



Gestión



Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial

Principios fundamentales

Ing.MSc. Oliverio **García** Palencia CMRP.





Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial

Principios fundamentales

Ing. MSc. Oliverio **García** Palencia CMRP.

García Palencia, Oliverio

Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial -- Bogotá : Ediciones de la U, 2012.
170 p. ; 24 cm.

1. Generalidades del mantenimiento 2. Terotecnología 3. Ciclo productivo
4. Sistemas básicos del mantenimiento 5. Sistemas de control I. Tít.
658.38 cd 21 ed.

Área: Gestión

Primera edición: Bogotá, Colombia, abril de 2012

© Oliverio García Palencia

E-mail: oligar52@yahoo.com

(Foros de discusión, blog del libro y materiales complementarios del autor
en www.edicionesdelau.com)

© Ediciones de la U - Calle 24 A No. 43-22 - Tel. (+57-1) 4810505, Ext. 114

www.edicionesdelau.com - E-mail: editor@edicionesdelau.com

Bogotá, Colombia

Ediciones de la U es una empresa editorial que, con una visión moderna y estratégica de las tecnologías, desarrolla, promueve, distribuye y comercializa contenidos, herramientas de formación, libros técnicos y profesionales, e-books, e-learning o aprendizaje en línea, realizados por autores con amplia experiencia en las diferentes áreas profesionales e investigativas, para brindar a nuestros usuarios soluciones útiles y prácticas que contribuyan al dominio de sus campos de trabajo y a su mejor desempeño en un mundo global, cambiante y cada vez más competitivo.

Coordinación editorial: Adriana Gutiérrez M.

Carátula: Hipertexto Ltda.

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro y otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Apreciad@ lector:

Es gratificante poner en sus manos esta obra, por esta razón le invitamos a que se registre en nuestra web: **www.edicionesdelau.com** y obtenga beneficios adicionales como:

- ✓ **Complementos digitales de esta obra**
- ✓ **Actualizaciones de esta publicación**
- ✓ **Interactuar con los autores a través del blog**
- ✓ **Descuentos especiales en próximas compras**
- ✓ **Información de nuevas publicaciones de su interés**
- ✓ **Noticias y eventos**



Para nosotros es muy importante conocer sus comentarios. No dude en hacernos llegar sus apreciaciones por medio de nuestra web.

Visítenos en www.edicionesdelau.com



aprendiz
en **línea** @je

Desarrollamos y generamos alianzas para la disposición de contenidos en plataformas web que contribuyan de manera eficaz al acceso y apropiación del conocimiento. Contamos con nuestro portal especializado en e-learning:

Visítenos en www.aprendizajeenlinea.com



A Dios que me dio la capacidad de escribir,
a mi familia, soporte de mi vida,
y a mis colegas de la UPTC,
que me apoyaron en la ardua labor docente.

Contenido

Introducción.....	15
Capítulo 1. Generalidades del mantenimiento.....	19
1.1 COMENTARIOS GENERALES	19
1.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	21
1.3 DEFINICIÓN Y OBJETIVOS	23
1.4 MISIÓN DEL MANTENIMIENTO	24
1.5 POSTULADOS DEL MANTENIMIENTO	25
1.6 VALORES BÁSICOS DEL MANTENIMIENTO	27
1.7 POLÍTICAS GERENCIALES DEL MANTENIMIENTO.....	28
1.8 OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO	29
1.9 PROCESO DE OPTIMIZACIÓN	30
1.10 ELEMENTOS CLAVES PARA LA OPTIMIZACIÓN	34
1.10.1 Visión	34
1.10.2 Organización	34
1.10.3 Tecnología	35
1.10.4 Gente	35
1.11 EL MANTENIMIENTO EXCELENTE	36
Capítulo 2. Actividades del mantenimiento	39
2.1 LA INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO	39
2.2 ACTIVIDADES DE LA TEROTECNOLOGÍA	40
2.2.1 Inspección	41
2.2.2 Servicio	41
2.2.3 Reparación	41
2.2.4 Modificación	42
2.2.5 Fabricación	42
2.2.6 Montaje	42
2.2.7 Cambio	42
2.3 EL CICLO PRODUCTIVO	43

2.4 PREPARACIÓN DE LOS TRABAJOS	44
2.4.1 Objetivos	44
2.4.2 Razones y justificaciones	45
2.4.3 Eficiencia, planeamiento y fases	45
2.4.4 Etapas y procedimientos de preparación	48
2.5 LOCALIZACIÓN DE FALLAS	49

