análisis.** Consiste en adicionar una grabadora especial al equipo de medición portátil, para grabar los parámetros medidos y enviar al servicio de diagnóstico exterior que se requiere analizar. En esta etapa la programación y control de las inspecciones se hace completamente por parte de la compañía y solamente se requiere contratar el servicio de análisis especializado mientras se entrena y capacita al personal.
 - d) **Medición y análisis con equipos propios.** Es el nivel más complejo de la implementación, requiere de la adquisición del equipo de análisis apropiado y la asignación de personal previamente capacitado para su operación. En esta alternativa se considera el equipo de análisis como elemento integral del sistema de mantenimiento y se justifica la inversión cuando se desean eliminar las paradas de planta por el alto costo de tiempo perdido.

La decisión de la alternativa más adecuada se debe basar en un análisis económico apropiado de acuerdo con las condiciones particulares de la maquinaria, tipo de proceso y tamaño de la organización.

4. **Determinación del sistema de control.** El control periódico de los niveles de operación normal, puede llevarse a cabo de diferentes formas y con diversos niveles de instrumentación de acuerdo con la alternativa seleccionada ^[13].
- ✓ **Máquinas de propósito general (no críticas).** En general no requieren la aplicación de sistemas de diagnóstico especializado, en algunos casos se pueden usar medidores de vibración simple, o analizadores de espectros; estos sistemas son inspeccionados por técnicos muy experimentados, que si encuentran condiciones anormales, reportan la necesidad de una inspección más profunda.
 - ✓ **Maquinas mayores o semicríticas.** Debido a que su falla causa paradas mayores, requiere analizadores de tiempo real (RTA) y utilización de monitoreo con una frecuencia al menos bimensual, estos equipos pueden ser manejados por ingenieros junior, o por un técnico bien entrenado, que cuando encuentren condiciones anormales deben incrementar el control mientras llega el momento de la reparación.
 - ✓ **Maquinas críticas.** Debido a que su falla causa paradas de producción críticas, requieren en lo posible, medición continua con equipos muy especializados, sistemas de análisis de vibración en línea, equipos RTA automáticos y sistemas de monitoreo soportados con sistemas expertos de diagnóstico, con una frecuencia al menos mensual. Los equipos críticos deben ser analizados por ingenieros especializados en mantenimiento predictivo, quienes además deben registrar los parámetros de trabajo diario, temperaturas, velocidades, presiones, consumos anormales de energía y demás variables del proceso que son auxiliares para un correcto diagnóstico.

Después de la determinación del sistema de control más adecuado y la asignación de las responsabilidades correspondientes, se recomienda el uso permanente de los servicios de información técnica que suministran sobre estas nuevas tecnologías, asociaciones y entidades especializadas (API, ASME, NEMA, etc.) y la capacitación dada por los fabricantes y distribuidores de equipos de diagnóstico.

Como resumen, un sistema apropiado de diagnóstico sirve para lograr en poco tiempo una evaluación real de los beneficios de mantenimiento basado en condición.

[13].DOMINGUEZ B., Guillermo León. "La Termografía Herramienta de Mantenimiento Predictivo". ACIEM Cundinamarca. Segundas Jornadas Nacionales de Mantenimiento. Bogotá. Septiembre de 1983.

En las últimas cuatro décadas, la industria ha experimentado una serie de profundas transformaciones a nivel organizacional, tecnológico, económico, social y humano. Estos cambios son consecuencia del desarrollo de las comunicaciones, la constante evolución tecnológica, la globalización de los mercados y la competitividad de los negocios, por lo que se requiere adoptar esquemas flexibles que permitan evolucionar en todos los aspectos de la organización, a fin de asegurar su sostenibilidad futura, la implementación de modernas estrategias, es la que convierte una pequeña industria en una organización de clase mundial.

Es por ello que los departamentos de mantenimiento deben prepararse para un entorno dinámico, propio de una economía globalizada y de constante evolución tecnológica, adoptando esquemas flexibles que les permitan cambiar y evolucionar en todos los aspectos de la organización a fin de asegurar su viabilidad futura.

El objetivo del siguiente capítulo es dar a conocer la actual ideología de la confiabilidad operacional, que incluye las estrategias actuales del mantenimiento, considerando su influencia en el ámbito de las mejores prácticas de Gestión de Activos, para estar en capacidad de adoptar las estrategias más acordes con los requerimientos actuales, que permitan en forma efectiva, segura y económica, obtener la mayor productividad, como factor primordial para reducir los costos totales de producción y de mantenimiento y poder alcanzar un nivel de competitividad en los mercados globales.



Figura 4. 1. Línea de ensamble fábrica de BMW.

Fuente: www.press.bmwgroup.com

4.1 Confiabilidad Operacional

La Confiabilidad Operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, estrategias modernas y metodologías de análisis, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial [15].

La Confiabilidad Operativa es una de las más modernas estrategias que generan grandes beneficios, se basa en análisis de condición y en análisis estadístico, orientados a mantener en alto la disponibilidad y confiabilidad de los activos, con la activa participación del personal de organización.

El fin del Análisis de Confiabilidad de los activos es cambiar las actividades reactivas y correctivas, no planeadas y altamente costosas, por acciones preventivas programadas, que dependan de diagnósticos objetivos de la situación actual y del historial de los equipos y permitan un adecuado control de los costos. Es importante, puntualizar que en un sistema de Confiabilidad Operacional es necesario analizar sus cuatro frentes operativos: Confiabilidad del Talento Humano, Confiabilidad de los Procesos, Confiabilidad de los Equipos y Confiabilidad de Diseño; sobre los cuales se debe actuar simultáneamente si se quiere un mejoramiento continuo y de largo plazo.



Figura 4. 2. Confiabilidad Operacional

Fuente: Adaptada de The Woodhouse Partnership Ltda. 2000

[15]. AMENDOLA, Luis. (2002). "Modelos Mixtos de Confiabilidad". Publicada por DataStream. www.mantenimientomundial.com

En la cultura Japonesa donde hay planes agresivos de Kaizen (Mejora Continua), se usan mezclas de técnicas que le permiten avanzar al ritmo deseado y generar una revolución industrial; el TPM (Mantenimiento Productivo Total) funciona acompañado de la GTC (Gestión Total de Calidad) y de programas oportunos de optimización de la confiabilidad humana, cubriendo de esta forma los cuatro frentes de la Confiabilidad Operacional ^[16].

La confiabilidad como cultura de calidad, busca que todas las actividades de producción y en general todas las tareas se desarrollen bien desde la primera vez y por siempre, con tendencia al mejoramiento; no se acepta que se hagan las cosas defectuosamente. Esto implica un cambio en la mentalidad de todo el personal de la planta, nuevas formas de pensar y de actuar, nuevos paradigmas; por tanto, es sumamente importante que la dirección de la empresa tome conciencia de la nueva situación y de su dificultad de conseguirla.

Involucrar un cambio en la forma de pensar no es sencillo, cuesta gran cantidad de trabajo y tiempo, la dirección debe enfocar sus esfuerzos en la formación permanente de su talento humano mediante políticas que permitan la participación del personal en planes de mejora continua de los procesos, círculos de participación y demás elementos que persigan alcanzar los objetivos propuestos ^[27].

4.2 Áreas de la Confiabilidad Operacional

4.2.1 Activos

Los activos físicos incluyen las máquinas y herramientas para las tareas a desarrollar, así como los repuestos y los materiales necesarios. Estos últimos son clasificados por:

-Críticidad	-Tiempo de reposición
-Reemplazo	-Costo de reposición
-Accesibilidad	-Variabilidad de la demanda

[16]. DURAN, Jose B. (2000). "¿Que es Confiabilidad Operacional? Revista Club Mantenimiento. Año 1. Nº 2. Septiembre 2000. Disponible en línea en: www.clubdemantenimiento.com.ar/articulo76html

[27]. GARCIA, Oliverio (2012). "Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial". Ediciones de la U. Bogotá

Con esta información se puede entonces definir los modelos adecuados de reposición y con ellos las políticas de gestión de stocks a desarrollar. Las tendencias actuales en este campo muestran una reducción en el número de proveedores, aparición de proveedores exclusivos; alianzas o asociaciones entre proveedor y cliente; y transferencia de stock del cliente al proveedor; todas estas líneas de trabajo buscan como objetivo optimizar los plazos de entrega, reducir los stocks y asegurar la calidad de los suministros.

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es cien por ciento (100%) confiable; si la frecuencia de fallas es extremadamente baja, la confiabilidad del equipo es aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo bien diseñado, correctamente instalado, adecuadamente probado y apropiadamente mantenido no debe fallar nunca (en teoría), sin embargo, la experiencia ha demostrado que incluso los equipos mejor diseñados, montados y mantenidos fallan algunas veces.

4.2.2 Procesos

La Confiabilidad de un proceso, incluye las etapas de diseño, desarrollo e implementación de un proceso productivo, y los requisitos que se deben cumplir para asegurar el éxito. Los procesos de gestión, planificación, programación, ejecución, control y seguimiento son indicadores de gestión de clase mundial, son de gran importancia para el mejoramiento de la confiabilidad operacional.

La confiabilidad de los procesos analiza las partes del sistema, sus etapas de implantación y los requisitos que deben cumplir para asegurar el éxito del proceso. Entre las partes del sistema productivo se considera el inventario, con el registro e historial de la maquinaria y de los equipos con sus respectivos códigos, realizado en la etapa de definición de las estrategias. La siguiente parte del sistema es la que contenga el plan de mantenimiento general, también definido en la etapa de estrategias. Se continúa con lo correspondiente a los procedimientos de planificación y programación de las intervenciones. También se debe tener el control de los procesos, donde se adelanta el seguimiento con los indicadores de gestión definidos inicialmente, donde son de particular importancia los de costo – efectividad.

La gestión técnica de los procesos busca ^[17].

-  Eliminar o reducir el error humano
-  Reducir el trabajo humano y sus costos

[17]. HUERTA, Rosendo. "Confiabilidad Operacional: Técnicas y Herramientas de Aplicación". Seminario Customer Care, DataStream. Bogota. Colombia. Febrero 2004.

- ✚ Eliminar muchas actividades que no agregan valor
- ✚ **Minimizar los consumos de energía**
- ✚ Reducir el tamaño de las plantas y de los stocks intermedios
- ✚ **Cumplir los reglamentos ambientales**
- ✚ Alcanzar y mantener el resultado deseado

4.2.3. Diseño

La confiabilidad de diseño se asocia directamente con el mantenimiento de los equipos, que se define como la probabilidad de que un elemento, sistema, maquina, equipo de diagnóstico, o dispositivo, pueda regresar a su estado de funcionamiento normal después de una falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una acción que implica la realización de unas tareas de mantenimiento, con el fin de eliminar las causas raíces, o los modos de falla que generan dicha interrupción. La normalidad del sistema, al ser restaurado, se refiere a su configuración física y a la función que desempeña.

Los aspectos principales que se deben tener en cuenta para un buen mantenimiento de los activos son ^[27]:

- ✚ **Factores operacionales.** Debido a la influencia de las actividades específicas que se realizan dentro del entorno operativo.
- ✚ **Factores personales.** Representan la influencia de la capacidad física, experiencia, actitud, aptitud, habilidad, motivación, autodisciplina, formación y responsabilidad.
- ✚ **Factores del entorno.** Representan la influencia de elementos del entorno como: ruido, temperatura, humedad, iluminación, vibración, viento, época del año, en el personal de mantenimiento.

4.2.4 Talento Humano

La confiabilidad del Talento Humano se define como la probabilidad de desempeño eficiente y eficaz, de las personas, dentro de un contexto organizacional específico durante su competencia laboral. El sistema de confiabilidad humana incluye varios elementos de proyección personal que permiten optimizar los conocimientos, competencias, habilidades, aptitudes, actitudes y destrezas de los miembros de una organización con la finalidad de generar capital intelectual.

Para lograr la confiabilidad humana se necesita un cambio cultural que permita un mejor desempeño personal y para ello la alta gerencia debe hacer parte activa del proceso; debe planear y examinar los paradigmas (pensamientos, creencias y comportamientos) que deben modificarse, incluyendo el suyo propio, para dar inicio al proyecto.

[27]. GARCIA, Oliverio (2012). "Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial". Ediciones de la U. Bogotá

Evidentemente necesita fijar la visión, objetivos, metas y valores que quiere alcanzar la organización.

4.3 Beneficios

Entre los beneficios que se pueden obtener con la implementación de un sistema integrado de confiabilidad operacional a nivel corporativo, se mencionan ^[15].

- ✚ Aumento de las utilidades por continuidad en la producción
- ✚ Reducción del tiempo y optimización de la frecuencia, de las paradas programadas y no programadas
- ✚ Detección antes de que ocurran las fallas y optimización de las frecuencias de ejecución de las acciones de mantenimiento
- ✚ Solución definitiva de múltiples problemas, al identificar y encauzar las fallas en su causa raíz
- ✚ Eliminación de conflictos, al cimentar los análisis en hechos y no en suposiciones
- ✚ Aumento de la disponibilidad de los activos e instalaciones
- ✚ Incremento en la calidad de los procesos y servicios, sobre la base de análisis de los procedimientos y acuerdos mutuos
- ✚ Integración de la gestión de mantenimiento y producción
- ✚ Mejora de la gestión del conocimiento de los procesos
- ✚ Posicionamiento a nivel global, con el uso de las mejores prácticas de mantenimiento de las empresas de categoría mundial

4.4 Áreas de Aplicación

Las estrategias de confiabilidad operacional se usan ampliamente en los casos relacionados con ^[17].

- ✚ Elaboración de planes y programas de mantenimiento e inspección de equipos en instalaciones industriales
- ✚ Solución de problemas recurrentes en los activos físicos que afectan los costos y la efectividad de las operaciones
- ✚ Determinación de las tareas que permiten minimizar riesgos en los procesos, equipos e instalaciones y medio ambiente
- ✚ Establecer procedimientos operativos y prácticas de trabajo seguro

[15]. AMENDOLA, Luis. (2002). "Modelos Mixtos de Confiabilidad". Publicada por DataStream. www.mantenimientomundial.com

[17]. HUERTA, Rosendo. "Confiabilidad Operacional: Técnicas y Herramientas de Aplicación". Seminario Customer Care, DataStream. Bogotá. Colombia. Febrero 2004.

La confiabilidad operacional impulsa el uso y el establecimiento de las tecnologías que faciliten el logro de la optimización industrial, entre las cuales se pueden destacar ^[15].

- ✚ **La confiabilidad organizacional.** Llamada también confiabilidad humana, siendo este el soporte principal de la planta
- ✚ **El manejo de la incertidumbre.** A través del análisis probabilístico de la incertidumbre y el riesgo asociado
- ✚ **La optimización integral de la productividad.** A través de ejecución de pruebas piloto en seguridad y confiabilidad desde el diseño
- ✚ **El modelaje del sistema.** En la confiabilidad operacional se gasta a nivel de elementos (equipos, procesos y clima organizacional) y se recibe el beneficio a nivel de plantas
- ✚ **La gestión de la información.** Valor agregado de nuevas prácticas y conocimientos, a través de mediciones sistémicas, bancos de datos, correlaciones, simulaciones, datos y estadísticas

4.5 Estrategias de Confiabilidad Operacional

A medida que se implementen nuevas estrategias y se establezcan sus requisitos, se determinan los procesos para ejecutarlas y la información de materiales y equipos, con las necesarias competencias del Talento Humano. Existen diferentes estrategias de la confiabilidad operacional para mejorar los procesos y actividades del mantenimiento.



Figura 4. 3. Nuevas Técnicas de Mantenimiento
Fuente: www.reporteroindustrial.com

[15]. AMENDOLA, Luis. (2002). "Modelos Mixtos de Confiabilidad". Publicada por DataStream. www.mantenimientomundial.com

4.5.1 Mantenimiento Basado en Condición (CBM)

Es el mantenimiento basado en la medición del estado de un equipo para evaluar su probabilidad de falla durante un periodo futuro, con el objetivo de tomar la acción más apropiada para prevenir las consecuencias de una falla. La condición de un activo físico es medida usando equipos de análisis, técnicas de control estadístico y monitoreo de su operación, mediante hardware y software específicos, o a través del uso de los sentidos.

El mantenimiento basado en condición (CBM) se lleva a cabo con base en las condiciones conocidas de los equipos, que se establecen vigilando los parámetros claves de operación, cuyos valores se ven afectados por su estado actual. Para poder medir estas condiciones se utilizan técnicas de diagnóstico actuales, entre las que se destacan^[27]:

-Análisis de Vibraciones

-Ultrasonido

-Termografía Infrarroja

-Radiografía Industrial

-Análisis de Lubricantes

-Método de impulsos de choque

-Inspección Visual Remota

-Monitoreo de Efectos Eléctricos y Magnéticos

-Mecanismo de Ruidos

-Pruebas conocidas como Ensayos no Destructivos

La inversión que se haga en CBM es totalmente justificada, si se logra el objetivo principal del programa con los siguientes ahorros derivados de los beneficios generales, entre los cuales podemos considerar:

- ✓ La detección precoz de fallas iniciales que convierten los daños en rutinas programadas de mantenimiento
- ✓ La eliminación de las inspecciones de mantenimiento preventivo, en que hay que desarmar los equipos
- ✓ Eliminación casi total de las fallas inesperadas, lo cual se refleja en una mayor productividad
- ✓ Aumento del factor de servicio por determinación de la severidad de los problemas y disminución del tiempo de parada, necesario para hacer las reparaciones debidamente programadas

[27]. GARCIA, Oliverio (2012). "Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial". Ediciones de la U. Bogotá

- ✓ Ahorro y disminución del inventario de repuestos, ya que estos se reemplazan solamente cuando se les ha agotado su vida útil
- ✓ Corrección a tiempo de muchos problemas de montaje y puesta en marcha que producen fallas recurrentes en la maquinaria
- ✓ Reducción del número de equipos en Stand-By gracias al incremento de la confiabilidad de los que se encuentran en operación
- ✓ Ahorro del consumo de energía de los equipos, cuando trabajan en óptimas condiciones

4.5.2 El Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Es un moderno sistema gerencial de soporte al progreso industrial, que permite con la participación activa de toda la organización tener equipos de producción siempre listos. Su metodología, soportada por múltiples técnicas de gestión, las teorías de Calidad Total y de Kaizen Japonés, establece las prácticas adecuadas para mejorar la productividad, la rentabilidad y la competitividad empresarial.

El TPM como es un esfuerzo en mejorar la efectividad del equipo, busca crear el estado ideal del sistema productivo. Cualquier espacio entre el estado actual y el estado ideal se puede deber a las deficiencias de mantenimiento del sistema, al plan de inspección, al conocimiento insuficiente de la máquina y a las fallas del proceso de producción.

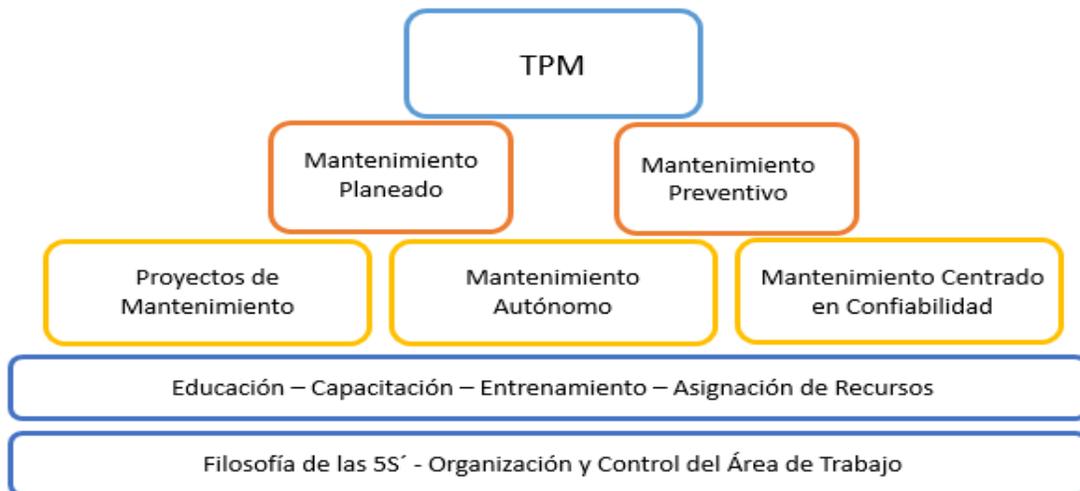


Figura 4. 4. Estructura Moderna del TPM
Fuente: TPMonline.com

El TPM incluye las cinco metas siguientes [18]:

- ✚ Mejora de la Eficacia de los Equipos
- ✚ Mantenimiento Autónomo por Operadores
- ✚ Planeación y Programación óptima de un sistema proactivo
- ✚ Mejoramiento de la habilidad operativa del personal
- ✚ Gestión temprana de equipos para evitar problemas futuros

En el TPM las fallas de operación de los equipos se consideran pérdidas de su función, las cuales deben ser monitoreadas y agrupadas en “las seis grandes pérdidas” [20].

- ✓ Pérdidas por averías
- ✓ Pérdidas de preparación y ajustes
- ✓ Inactividad y paradas menores
- ✓ Pérdidas de velocidad reducida
- ✓ Pérdidas de puesta en marcha
- ✓ Defectos de calidad y repetición de trabajos

El indicador clave de desempeño del TPM es la OEE (Efectividad Global del Equipo), cuyo valor está definido como el producto de tres factores [19]:

- La disponibilidad
- El rendimiento del sistema
- La tasa de calidad

Los operarios y personal de mantenimiento se capacitan para identificar los problemas relacionados con la eficacia de los equipos y realizar análisis para determinar las pérdidas que reducen la OEE. El instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) exige, como requisitos para participar en el premio al TPM de la industria, el cumplimiento de los siguientes parámetros mínimos en la OEE de todos los sistemas productivos [20].

<i>Mínima disponibilidad del equipo</i>	90%
<i>Eficiencia del Desempeño</i>	95%
<i>Porcentaje de productos de calidad</i>	99%

$$OEE = 0.9 \times 0.95 \times 0.99 = 0.85$$

[18]. CARRANZA MORENO, Rafael. “El Mantenimiento Productivo”. Primeras Jornadas Nacionales de Mantenimiento. ACIEM Cundinamarca. Bogotá, septiembre de 1982.

[19]. NAKAJIMA, Seiichi. “Total Productive Maintenance”. Productivity Press. Cambridge, Massachusetts.