Capítulo 3. Sistemas básicos de mantenimiento.....51

3.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	51
3.2 EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO (CM)	53
3.2.1 Generalidades	53
3.2.2 Recursos necesarios	53
3.2.3 Razones de alto Mantenimiento Correctivo	54
3.2.4 Proceso resolutorio al Mantenimiento Correctivo	55
3.3 EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PM).....	55
3.3.1 Conceptos de Mantenimiento Preventivo	55
3.3.2 Categorías del Mantenimiento Preventivo	57
3.3.3 Ventajas del Mantenimiento Preventivo	59
3.3.4 Programas de Mantenimiento Preventivo	60
3.3.5 Aplicación de los programas	61
3.3.6 Frecuencia de las inspecciones	62
3.3.7 Implementación de un Sistema Preventivo	63
3.3.8 Consideraciones adicionales	64
3.4 EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO (CBM).....	65
3.4.1 ¿Qué es el Mantenimiento Predictivo?	65
3.4.2 Mantenimiento Preventivo contra Predictivo	66
3.4.3 Beneficios del Mantenimiento Predictivo	68
3.4.4 Implementación del Mantenimiento Predictivo	69

Capítulo 4. Administración de sistemas de mantenimiento73

4.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVOS.....	73
4.2 FASES DE LA ADMINISTRACIÓN	74
4.2.1 Fase 1. Previsión	74
4.2.2 Fase 2. Planeación	74
4.2.3 Fase 3. Organización	75
4.2.4 Fase 4. Integración	75
4.2.5 Fase 5. Dirección	76
4.2.6 Fase 6. Control	76
4.3 PLANIFICACIÓN DE LOS TRABAJOS.....	77
4.3.1 Conceptos básicos	77

4.3.2 Proceso de planeación	78
4.4 PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	78
4.4.1 Definición y etapas	78
4.4.2 Clasificación de los programas	79
4.4.3 Información necesaria para programar	80
4.4.4 Elementos para hacer un programa	80
4.5 ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO	81
4.5.1 Importancia	81
4.5.2 Organigramas y descripción de funciones	82
4.5.3 Sistemas de organización del mantenimiento	83
4.5.4 Funciones del encargado de mantenimiento	85
4.5.5 Recursos fundamentales para la organización	86

Capítulo 5. Estrategias del mantenimiento moderno89

5.1 INTRODUCCIÓN	89
5.2 QUÉ ES LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL.....	90
5.3 FRENTES DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL	92
5.3.1 Confiabilidad de los activos	92
5.3.2 Confiabilidad de los procesos	93
5.3.3 Confiabilidad de diseño	94
5.3.4 Confiabilidad del Talento Humano	95
5.4 BENEFICIOS DE LA CONFIABILIDAD.....	96
5.5 APLICACIÓN DE LA CONFIABILIDAD	96
5.6 ESTRATEGIAS DE LA CONFIABILIDAD.....	97
5.6.1 Mantenimiento Basado en Condición (CBM)	98
5.6.2 Mantenimiento Productivo Total (TPM)	100
5.6.3 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	103
5.6.4 Optimización de Mantenimiento Planeado (PMO)	105
5.7 HERRAMIENTAS DE LA CONFIABILIDAD.....	108
5.7.1 Análisis de Criticidad (CA)	110
5.7.2 Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)	112
5.7.3 Análisis Causa Raíz (RCA)	114
5.7.4 Inspección Basada en Riesgos (RBI)	116
5.7.5 Análisis Costo Riesgo Beneficio (BRCA)	118
5.7.6 Costo del Ciclo de Vida (LCC)	120

Capítulo 6. Sistemas de control y costos..... 123

6.1 ACTIVIDADES DEL CONTROL	123
6.2 ESTÁNDARES DE MANTENIMIENTO.....	124
6.3 ÍNDICES DE CONTROL.....	125

6.3.1 Índices de Planeación	126
6.3.2 Índices de Carga de Trabajo	127
6.3.3 Índices de Costos	127
6.3.4 Índices de Productividad	128
6.4 INDICADORES DE GESTIÓN.....	129
6.5 AUDITORÍAS DE MANTENIMIENTO.....	132
6.6 COSTOS DEL MANTENIMIENTO.....	134
6.6.1 Costos en una empresa	134
6.6.2 Objetivos de costo	136
6.6.3. Los presupuestos y el control	138
Capítulo 7. La sistematización del mantenimiento	141
7.1 PROCESAMIENTO ELECTRÓNICO DE DATOS	141
7.2 SISTEMA DE MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO	143
7.2.1 El enfoque sistémico del mantenimiento	143
7.2.2 Elementos del sistema de mantenimiento	144
7.2.3 Qué buscar en el software	145
7.2.4 Estrategias para el diseño del sistema	146
7.2.5 Implementación del sistema seleccionado	148
7.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO COMPUTARIZADO	149
7.4 SISTEMAS EXPERTOS EN MANTENIMIENTO	151
7.4.1 La Inteligencia Artificial y los Sistemas Expertos	151
7.4.2 Campos de aplicación de los Sistemas Expertos	153
7.4.3 Aplicabilidad de los Sistemas Expertos	154
7.4.4 Sistema Experto de Mantenimiento Predictivo	154
Referencias bibliográficas	159
Bibliografía complementaria	165