[20]. NAKAJIMA, Seiichi. “Introducción al TPM” Japan Institute for Plant Maintenance. Tecnología de Gerencia y Producción S.A. Madrid, 1991.

Sintetizando los aportes del TPM a un sistema de mantenimiento óptimo podemos decir que:

- ✚ El TPM mejora la eficiencia y eficacia del mantenimiento
- ✚ El TPM exige que el mantenimiento se lleve a cabo en cooperación activa con el personal de producción
- ✚ El TPM trabaja para llevar al equipo a su condición de diseño
- ✚ El TPM busca la gestión eficaz del equipo y la prevención de averías y pérdidas.
- ✚ El TPM necesita capacitación continua del personal
- ✚ El TPM mejora la moral del personal y crea un auténtico sentido de pertenencia
- ✚ En el TPM el ciclo de vida útil del equipo se extiende y se reducen los costos totales de producción

El TPM y la Gestión Total de Calidad buscan el mejoramiento global de la compañía y la satisfacción total de los clientes, e involucran a todas las personas dentro y fuera de la empresa.

4.5.3 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

El RCM es un enfoque sistémico para diseñar planes y programas que aumenten la confiabilidad de los equipos con un mínimo costo y riesgo; para lo cual combina técnicas de AM (Mantenimiento Autónomo), CM (Correctivo), PM (Preventivo) y CBM (Mantenimiento Basado en Condición), mediante estrategias justificadas, técnica y económicamente. La información almacenada en las hojas de trabajo del RCM minimiza los efectos de rotación de personal y de falta de experiencia.

La metodología lógica del RCM, que se deriva de múltiples investigaciones, se puede resumir en seis pasos ^[21]:

- ✚ Identificar los sistemas básicos de la planta y definir sus funciones principales
- ✚ Identificar los modos de falla que puedan producir cualquier falla funcional
- ✚ Jerarquizar las necesidades funcionales de los equipos mediante el análisis de criticidad
- ✚ Determinar la criticidad de los efectos de las fallas funcionales
- ✚ Emplear el diagrama de árbol lógico para establecer la estrategia de mantenimiento
- ✚ Seleccionar las actividades proactivas, más convenientes, u otras acciones que conserven la función del sistema

[21]. PEREZ JARAMILLO, Carlos Mario. "Gestión y Control de Mantenimiento Industrial" Seminario INCOLDA – EAFIT. Medellín, Julio 1987.

El resultado de cada análisis de RCM, es una lista de responsabilidades de mantenimiento que permiten aumentar la efectividad, confiabilidad, disponibilidad y rendimiento operativo del equipo, con un alto nivel de eficacia en costos. El éxito del RCM se debe a que esta filosofía permite establecer los requerimientos necesarios de los distintos sistemas en su contexto operacional. Por lo anterior, el RCM se convierte hoy en día, en una estrategia principal de las empresas de clase mundial.

4.5.4 La Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO)

La "optimización del Mantenimiento Planeado" es un método diseñado para revisar los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación. La teoría básica del sistema de PMO parte del análisis del ciclo reactivo de mantenimiento mostrado en la figura 4.5, que se ha adaptado de Steve Turner [22].



Figura 4. 5. Ciclo Reactivo del Mantenimiento
Fuente: Steve Turner 2002

[22]. TURNER, Steve. OMCS. "PMO Optimization Programs. Maintenance Analysis for Results". Melbourne, Australia, 2001.

El problema radica en que las personas encargadas de las actividades de mantenimiento no tienen los recursos suficientes para la conservación eficaz de la planta y no enfocan sus energías en mejorar la confiabilidad; en este caso se utilizan insuficientes recursos dirigidos al Mantenimiento Preventivo en las interrupciones de la planta. La limitación del PM da lugar a un inevitable ciclo de paradas, la productividad se pierde gracias a la necesidad de realizar mantenimiento provisional. Las reparaciones urgentes generan más trabajo adicional para corregir los problemas, o en muchos casos las fallas ocurren antes de ser prevenidas; a menudo se reduce el personal pero no las paradas, mientras la moral del personal decae, las normas y estándares preestablecidos bajan estrepitosamente y el atraso del departamento no se puede evitar.

Para salir del círculo vicioso del mantenimiento reactivo se ha diseñado la PMO (Optimización del Mantenimiento Planeado), un revolucionario método para mejorar la eficiencia de los programas y las estrategias de mantenimiento. La PMO comienza analizando el programa existente de mantenimiento en la organización, trabajando con equipos funcionales de toda la planta, identificando aquellos elementos del programa actual que son útiles y los que son inadecuados. El equipo establece las fallas críticas y sus causas dentro del historial de fallas y determina cuáles se pueden prevenir con actividades de Mantenimiento Proactivo^[27].

Un sistema PMO es la base para una ingeniería de confiabilidad efectiva y para la adecuada eliminación de defectos, teniendo en cuenta que^[23].

- ✚ Se reconocen y resuelven los problemas con la información exacta
- ✚ El sistema se adapta a las situaciones y los objetivos específicos de cada cliente
- ✚ Se logra un efectivo uso de los recursos
- ✚ Se mejora la productividad de los operarios y personal encargado del mantenimiento
- ✚ La optimización del PM motiva al personal

Cuando se presenta una falla o un grupo de ellas, se generan un registro estadístico que permite extrapolar las posibilidades de las causas y su origen. Con este tipo de control, se pueden identificar las posibles fallas repetitivas que presentan los equipos y al mismo tiempo predecir los cambios en los activos fijos.

[23]. TURNER, Steve. "PM Optimization. Maintenance Analysis of the Future" . Paper firsts presented at the International Conference of Maintenance Societies. Melbourne, Australia, 2001.

[27]. GARCIA, Oliverio (2012). "Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial". Ediciones de la U. Bogotá

La evaluación estadística de la confiabilidad genera múltiples beneficios entre los que se encuentran:

- ✓ Disminución de paros
- ✓ Predicción de fallas
- ✓ Aumento en seguridad
- ✓ Mayor integridad mecánica
- ✓ Optimización de las horas hombre y costos
- ✓ Mejora en la toma de decisiones

Todo análisis de confiabilidad con base en el historial de fallas de los equipos, entrega el comportamiento real del sistema durante su vida útil, con el fin de:

- ✚ Diseñar las políticas de mantenimiento a utilizar en el futuro
- ✚ Determinar las frecuencias óptimas de ejecución del Mantenimiento Preventivo
- ✚ Optimizar el uso de los recursos físicos y del talento humano
- ✚ Calcular intervalos óptimos de sustitución económica de equipos
- ✚ Minimizar los costos del mantenimiento

Los nueve pasos para la implementación de la PMO adaptados de Steve Turne^[23] para el software PMO 2000™ son los siguientes:

Paso1: Establecimiento de las funciones y tareas

Paso2: Análisis de los modos de fallas

Paso3: Racionalización y revisión de los procedimientos

Paso4: Análisis Funcional basado en Confiabilidad

Paso5: Evaluación de las consecuencias

Paso6: Determinación de las políticas de mantenimiento

Paso7: Agrupación y revisión de los procesos funcionales

Paso8: Aprobación e Implementación de los programas

Paso9: Programa de vida y de mejoramiento continuo

La intención del sistema PMO es crear una estructura de mantenimiento que mejore sus métodos, con el análisis continuo de cada tarea y de cada falla imprevista que ocurra. Para ello se requiere de un programa donde la mano de obra este adecuadamente entrenada en técnicas de análisis y sea motivada a cambiar las viejas prácticas, para mejorar la satisfacción del trabajo y reducir los costos.

[23]. TURNER, Steve. "PM Optimization. Maintenance Analysis of the Future" . Paper first presented at the International Conference of Maintenance Societies. Melbourne, Australia, 2001.

Entre los beneficios reales que genera la implementación de un sistema PMO, se pueden enumerar:

- ✚ Determinar el comportamiento de fallas de los equipos
- ✚ Estimar el efecto del PM en la Confiabilidad
- ✚ Utilizar adecuadamente todos los recursos disponibles
- ✚ Eliminar las fallas y paradas imprevistas
- ✚ Mejorar confiabilidad, disponibilidad, Mantenimiento y efectividad global de los equipos

4.6 Confiabilidad Operacional y sus Herramientas

La confiabilidad, como metodología de análisis, debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento de los activos de una forma sistemática, a fin de poder determinar el nivel de operación, el conteo de riesgos, para asegurar su seguridad, integridad y continuidad operacional.

Las más usadas para la orientación y mejoramiento de la confiabilidad operacional, se muestran en la figura 4.6.

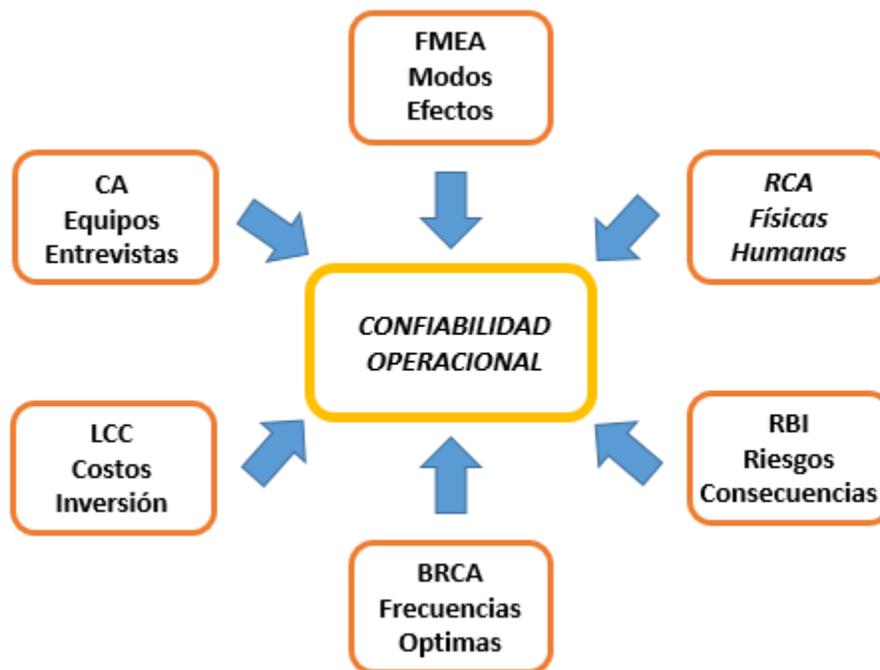


Figura 4. 6. Herramientas de la Confiabilidad Operacional

Análisis de Criticidad (CA). Es una técnica que permite jerarquizar sistemas, equipos e instalaciones, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

Análisis de Modos y Efectos de Fallas (FMEA). Es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan.

Análisis Causa Raíz (RCA). Es una técnica sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos, consecuencias y frecuencias de aparición, con el propósito de prevenirlas, mitigarlas o eliminarlas.

Inspección Basada en Riesgos (RBI). Es una técnica que permite definir las probabilidades de falla de un sistema y las consecuencias que las fallas pueden generar sobre la gente, el medio ambiente y los procesos.

Análisis Costo-Riesgo-Beneficio (BRCA). Es una metodología que permite establecer la combinación óptima entre los costos de hacer una actividad y los logros o beneficios que la actividad genera, con base en el riesgo que involucra la realización o no de tal acción.

Costo del Ciclo de Vida (LCC). El análisis LCC es una metodología que permite elegir entre opciones de inversión o acciones de mejora de la confiabilidad, con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.

4.6.1 Análisis de Criticidad

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. El análisis de criticidad permite así mismo identificar las áreas sobre las cuales se tendrá una mayor atención del mantenimiento en función del proceso que se realiza.

La información recolectada en un estudio de criticidad puede ser usada para ^[17].

- ✚ Priorizar ordenes de trabajo de producción y mantenimiento
- ✚ Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos
- ✚ Definir necesidades de mantenimiento basado en condición
- ✚ Priorizar proyectos de inversión
- ✚ Diseñar políticas de mantenimiento
- ✚ Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales

Pasos a seguir:

- ✓ Identificación de los equipos a estudiar
- ✓ Definición del alcance y objetivo de estudio
- ✓ Selección del personal a entrevistar

- ✓ Informar al personal sobre la importancia del estudio
- ✓ Recolección y verificación de datos
- ✓ Establecimiento de la lista jerarquizada de los equipos

La condición ideal es disponer de información estadística de los equipos a evaluar que sea precisa, lo cual permite cálculos “exactos y absolutos”. Sin embargo desde el punto de vista práctico cuando no se dispone de una base de datos de excelente calidad, se debe recoger la información utilizando encuestas. **La información requerida para el análisis de criticidad siempre está relacionado con la frecuencia, los efectos y consecuencias de las fallas, donde se destaca la seguridad y el respeto por el ambiente.**

La criticidad se evalúa mediante la ecuación ^[17].

$$\text{CRITICIDAD} = (\text{FRECUENCIA DE FALLA}) \times (\text{CONSECUENCIA})$$

Donde:

CONSECUENCIA = (Nivel de producción x MTTR x Impacto Producción) + costos de reparación + impacto ambiental + satisfacción del cliente.

Los parámetros que se utilizan para elaborar las encuestas y las tablas de ponderación para el cálculo de la criticidad de equipos y sistemas son los siguientes ^[17]:

- ✚ **Frecuencia de fallas.** Establece las veces que falla un componente del sistema, por pérdida de su función (o que implique una parada), en un periodo de un año
- ✚ **Impacto en la producción.** Representa en forma porcentual toda la producción que se deja de hacer por día, debido a fallas ocurridas. Se define como el resultado inmediato de la ocurrencia de la falla, que puede presentar un paro parcial o total del sistema y al mismo tiempo el paro del proceso productivo de la unidad
- ✚ **Nivel de producción.** Muestra la producción aproximada por día de la instalación y sirve para valorar el grado de importancia de la instalación a nivel económico
- ✚ **Impacto a la seguridad personal.** Representa el riesgo de que sucedan incidentes no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones y en los cuales alguien pueda o no resultar lesionado
- ✚ **Impacto ambiental.** Representa la posibilidad de que se presenten eventos no deseados que hagan daño a equipos e instalaciones produciendo la violación de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a terceros

[17]. HUERTA, Rosendo. “Confiabilidad Operacional: Técnicas y Herramientas de Aplicación”. Seminario Customer Care, DataStream. Bogota. Colombia. Febrero 2004.

- ✚ **Impacto en la satisfacción del cliente.** Evalúa el impacto que la ocurrencia de una falla afectaría a las expectativas de los clientes
- ✚ **Costo de reparación.** Se refiere al costo promedio por falla, requerido para restituir el equipo a sus condiciones de operación óptimas, incluye labor manual, materiales y transporte
- ✚ **Tiempo promedio para reparar.** Es el tiempo promedio empleado en la reparación de la falla, se calcula desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para funcionar

GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y SERVICIOS CONFIABILIDAD OPERACIONAL ENCUESTA DE EVALUACION DE CRITICIDAD								
AREA: SALA DE MAQUINAS					PROPOSITO DE ESTE TRABAJO:			
PERSONA ENTREVISTADA					Jerarquizar los equipos en función de su impacto global, en equipos de criticidad alta, equipos de criticidad media y equipos de criticidad baja			
FECHA:								
Sistema/Equipo	Frecuencia de falla	TPPR	Impacto sobre la Producción	Costos de Reparación	Impacto Ambiental	Impacto en seguridad y salud	Impacto satisfacción al cliente	CRITICIDAD
Compresor Ingersol Rand	2.00	4.20	0.24	6.00	1.00	7.00	2.00	34.02
Compresor Joy N° 1	2.00	4.00	0.24	8.00	1.00	7.00	4.00	41.92
Compresor Joy N° 2	2.00	4.00	0.24	8.00	1.00	7.00	4.00	41.92
Secador de Aire con Alúmina	1.20	2.60	0.20	4.60	0.00	4.00	2.00	13.34
Secador de Aire con NH3	2.00	2.60	0.10	4.60	8.00	8.00	1.00	43.72
Tanque Pulmón N° 1	1.00	2.60	0.30	3.40	1.00	6.00	5.00	16.18
Tanque Pulmón N° 2	1.00	2.60	0.30	3.40	1.00	6.00	5.00	16.18
Tanque Pulmón N° 3	1.00	2.60	0.30	3.40	1.00	6.00	5.00	16.18
Postenfriadores de Aire comprimido	1.60	2.80	0.10	3.40	0.00	5.00	1.00	15.49
Redes de succión de aire y redes de aire comprimido	2.00	2.20	0.81	3.40	0.00	5.00	10.00	40.36
Redes amoniaco	1.80	2.60	0.25	3.40	8.00	7.00	3.00	39.69
Redes de agua de refrigeración	2.00	2.20	0.75	3.80	3.00	4.00	4.00	32.72

Figura 4. 7. Formato "Cálculo de Criticidad"

4.6.2 Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)

El Análisis de Modos y Efectos de Fallas es la herramienta básica del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. El FMEA es un método que permite establecer los modos de fallas de los componentes de un equipo, o sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan.

De esta forma se pueden clasificar las fallas por orden de importancia, logrando especificar las tareas de mantenimiento para las áreas que están generando un mayor impacto económico, con el fin de mitigarlas o eliminarlas completamente ^[21].

Las etapas necesarias para el desarrollo del Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) son ^[24].

1. **Definir los equipos a Evaluar.** Los equipos a evaluar se determinan con base en la clasificación previa de las áreas piloto, o en el Análisis de Criticidad.
2. **Identificar las funciones de cada equipo.** Todo activo físico de una organización tiene más de una función y estas se clasifican en:

Funciones Primarias. Son la razón principal por la cual es adquirido el activo físico. Para la mayoría de los equipos los parámetros de funcionamiento son asociados a las funciones primarias, como la capacidad de producción, velocidad, volumen de almacenamiento.

Funciones Secundarias. Son las funciones adicionales a las primarias, se espera que los activos físicos cumplan con una o más.

3. **Determinar las fallas funcionales.** Al adquirir los activos se espera que se mantengan operando dentro de ciertos parámetros de funcionamiento. Sin embargo por alguna razón el equipo es incapaz de realizar lo que el usuario desea que haga, esto se considera falla funcional, es decir no se mantiene operando dentro de los parámetros de diseño con los que fue adquirido.
4. **Determinar los modos de fallas.** Se entiende el modo de falla como un evento cualquiera que causa una falla funcional. Se puede decir que el modo de falla es lo que el operario, ve que causa las fallas, las cuales pueden originarse por múltiples factores.
5. **Determinar los efectos de falla.** El siguiente paso consiste en hacer una lista de qué sucede al producirse cada modo de falla. A esto se llama efectos de falla. El efecto de una falla no es lo mismo que la consecuencia de la falla; la falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre? Mientras que una consecuencia del modo de falla responde ¿Qué importancia tiene?

[21]. PEREZ JARAMILLO, Carlos Mario. "Gestión y Control de Mantenimiento Industrial" Seminario INCOLDA – EAFIT. Medellín, Julio 1987.

[24]. MURILLO, William M. "Modelo de Confiabilidad basado en el Análisis de Fallas". ACIEM – ECOPETROL. V Congreso Internacional de Mantenimiento Industrial. 2003.

4.6.3 Análisis Causa Raíz (RCA)

Una de las herramientas más importantes de la confiabilidad es el RCA. Las fallas nunca se planean y sorprenden a la gente de mantenimiento y de producción, porque casi siempre originan producción perdida. Hallar el problema subyacente, o la raíz de la causa de las fallas proporciona a la empresa una solución al problema y elimina el enigma del porque los equipos fallan. Una vez que se han identificado las causas raíz, se puede ejecutar un plan correctivo ^[17].

La metodología del RCA está definida por un procedimiento de trabajo el cual consta de seis pasos. Inicia con la preparación de la investigación y termina con un reporte de los hallazgos ^[24].

Paso 1: Identificar los evento más importantes

Paso 2: Preservar las evidencias de las fallas

Paso 3: Ordenar el análisis

Paso 4: Construir el árbol lógico de fallas

Paso 5: Comunicar los resultados y las recomendaciones

Paso 6: Hacer seguimiento a los resultados

Dentro del cuarto paso, que es el más importante del proceso, para construcción de un árbol lógico de fallas en la implementación del RCA, como el que se muestra en la figura 4.8, se requieren seis actividades claramente delimitadas, que se deben realizar en el orden establecido y que son ^[24].

[24]. MURILLO, William M. "Modelo de Confiabilidad basado en el Análisis de Fallas". ACIEM – ECOPETROL. V Congreso Internacional de Mantenimiento Industrial. 2003.

[17]. HUERTA, Rosendo. "Confiabilidad Operacional: Técnicas y Herramientas de Aplicación". Seminario Customer Care, DataStream. Bogotá. Colombia. Febrero 2004.

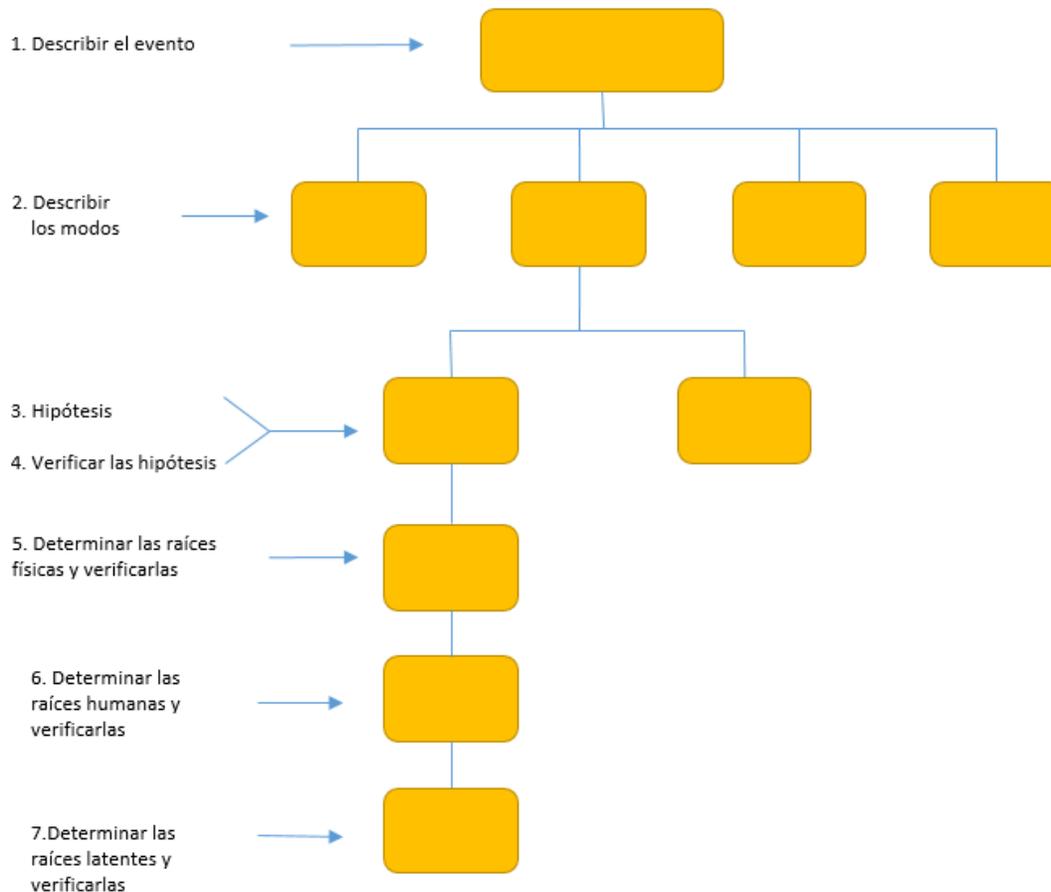


Figura 4. 8. Árbol Lógico Fallas
Fuente: Murillo, 2003

Las causas raíz que se obtienen de la obtención del árbol lógico de fallas en el RCA, son de tres tipos:

- ✚ **Causa Raíz física.** Es la causa tangible de por qué ocurre una falla. Siempre proviene de una raíz humana o latente. Son las más fáciles de determinar y siempre requieren verificación
- ✚ **Causa Raíz Humana.** Es el producto de los errores humanos debidos a sus intervenciones inapropiadas. El análisis causa raíz nunca utiliza nombres individuales o grupales cuando se especifica la causa
- ✚ **Causa raíz latente.** Son producto de las deficiencias en los sistemas administrativos o de información. Proviene de los errores humanos anteriores

4.6.4 Inspección Basada en Riesgo (RBI)

La inspección basada en riesgo (RBI) es la técnica que combina la probabilidad de ocurrencia de fallas con el impacto de sus consecuencias. Como resultado se puede elaborar un programa de inspección destinado a definir, cuantificar y controlar los riesgos debidos a las fallas en los equipos, con las prioridades y las frecuencias de inspección [24].

$$\text{Riesgo} = \text{Consecuencia} \times \text{Probabilidad}$$

La evaluación de la probabilidad de falla también se determina de forma cuantitativa, como lo muestra la matriz de riesgos de la figura 4.9.

		IMPACTO/ GRAVEDAD DE LAS CONSECUENCIAS				
		Insignificante	Tolerable	Moderado	Importante	Catastrófico
PROBABILIDAD	Frecuente	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆
	Probable	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆
	Ocasional	☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆☆
	Infrecuente	☆	☆	☆☆	☆☆	☆☆☆☆
	Rara	☆	☆	☆☆	☆☆	☆☆

 ☆☆☆☆	Riesgo intolerable	 ☆☆	Riesgo moderado
 ☆☆☆	Riesgo importante	 ☆	Riesgo bajo

Figura 4. 9. Matriz para evaluar riesgo

Los métodos y estrategias basados en riesgo focalizan los programas de inspección y las acciones de mantenimiento sobre las áreas de mayor efecto económico, cumpliendo normas de seguridad, medioambientales, junto con los criterios del usuario en cuanto a calidad, disponibilidad y limitaciones presupuestarias.

El riesgo no puede reducirse a cero solo por esfuerzos de inspección y mitigación; los otros factores que originan riesgos son [27]:

- ✚ Errores humanos
- ✚ Desastres naturales

[24]. MURILLO, William M. "Modelo de Confiabilidad basado en el Análisis de Fallas". ACIEM – ECOPETROL. V Congreso Internacional de Mantenimiento Industrial. 2003.

[27]. GARCIA, Oliverio (2012). "Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial". Ediciones de la U. Bogotá

- ✚ Eventos externos (colisiones)
- ✚ Efectos secundarios de otras unidades
- ✚ Actos deliberados (sabotaje)
- ✚ Errores de diseño
- ✚ Errores de Mantenimiento
- ✚ Mecanismos de degradación desconocidos

El resultado y éxito de un programa de RBI se evalúa en términos de la reducción en los riesgos para el operador y los clientes en general, reduciendo la tasa de fallas y controlando los mecanismos de deterioro identificados, al mismo que se balancea el costo de la operación y se reducen directamente los costos del manejo de riesgos.

4.6.5 Análisis de Costo Riesgo Beneficio (BRCA)

El modelo de decisión “costo – riesgo – beneficio”, permite comparar el costo asociado a una actividad dirigida a mejorar la confiabilidad, contra el nivel de reducción de riesgos, o la mejora en el desempeño debido a dicha acción. En pocas palabras este modelo permite determinar “cuanto se obtiene por lo que se invierte”.

El problema consiste en relacionar cuanto se obtiene, de lo que se gasta en un departamento con los beneficios que se reflejan en otra área de la planta. Esto significa que se deben cuantificar las variables involucradas y relacionar cuanto se logra con una inversión adicional, o que impacto produce una reducción de gastos. Es importante destacar que el diseño de la política de mantenimiento se sustenta en la capacidad de producción, teniendo en cuenta la eficiencia de los equipos para asegurar el nivel de producción requerido, el cual puede variar de un escenario a otro.

El BRCA es ideal para establecer:

- ✚ Frecuencia óptima de intervención proactiva
- ✚ Frecuencia óptima de reemplazo de equipos
- ✚ Numero óptimo de repuestos a mantener
- ✚ Numero óptimo de equipos de respaldo
- ✚ Determinación del costo total

Es esencial anotar que para incluir en la estrategia corporativa una metodología sistémica como el BRCA, es necesario tener una idea clara hacia donde se quiere ir. Si se pretende alcanzar un mejoramiento continuo, es fundamental contar con un objetivo estratégico firme, que requiere un sistema de medición para determinar dicho mejoramiento.

La figura 4.10 muestra cómo se reflejan los resultados del BRCA en forma gráfica.

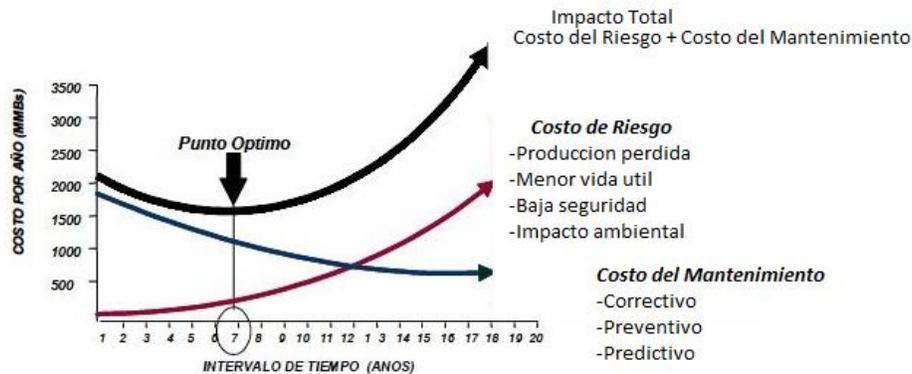


Figura 4. 10. Curva de Costo o impacto total.

Fuente <http://www.confiableidad.net/>

El impacto total mínimo es el factor que permite determinar la mejor alternativa de operación. El costo total mínimo de mantenimiento (punto óptimo), se traduce en reducir ampliamente el costo total de producción, o maximizar las utilidades de la compañía. Solo en este nivel se puede determinar la combinación óptima entre los costos y los beneficios.

El uso adecuado del BRCA permite, seleccionar frecuencias óptimas de mantenimiento e inspección, paradas de planta, proyectos de inversión y evaluación de ciclos de vida; establecer niveles óptimos de inventario, propuestas técnicas, estrategias y herramientas para la optimización del mantenimiento industrial, que reducen los costos de producción, incremento de la confiabilidad operacional de los activos y optimización general de los recursos, de tal manera que se maximice el valor agregado de la organización.

4.6.6 Costos del Ciclo de Vida

El ciclo de vida de un activo nace desde la idea de realizar una actividad que involucra activos en su desarrollo, pasa por las etapas de proyecto, diseño, ejecución, fabricación o compra, instalación, prueba, puesta a punto, operación y mantenimiento, hasta su eventual reciclaje o cambio. En todas estas etapas hay que tomar decisiones, manejar información, considerar y evaluar costos, definir partes, desarrollar la formación del personal y realizar análisis de los distintos aspectos de la operación y el mantenimiento del activo [25].

[25]. SOTUYO B. Santiago. "Gestión de Activos y Ciclo de Vida". Ellmann, Suerio y Asociados. Montevideo, Uruguay, 2002.

El costo de ciclo de vida (LCC), es la suma de todos los costos asignables a los activos (directos e indirectos, variables y fijos), desde los costos iniciales de proyecto y adquisición, hasta los costos totales de operación, mantenimiento y disposición final.

El costo de vida de un activo se calcula con base a la siguiente ecuación ^[25].

$$LCC = IC + N (OC + MC + SC)$$

Donde:

LCC – Costo de Ciclo de Vida

IC – Costo de Inversión

OC – Costo de Operación

MC – Costo de Mantenimiento

SC – Costo de Parada

(IC) incluye costos tales como máquinas, equipos, edificios e instalaciones, herramientas y equipos de mantenimiento, repuestos, documentos y entrenamiento entre otros.

(OC) incluye los costos del personal, materiales e insumos, energía, entrenamiento del personal, transporte y calidad.

(MC) incluye los costos de personal propio y los materiales y repuestos, tanto de mantenimiento reactivo, proactivo, como a los rediseños, además de los costos de formación del personal de mantenimiento.

(SC) se expresa por medio de la ecuación:

$$SC = SN \times MTTs \times LPC$$

[25]. SOTUYO B. Santiago. "Gestión de Activos y Ciclo de Vida". Ellmann, Suerio y Asociados. Montevideo, Uruguay, 2002.

Donde:

SN – Frecuencia de paradas

MTTS – Tiempo Medio de Paradas

LPC- Costo Perdido de Producción/hora

N – Factor de Valor Actual

Siendo:

$$N = [(1-r)^n - 1] / [r \times (1 + r)^n]$$

Donde, r es la tasa de interés y n el número de años considerados.

El análisis del costo de vida de un activo físico, como una de las herramientas más importantes de la confiabilidad operacional, permite optimizar el cuidado del activo y alargar su vida útil, para mediante el aumento de su confiabilidad y disponibilidad reducir los costos totales de manufactura, con el aumento de la productividad, la rentabilidad y la competitividad de la compañía.

5.1 Costos en una Empresa

Las utilidades son el elemento vital que permite a las empresas durar y desarrollarse. La rentabilidad se determina por la relación entre los ingresos y el capital invertido. Existen solo cuatro formas de mejorar la rentabilidad ^[27]:

- ✚ Aumentar el precio de venta
- ✚ Reducir los costos de producción
- ✚ Aumentar el volumen de producción
- ✚ Mejorar la calidad de los productos

El éxito de la gerencia industrial depende de la elección del método más apropiado o la combinación de ellos en la proporción conveniente. De ahí la importancia de determinar exactamente los costos en la planta.

Los costos globales en una organización se pueden clasificar en cuatro tipos primordiales:

Costos de fabricación. Corresponden a este grupo los costos generales para elaboración de los productos.