Índice de figuras

Figura 1.1. Elementos del Mantenimiento.	31
Figura 1.2. Costos Totales del Mantenimiento.	32
Figura 2.1. Síntesis del Ciclo Productivo.	43
Figura 3.1. Categorías del Mantenimiento Preventivo.	58
Figura 5.1. Frentes de la Confiabilidad Operacional.	91
Figura 5.2. Estrategias de Confiabilidad Operacional.	98
Figura 5.3. Estructura Moderna del TPM.	101
Figura 5.4. Evolución del alcance del TPM.	103
Figura 5.5. Ciclo Reactivo del Mantenimiento.	105
Figura 5.6. Herramientas de la Confiabilidad Operacional.	109
Figura 5.7. Árbol Lógico de Fallas.	115
Figura 5.8. Matriz para evaluar riesgo.	116
Figura 5.9. Curva de costos o impacto total.	119

Introducción

A nivel mundial, día a día se otorga mayor atención a las actividades de estímulo a la economía y el crecimiento organizacional de los países en desarrollo. Sin embargo, el progreso empresarial no se reduce sólo a la inversión en nuevas instalaciones de producción y a la transferencia de tecnología extranjera, sino que es indispensable utilizar efectivamente las instalaciones existentes, donde uno de los requisitos primordiales es establecer un servicio sistémico y técnico de mantenimiento eficiente, eficaz, seguro y económico de los activos industriales.

Dos premisas son básicas en los programas de mejoramiento continuo de una industria. En primer lugar los procesos del mantenimiento han de optimizarse; porque en la vida útil de los activos, por el uso, paso del tiempo, agentes externos y accidentes ocasionales, sus elementos sufren una degradación que no es apreciada correctamente por el usuario; por lo cual es necesario, aumentar la inversión en el mantenimiento de los equipos productivos, para obtener el mínimo costo total de producción. En segundo lugar, para el éxito de cualquier proyecto, este debe suscitar la cooperación y el interés todos, y ha de ser proyectado concretamente para una planta determinada.

Por lo anterior la capacitación de profesionales en el área de la gestión *Terotecnológica* no solo es necesaria, sino indispensable, y esto justifica plenamente los esfuerzos cumplidos para dotar de documentos actualizados en esta rama del conocimiento, y la elaboración de textos que recopilen los aspectos más relevantes, para colocarlos al alcance de estudiantes, trabajadores y profesionales con la claridad y sencillez necesarias.

El objetivo del presente trabajo, desarrollado en la UPTC (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia), en el programa de Ingeniería Electromecánica, para la cátedra de Administración de Mantenimiento, es dar a conocer los principios elementales de la Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial,

que busca integrar las teorías gerenciales en las actividades de mantenimiento; se centra en los sistemas de gestión, donde se muestran sus elementos constituyentes, los factores claves de productividad, las aplicaciones y herramientas para mejorar la eficacia del mantenimiento, con las metodologías para la implementación en la Industria Nacional.

El documento está dividido en siete capítulos que presentan desde los principios, las generalidades y los postulados del mantenimiento, con sus políticas gerenciales y el proceso de optimización para alcanzar el *Mantenimiento Excelente*, en el primer capítulo, hasta el desarrollo de *Sistemas Expertos para el Mantenimiento*, en el último capítulo.

En el segundo capítulo se estudia la *Ingeniería del Mantenimiento* y las actividades fundamentales del mantenimiento moderno dentro de ciclo del sistema productivo, junto con la metodología para la preparación de los trabajos de manutención.

El tercer capítulo desarrolla la teoría de la clasificación moderna de los tipos de mantenimiento y los tres sistemas básicos de aplicación actual como son: el *Mantenimiento Correctivo*, el *Mantenimiento Preventivo* y el *Mantenimiento Predictivo*.

La *Administración de los Sistemas de Mantenimiento*, con sus fases y las etapas correspondientes para su implementación, se estudia a lo largo del cuarto capítulo, donde se hace énfasis particular en la planeación, la programación y la organización del departamento de mantenimiento, dejando para los capítulos finales las actividades correspondientes al control y al manejo de la información.

Las *Estrategias del Mantenimiento Moderno*, son los temas tratados en el quinto capítulo, que involucra la teoría de la *Confiabilidad Operacional*, sus frentes de desarrollo, y las estrategias y las herramientas de mayor aplicabilidad en la industria, entre las que se destacan: el *Mantenimiento Basado en Condición* (CBM), el *Mantenimiento Productivo Total* (TPM), el *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* (RCM) y la *Optimización del Mantenimiento Planeado* (PMO).