- ✚ Producción
- ✚ Planta
- ✚ Fijos
- ✚ **Mantenimiento**

Costos de Distribución. A este segundo grupo corresponde los costos que se originan en la transportación, comercialización y entrega de productos.

- ✚ Transporte
- ✚ Embarque
- ✚ Almacenamiento
- ✚ Servicio al Cliente

Costo de Ventas. Todos los costos aplicables a la negociación comercial del producto terminado.

- ✚ Administración de las ventas
- ✚ Promoción de los productos
- ✚ Comisiones
- ✚ Publicidad

Costos de Administración. Todos los costos originados en la división administrativa y de relaciones industriales de la empresa.

- + Compras
- + Créditos
- + Cobranzas
- + Personal Administrativo
- + Seguridad
- + Capacitación
- + Derechos legales, etc.

Como se observa, el primer grupo de costos es el determinante y de más altos rubros en la industria, en el, se encuentran los originados en la operación de la planta y en la conservación de los equipos; es decir **los costos de mantenimiento son costos de fabricación, que incluyen en la determinación del costo unitario de producto final.**

El control efectivo de los costos de mantenimiento se considera difícil debido a la naturaleza compleja de las actividades realizadas; pero este control se puede lograr mediante el empleo de técnicas de planeación y evaluación similares a las usadas en la determinación de los costos de producción.

5.2 Objetivos del Costo

Los objetivos de costo más comunes son de tres clases:

- + **Objetivo de costo en el equipo.** Para partes específicas de la máquina, grupos de máquinas, equipo auxiliar o instalaciones
- + **Objetivos del costo en los departamentos.** Atendiendo las acciones específicas de la planta, en lapsos de tiempo predefinidos o bien con referencia a otras unidades de medida
- + **Objetivos del costo en la empresa.** Sobre la base de costos en cada una de las fabricas cuando se trata de una empresa multi-plantas

La elaboración de los objetivos de costo requiere del análisis detallado de los registros de los costos pasados, no solo de mano de obra directa, sino también de repuestos, materiales y herramientas, los cuales deben ser lo más precisos posibles y de varios años anteriores.

Como sucede con la mayoría de los procesos de control, un programa de costos, tiene unos aspectos favorables y otros desfavorables. En la siguiente tabla se pueden comparar dichos aspectos.

Ventajas

- Son de fácil comprensión
- Se preparan con facilidad (cuando se tiene la información exacta)
- Representan condiciones anteriores reales
- Se utilizan fácilmente en comparaciones de desempeño
- Son unidades comunes aplicables a otros departamentos
- Se implantan y conservan con relativa facilidad

Desventajas

- Se basan en registros anteriores, que pueden no ser suficientemente confiables.
- Se obtienen de datos históricos que pueden presentar un deficiente desempeño
- Se aplican en periodos de tiempo largos que pueden dar origen a la desactualización de los costos
- La diferencia de resultados resulta a veces, difícil de identificar

Un programa de objetivos de costos es muy eficaz sobre todo en el caso de empresas multi-plantas, porque constituyen metas alcanzables, que se entienden bien y se administran con facilidad. Cuando los objetivos de costos son a largo plazo, constituyen un factor administrativo eficaz, especialmente cuando se complementan con otros controles de costos de mantenimiento.

5.3 Presupuestos y Control

Los presupuestos son un instrumento administrativo de planeación y control. Sirven para desarrollar un mejor calculo posible de los gastos que se harán en un lapso de tiempo futuro determinado, deben reflejar planes reales y estar basados en posibilidades verdaderas, más bien que en suposiciones de lo que puede ocurrir.

El presupuesto debe ser cuidadoso a los cambios económicos, registrando los cambios que tengan lugar a la hora de aumentar o disminuir la producción. Sin embargo cuando esta no llegue a alcanzar el volumen previsto, el mantenimiento tiene que continuar a un ritmo alto.

El objetivo de un presupuesto de mantenimiento considera básicamente dos aspectos principales:

- ✚ Presupuestar el costo del mantenimiento del equipo, sometido a una operación normal
- ✚ Presupuestar el costo de operar y mantener los equipos de servicio, que representan un auxilio a la operación del sistema productivo

Para elaborar formalmente el presupuesto de Mantenimiento se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- ✚ Programa de ventas en el periodo definido
- ✚ Producción para cumplir el programa de ventas
- ✚ Equipos necesarios para cumplir el programa de producción
- ✚ Necesidades de mano de obra, recursos, materiales y gastos fijos, para conservar eficientemente los equipos productivos

Aunque parezca que la responsabilidad del control del presupuesto es en su totalidad de mantenimiento, el departamento de producción debe colaborar ampliamente, para el desarrollo de buenos programas para asegurar los cambios y mejoras favorables y evitar las fallas de los equipos por mala operación. Mantenimiento participa activamente en el control presupuestal, efectuando los trabajos con la más alta calidad posible, eliminando al máximo las probabilidades de falla, controlando la eficiencia de sus trabajadores y el buen uso de los recursos físicos, e informando con tiempo a producción de las desviaciones presentadas.

Para que el presupuesto pueda ser utilizado como un instrumento de gestión, es preciso comparar los gastos reales con los presupuestados. Los informes que exhiben la comparación de costos, se denominan "reportes de variación", las desviaciones dadas por estos reportes deben analizarse para estimar su efecto en la elaboración de futuros presupuestos y son un elemento importante en la dirección para revisar su funcionamiento, ya que en parte colaboran al cumplimiento de los objetivos de la compañía.

CAPITULO 6. PROPUESTA DE PLANEACION DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO, PREVENTIVO Y PREDICTIVO

La función principal del mantenimiento es asegurar que todo activo físico continúe desempeñando las funciones para las cuales fue seleccionado. La falta de procedimientos operativos y malas prácticas, atentan tanto, la confiabilidad operacional como la eficiencia energética. En el siguiente capítulo se proponen alternativas para mejorar el mantenimiento correctivo y preventivo, que son los más utilizados en la industria, además se realizarán recomendaciones para la utilización de un mantenimiento de carácter predictivo.

En la actualidad el motor Diésel es utilizado en un gran número de aplicaciones, es por ello que se seleccionó el mismo para llevar a cabo las recomendaciones de mejora continua en un problema de carbonización que afecta el rendimiento del motor.

6.1 Aplicaciones de motores Diésel

Las primeras aplicaciones de los motores Diésel fueron necesariamente en plantas estacionarias, principalmente para generación de energía eléctrica, debido al gran tamaño y peso que presentaban los primeros motores, lo que dificultaba su uso en aplicaciones móviles.

Hoy resulta difícil imaginar que no existiera este tipo de motores, ya que en la actualidad son muy utilizados en diferentes sectores. Algunas de las aplicaciones de los motores diésel son:

- ✚ Maquinaria Agrícola
- ✚ Plantas Generadoras de electricidad
- ✚ Propulsión Marítima
- ✚ Vehículos (Autos y Camiones)
- ✚ Maquinaria Industrial



Planta Generadora de electricidad



Maquinaria Agrícola



Maquinaria Industrial



Transporte



Propulsión Marítima



Vehículos TDI Turbodiesel Direct Injection

Figura 6. 1. Aplicaciones de motores Diésel

6.2 Recomendaciones para el mantenimiento de un motor Diésel

Las consecuencias de un mal plan de mantenimiento en un motor Diésel pueden ser la acumulación de carbón en la cámara de combustión, este exceso de carbón deteriora los asientos de las válvulas, obstruye los inyectores y puede llegar a causar un desgaste excesivo en los cilindros, a esto le se conoce como carbonización.

Algunas manifestaciones de carbonización del motor son ^[28]:

- ✚ Dificultad para arrancar el motor en frío
- ✚ Excesiva emisión de humo luego de arrancar el motor en frío
- ✚ Excesiva emisión de humo al acelerar el motor con el vehículo detenido, +/- 3000 rpm
- ✚ Falta de potencia

El motor Diésel funcionará de manera más suave y económica siempre y cuando esté correctamente afinado.

Las ventajas de una adecuada afinación en un motor se pueden resumir en ^[28]:

- ✚ Mejora la combustión, lo que implica ahorro de combustible
- ✚ Alarga la vida útil del motor, evitando desgastes
- ✚ Confiabilidad operacional del motor
- ✚ Mayor economía, ahorro de un mantenimiento correctivo
- ✚ Disminuye la contaminación ambiental

Al realizar una correcta afinación del motor se mejoran las condiciones para la combustión y por lo tanto se tendrá un mejor aprovechamiento de la energía. Al realizarse una mejor combustión el motor sufre menor desgaste ya que se evitan esfuerzos innecesarios en el motor, por lo que la vida del mismo se alarga.

[28]. <http://www.eurotecnicadlsac.com/recomendaciones.html>

6.3 Propuesta para Optimizar el Mantenimiento Correctivo en un motor Diésel

El objetivo de la siguiente propuesta es la de mejorar continuamente, además de llevar un control de las acciones que se realizaron, esto con el fin de optimizar las labores de mantenimiento correctivo, se propone el uso de un formato el cual se puede utilizar para cualquier instalación o equipo a reparar, sin embargo su uso se ejemplificará mostrando un ejemplo para las fallas comunes presentes en un motor diésel. Además se propone que el departamento de mantenimiento cuente con las herramientas adecuadas y en buen estado, ordenadas y limpias.

Plan de Acción de Mantenimiento		
EQUIPO: _____ FECHA: _____ RESPONSABLE: _____		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> ■ Falla ■ Soluciones y Evaluación ■ Mantenimiento Correctivo </div> </div>
PROCESO RESOLUTIVO		
<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>■ 1. Identificar el problema</p> <p>a) Falta de Potencia</p> <p>b) Humo excesivo después de arrancar el motor</p> <p>c) _____</p> <p>d) _____</p> <p>e) _____</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>■ 5. Planee la mejor solución</p> <p>a) Se calibrara la bomba y se realizaran los cambios de filtro de aire y combustible</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>■ 9. Programe</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>■ 2. Diagnosticar su causa raíz</p> <p>a) Problemas de alimentación de combustible y aire</p> <p>b) Mala regulación de combustible</p> <p>c) Fallas en la bomba de inyección</p> <p>d) Obstrucción de filtros</p> <p>e) Falla en el turbocompresor</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>■ 6. Establecer prioridades y clasifiquelas</p> <p>1. Calibrar la bomba de inyección</p> <p>2. Cambio de filtro de combustible</p> <p>3. Cambio de filtro de aire</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>■ 10. Dirija y Realice</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>■ 3. Proponga soluciones alternativas</p> <p>a) Calibrar bomba de inyección</p> <p>b) Cambio de filtros de aire, aceite y combustible</p> <p>c) Cambio de toberas de inyección</p> <p>d) Revisión de bujías de precalentamiento</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>■ 7. Determinar la carga de trabajo</p> <p>a) 1 técnico para calibrar bomba de inyección y cambio de filtro</p> <p>b) 1 técnico para cambio de filtro de aire</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>■ 11. Controle y corrija</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>■ 4. Evalúe y Decida</p> <p>a) Se calibrara la bomba de inyección y se realizara cambio de filtros de aire y combustible</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>■ 8. Comparar la carga y fuerza de trabajo</p> </div> </div> </div>		

Figura 6. 2. Formato de Mantenimiento Correctivo

Es importante la comprensión de los colores utilizados en el formato de la figura 6.2, ya que son colores empleados de manera internacional y la interpretación que se le puede dar es la más cercana a un semáforo, automáticamente los responsables de mantenimiento identificarán la etapa en la que se encuentran para la solución del problema.

■ Rojo: Alto	■ Amarillo: Precaución	■ Verde: Continuar
---	--	---



Figura 6. 3. Herramienta fuera de lugar



Figura 6. 4. Herramientas ordenadas

También se propone que la herramienta este en un espacio exclusivo y que sea el más cercano donde se encuentre de manera ordenada, lista para su uso en cualquier momento. Una vez terminadas las labores de mantenimiento **se debe entregar el formato** al departamento de mantenimiento, el cual se encargara de realizar:

- ✚ Una base de datos con los procedimientos que se realizaron
- ✚ Herramienta utilizada y propuesta de nueva que agilice las labores
- ✚ Registrar el tiempo en el que se llevaron a cabo las reparaciones

Una vez registrados los datos de acciones tomadas y tiempo de reparación, se tiene el primer punto de referencia, el cual se pretende disminuir en una futura reparación. Con las siguientes recomendaciones se busca optimizar el mantenimiento correctivo y lograr así una mejora continua.

6.4 Mantenimiento Preventivo en un motor Diésel

En el capítulo anterior se realizó una propuesta para optimizar las labores del mantenimiento correctivo debido a que en la mayoría de los casos se producen paradas imprevistas, en este tipo de mantenimiento no existe algún tipo de planeación de manera estructurada, lo que puede provocar que las labores de mantenimiento no sean las adecuadas.

En comparación con la aplicación del mantenimiento preventivo permite programar actividades para el mantenimiento del equipo lo que asegura su operación eficiente y segura.

Para ejemplificar la aplicación del mantenimiento preventivo se implementará en la solución de un problema de carbonización en un motor diésel. En el subcapítulo 6.2 se dieron las principales manifestaciones de carbonización en un motor diésel, pero si no se ha encontrado que los síntomas mencionados sean causados por:

- ✚ Problemas de alimentación de combustible
- ✚ Problemas en el sistema de admisión de aire

Se debe realizar una medición a la compresión del motor, una compresión baja en todos los cilindros indica problemas de carbonización ^[28].

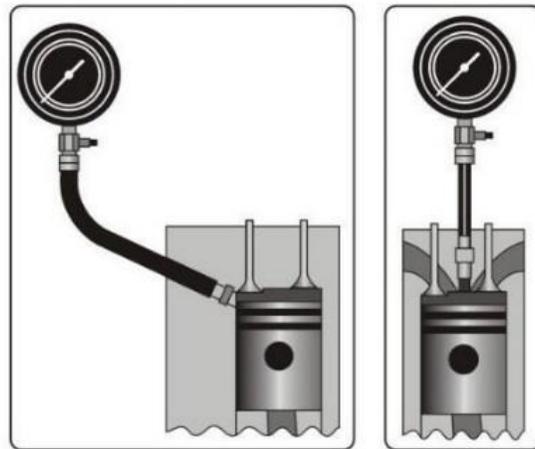


Figura 6. 5. Medición de compresión de cilindros

Fuente: www.herrcity.com

[28]. <http://www.eurotecnicadlsac.com/recomendaciones.html>

Si las lecturas de compresión se encuentran por debajo del límite inferior, es necesario retirar la culata para realizar un mantenimiento correctivo.

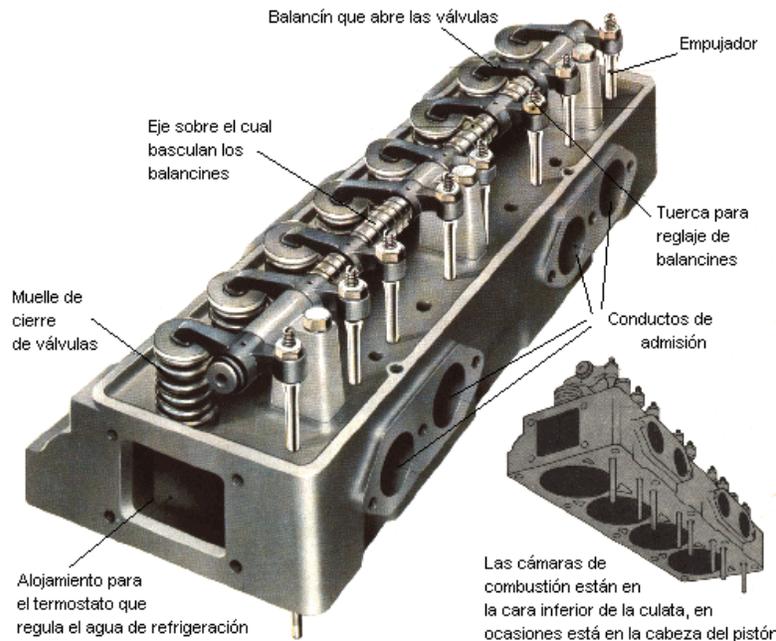


Figura 6. 6. Culata de un motor Diésel
Fuente: www.metallube.es

El mantenimiento correctivo para este caso consiste en limpieza, rectificación de válvulas y asientos de válvulas. Salvo que se detecte algún otro problema [28].

El motor funcionará de manera más suave y económica siempre y cuando se haya realizado una buena afinación; las actividades a realizar para afinar el motor son las siguientes:

- ✚ Calibrar bomba de inyección
- ✚ Cambio de filtros de aire, aceite y combustible
- ✚ Cambio de toberas de inyección
- ✚ Revisión de bujías de precalentamiento

Al realizar las actividades anteriores se está afinando el motor, por lo que este mejorará sus condiciones realizando una mejor combustión, por lo tanto se tendrá un mejor aprovechamiento de combustible, haciéndolo más eficiente, además de aumentar su vida útil.

[28]. <http://www.eurotecnicadlsac.com/recomendaciones.html>

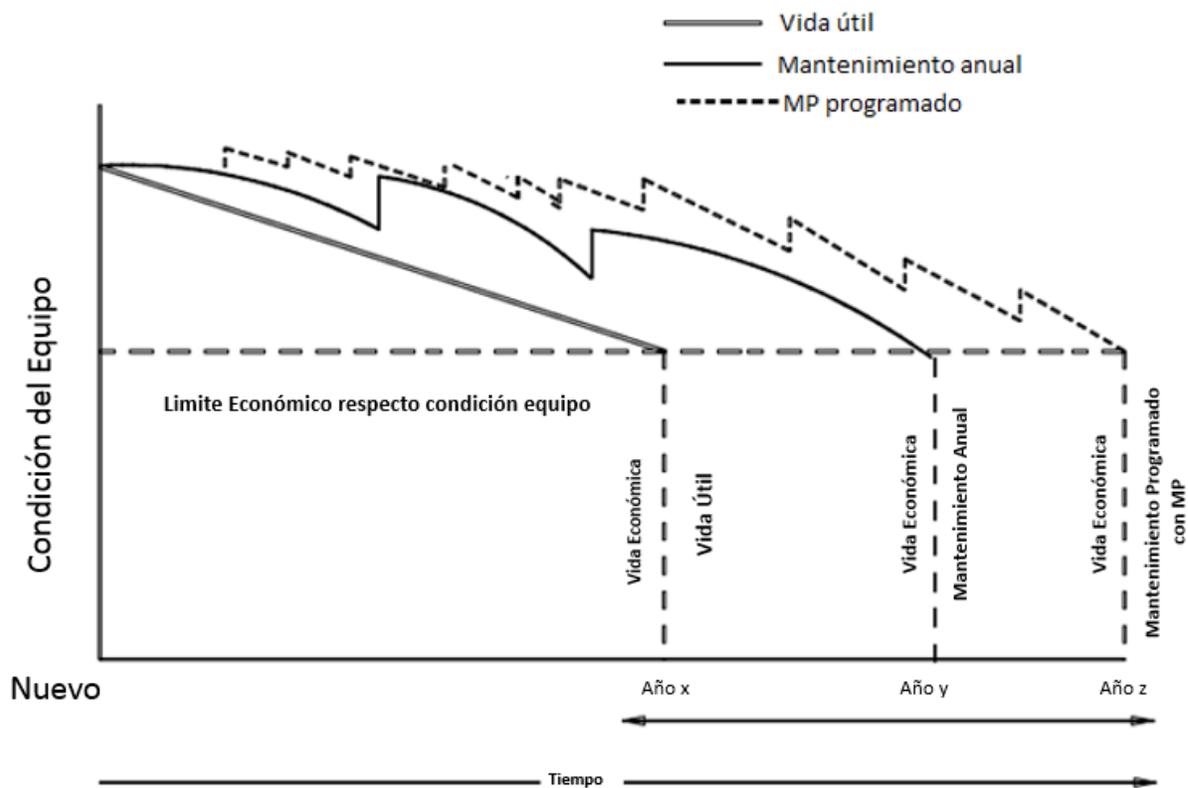


Figura 6. 7. Prolongación de vida útil del active con Mantenimiento Preventivo
Fuente: Medios electrónicos

Una vez que se realizó la afinación del motor, este se encuentra en óptimas condiciones y a partir de la fecha de prueba, se tomará como referencia para realizar la revisión de cada una de sus partes tal como lo indique el fabricante de la pieza, con ayuda del mantenimiento preventivo se evitara el problema de carbonización. A continuación se propone un formato para llevar un mejor control de las actividades a realizar.

PLAN DE ACCION					
EQUIPO: Motor Diésel		INFORME DE ANALISIS DE AVERIAS			
FECHA: 5 enero 2015					
RESPONSABLE: Carlos Hernández					
CODIGO	ACCION	FECHA OBJETIVO	FECHA REVISION	GRADO DE AVANCE	OBSERVACIONES
198142	Cambio de filtros de aire	5 octubre 2015	5 octubre 2015	ALTO	CAMBIO
485730	Cambio de filtro aceite	15 septiembre 2015	15 septiembre 2105	ALTO	CAMBIO
837204	Calibrar bomba de inyección	22 diciembre 2015	22 diciembre 2015	MEDIO	CALIBRACION
837205	Cambio filtro de combustible	5 mayo 2015	5 mayo 2015	BAJO	NO SE CAMBIO

Figura 6. 8. Formato análisis de averías

Los datos que aparecen en el formato, son algunas opciones de actividades a realizar y se almacenarán en una base de datos para llevar a cabo la programación exacta de las actividades a realizar para un mantenimiento preventivo, ya que se tiene funcionando en óptimas condiciones y se tiene un registro de las piezas del motor se procederá a ir mejorando continuamente.

Se propone la mejora continua en las instalaciones con el fin de aumentar su vida útil, lo que facilitara las labores de mantenimiento y a su vez permitirá trabajar de manera más ordenada e identificar de manera más fácil las instalaciones que se encuentran en mal estado. La siguiente lista es una propuesta en donde se deben implementar planes para lograr así una mejora continua.

- ✚ Instalaciones
- ✚ Herramienta especialmente seleccionada para cada tarea
- ✚ Herramienta en óptimas condiciones
- ✚ Identificar las zonas de trabajo a través de colores



Figura 6. 9. Ejemplo de mejora continua en instalaciones

6.5 Propuesta para Planificar el Mantenimiento Predictivo

La aplicación de este tipo de mantenimiento se realiza en equipos rotativos, estos equipos rotativos o la mayoría de ellos pueden estar interconectados entre si de alguna manera, por ejemplo, el caso de los equipos rotativos de una refinería de petróleo o de un submarino nuclear. Si se toma de ejemplo un típico taller de metalmecánica, los equipos rotativos (tornos, taladros, prensas, etc.) raramente están interconectados.

El objetivo del siguiente capítulo es dar una propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad para así hacer casi nula la frecuencia de fallas en los equipos.

Para lograr dicho objetivo se elaboraran [29]:

- ✚ Bases de datos de fallas de los equipos seleccionados
- ✚ Análisis de Modos y Efectos de Fallas
- ✚ Estudio de mantenimiento centrado en confiabilidad

[29]. Rafael Melo Gonzales. "Estudios de Confiabilidad Aplicados a Instalaciones de Producción de la Industria Petrolera". Congreso, noviembre 2007 San Sebastián España.

- ✚ Matrices de frecuencia / severidad
- ✚ Construcción y simulación de modelos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad

Para la recolección de información relacionada a fallas de los equipos se utilizarán las siguientes herramientas:

- ✚ Bitácoras de Operación
- ✚ Bitácoras de Mantenimiento de los equipos seleccionados

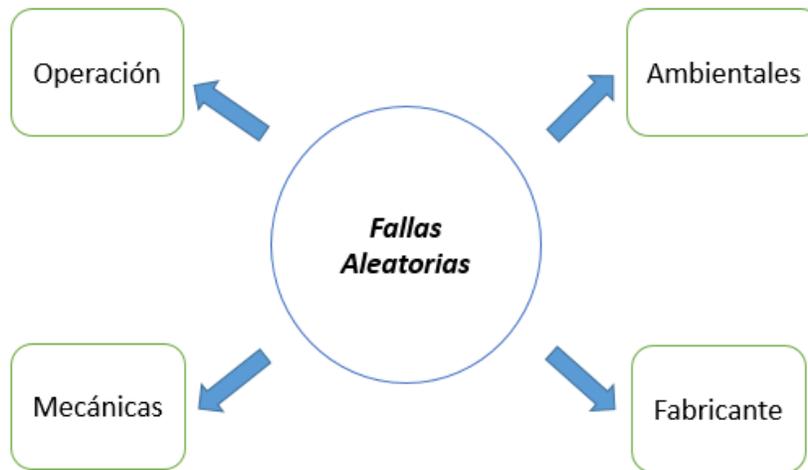


Figura 6. 10. Causas de fallas

Una vez que se tiene la información sobre las fallas, se realizará la aplicación del mantenimiento predictivo y para ello se propone el siguiente esquema para poder realizar la planificación y reparación de los equipos.

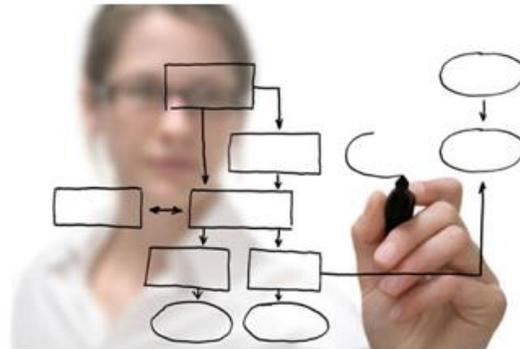
PLANEACION Y PREPARACION

1. Integración de equipo
2. Identificación de instalaciones
3. Priorizar las instalaciones y equipos
4. Identificar y documentar el proceso de revisión
5. Orientación y entrenamiento
6. Reglas, suposiciones, restricciones y eliminaciones



ANALISIS

1. Junta de arranque del grupo de trabajo
2. Recopilación de información requerida
3. División de los equipos críticos seleccionados
4. Funciones
5. Falla funcional
6. Modo de falla
7. Efectos de las fallas
8. Consecuencias de las fallas
9. Evaluación de tareas
10. Selección de tareas



IMPLEMENTAR RESULTADOS

1. Plan de Mantenimiento
2. Implementar el plan de mantenimiento

MEJORA CONTINUA

1. Planear
2. Actuar
3. Verificar
4. Hacer

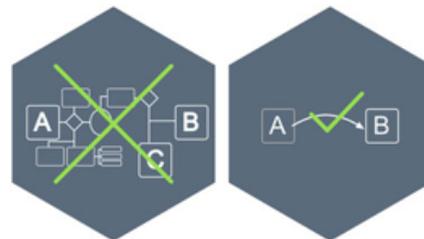


Figura 6. 11. Propuesta para la planificación del Mantenimiento Predictivo

El realizar una correcta planificación de las tareas de mantenimiento, permitirá al departamento del mismo localizar problemas que se pueden solucionar de manera más fácil y ordenada; la mejora continua (planificar, hacer, verificar y actuar) es el pilar en cualquier proyecto si el objetivo es ser más competitivo en el mercado actual.

El presente trabajo de tesis, permite corroborar que haciendo uso de las tácticas de la mejora continua es posible optimizar las actividades de mantenimiento, permitiendo asegurar la competitividad empresarial en cualquier sector, avalando calidad, seguridad industrial, confiabilidad y sobre todo garantizando la disponibilidad de los equipos. Esta herramienta, otorga como consecuencia de su implementación la organización y planeación de los proyectos de mantenimiento en las diversas plantas industriales.

El mantenimiento dentro de la industria, es el motor de la producción y sin él, no se puede garantizar una producción controlada y continua. Es de suma importancia contar con una visión a mediano y largo plazo, así como planificar y programar el mantenimiento, ya que uno de los resultados más importantes al implementarlo es la reducción de costos.

Tomando en cuenta las propuestas que se muestran a lo largo del presente trabajo de tesis se podrá obtener una mayor productividad, aumento de la vida útil de los activos físicos y obtener mayor eficiencia energética, lo que convierte a empresas en compañías más rentables y eficientes.

El trabajo escrito pone a disponibilidad del lector los pasos a seguir para mejorar la planeación y administración de un proyecto de mantenimiento, además incluye de forma resumida los métodos utilizados en la mayoría de manuales o libros de mantenimiento industrial.

La integración de ambas cosas (guía y mejora continua) aplicables de forma conjunta muestra una nueva tendencia a implementar y se diferencia de lo que actualmente se emplea.

El propósito de la propuesta es lograr la concientización de directivos y departamentos de producción, para hacer uso de esta guía y tener presente la importancia que tiene el mantenimiento en todos los activos físicos que conforman la empresa, aplicando el programa del mismo que mejor se adapte a sus instalaciones, ya que en las últimas cuatro décadas la industria ha experimentado una serie de transformaciones a nivel organizacional, tecnológico, social y humano.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 Mantenimiento industrial.	2
Figura 1. 2 Primeras fábricas.	3
Figura 1. 3. Línea de producción BMW Serie 3.	5
Figura 1. 4. Diagrama de Ishikawa.....	11
Figura 1. 5. Curva de Costos	12
Figura 2.1. Mantenimiento a instalaciones de un parque industrial.....	17
Figura 2.2. Ciclo productivo	20
Figura 3.1. Categorías del Mantenimiento Preventivo	27
Figura 3.2 Medida del nivel de vibración	33
Figura 3.3. Curva de costos	35
Figura 4.1 Línea de ensamble fábrica de BMW	38
Figura 4.2 Confiabilidad Operacional	39
Figura 4.3 Nuevas técnicas de Mantenimiento	44
Figura 4.4 Estructura Moderna del TPM	46
Figura 4.5 Ciclo Reactivo del Mantenimiento-	49
Figura 4.6 Herramientas de la Confiabilidad Operacional	52
Figura 4.7 Formato "Calculo de Criticidad"	55
Figura 4.8 Árbol Lógico de Fallas	58
Figura 4.9 Matriz para evaluar riesgo	59
Figura 4.10 Curva de costos o impacto total	61
Figura 6.1 Aplicaciones de motores Diésel	69
Figura 6.2 Formato de Mantenimiento Correctivo	71
Figura 6.3 Herramienta fuera de lugar	72
Figura 6.4 Herramientas ordenadas	72
Figura 6.5 Medición de comprensión de cilindros	73
Figura 6.6 Culata de un motor Diésel	74
Figura 6.7 Prolongación de vida útil con Mantenimiento Preventivo	75
Figura 6.8 Formato análisis de averías	76
Figura 6.9 Ejemplo de mejora continua en instalaciones	77
Figura 6.10 Causas de fallas	78
Figura 6.11 Propuesta para la planificación del Mantenimiento Predictivo	79

BIBLIOGRAFIA

1. ALVAREZ, A. Eva. (2005). "Coaching: ¿ Una palabra nueva para nombrar viejas prácticas o verdaderamente algo nuevo?". Revista Capital Humano No. 187. Madrid, España. Disponible en línea en: www.losrecursoshumanos.com
2. LOURIVAL TAVARES. " Administración Moderna de Mantenimiento"
3. AMENDOLA, Luis Jose. (2002) "Modelos Mixtos de Confiabilidad".
www.mantenimientomundial.com
4. ARRENDO POLAR, Alberto. (2009). "Responsabilidad Social Empresarial: Una síntesis de Ideas y Casos". Universidad Católica de Santa María, Arequipa Peru.
5. BAENA PAZ, Guillermina (Cor.). (2005). "Seguridad Humana e Infraestructura Emocional". Primera Edición. Proyecto PAPIME. Editorial Metadata. UNAM, México D.F.
6. BAENA PAZ, Guillermina (Editora). (2006). "Seguridad Humana y Capital Emocional "Primera Edición. Proyecto PAPIME. Laboratorio de Estudios del Futuro DGPA-UNAM.
7. BESTRATEN, Manuel y ARENAS, Bárbara. (2007) NTP 745: "Nueva Cultura de Empresa y Condiciones de Trabajo". INSHT, Ministerio de Trabajo y Asuntos sociales. Madrid, España
8. BLANCHARD, Ken, RANDOLF, Alan, GRAZIER, Peter. (2006). "Trabajo en equipo" Go Team! Tres pasos para conseguir grandes resultados. DEUSTO Recursos Humanos. Barcelona, España.
9. DANIELS, Aubrey C. (1993). "Gerencia del Desempeño". Tercera Edición. Editorial Mc-Graw Hill
10. DIAZ NAVARRO, Juan. (2010). "Técnicas de Mantenimiento Industrial" segunda edición. Calpe Institute of Technology. Valencia, España.
11. DUFFUAA, S. RAOUF, A. Dixon, J. (2008) "Sistemas de Mantenimiento. Planeación y Control" segunda edición. Editorial Limusa Wiley, México.
12. MARTINEZ R. Luis. (2007) "Organización y Planificación de Sistemas de Mantenimiento". Centro de Altos Estudios Gerenciales, Instituto Superior de Investigación y Desarrollo. Caracas, Venezuela.
13. MORA, Enrique. (2004). TPM: Mantenimiento Productivo Total" TPM en Español. Presentación Básica del TPM. TPMonline.com
14. PASCUAL J. Rodrigo. (2002) "Gestión Moderna de Mantenimiento" Segunda Edición. Dpto. Ing. Mecánica, U. de Chile. Beauchef 850, Santiago de Chile
15. GARCIA, Oliverio (2012). "Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial". Ediciones de la U. Bogotá
16. <http://www.1reliability.com/index.php?/http://www.1reliability.com/articulos/gestion-integral-de-mantenimiento-basada-en-confiabilidad//gestion-integral-de-mantenimiento-basada-en-confiabilidad/>