El capítulo sexto, como se dijo anteriormente, desarrolla los *Sistemas de Control y Costos*, las actividades de control, los estándares de control y los índices técnicos de control, que permiten establecer la efectividad en el desarrollo de las labores y el desempeño del Talento Humano, junto al análisis correspondiente de los costos operacionales para establecer el rendimiento, la productividad y la competitividad de la organización.

Los *Sistemas de Información Gerencial del Mantenimiento*, son el tema del último capítulo del texto, que repasa las teorías del Procesamiento Electrónico de Datos, y los diferentes software usados en la gestión del mantenimiento computarizado, hasta definir los requerimientos para un sistema de *Mantenimiento Predictivo Computarizado* y las principales aplicaciones de los *Sistemas Expertos* al mantenimiento, como se había mencionado anteriormente.

Finalmente, el texto se presenta como un documento actualizado sobre la gran diversidad de aplicaciones industriales, derivadas de la gerencia moderna, la Gestión de los Activos Físicos, el proceso de mejoramiento continuo japonés y la Gestión de la Calidad Total. A lo largo del libro se incluyen algunos elementos necesarios para establecer un programa de *Optimización Integral del Mantenimiento Industrial* enmarcada dentro de la filosofía moderna y las recomendaciones para desarrollar un proyecto de Mantenimiento Excelente.

La adecuada utilización del texto por todos los niveles de la función del mantenimiento, para aclarar principios y despertar la inquietud en los lectores de profundizar en el estudio de las modernas tecnologías de la gestión del mantenimiento, u otros tópicos aquí tratados, constituye el propósito último del presente trabajo. Cabe anotar finalmente, que los temas desarrollados a lo largo del texto pueden ser ampliados con la bibliografía que se da al final, donde las referencias corresponden a los números encerrados en paréntesis a lo largo del libro.

1. Generalidades del mantenimiento

1.1 COMENTARIOS GENERALES

El mantenimiento puede considerarse tan antiguo como la existencia de la humanidad. Por relatos históricos se conoce que 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 su supervivencia, utilizando cada día los medios y los recursos más efectivos para alcanzar sus fines.

Posteriormente, con la creación de los primeros talleres, al comienzo del siglo XX, se inició la etapa de ejecución de actividades de mantenimiento reparativo, y del 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 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^[41]:

- *Normal*: debido a causas como la presión, movimiento o velocidad 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 improgramables que se conocen usualmente como accidentes.

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

Esto se debe a que el mantenimiento recibe muy poca atención y se le tiene como un recurso para cubrir emergencias, llegándose a considerar una carga de producción; e inclusive a definirlo como *"El mal necesario de la planta que debe ser tolerado"*. 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 el degradamiento de sus funciones dentro de la empresa.

La falta de complementación de la técnica con la aplicación de recursos de gestión estratégica conlleva a los directores de mantenimiento a una dependencia acentuada de los puntos de vista, actividades y programas de otros departamentos de la compañía, como producción, ingeniería, técnico, compras y relaciones industriales. Por tanto, se requiere de un plan de mantenimiento óptimo que abarque los campos de organización y administración, que optimice los factores disponibles y que pueda ser aceptado y adoptado 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), aumento de la calidad de los productos, y en general mejoramiento de la productividad de 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 de concepción centralizada por una integrada, y lograr de esta manera la conformación de grupos interdisciplinarios que trabajen con el enfoque sistémico global.

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 aquellas plantas que 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.

1.2 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^[41]:

- 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 reactivo o de reparación
- No había necesidad de un mantenimiento sistemático.

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 de la mecanización en las industrias
- Aumento de la complejidad de los equipos
- Mayor interés a los tiempos de parada de los equipos
- Inicio del Mantenimiento Preventivo
- Altos niveles de inventario 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^[53]:

- 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
- Desarrollo del *Mantenimiento Basado en Condición*
- Aplicación de las filosofías *Mantenimiento Productivo Total* (TPM) y del *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* (RCM).

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

- Aplicación de la Gestión de Activos (AM) y la PAS 55
- Competitividad como factor de sobrevivencia de las empresas
- Alto nivel de competencias del personal de mantenimiento
- Énfasis en los indicadores de Disponibilidad y Mantenibilidad
- Confiabilidad y Excelencia Operacional
- Confiabilidad Integral de los Activos
- Prevención del Mantenimiento (MP)
- Análisis de Incertidumbre (RBI)
- Desarrollo de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO)
- Optimización Costo-Riesgo-Beneficio (BRCO)
- Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCC)
- Modelos Mixtos de Confiabilidad (RMM)
- Optimización Integral del Mantenimiento (MIO).

El desarrollo de las modernas metodologías de mantenimiento ha rebasado los pronósticos más audaces; la gran diversidad de estrategias, ideologías, técnicas y herramientas, particularmente en las áreas de la gestión gerencial, de la normatividad internacional, y de las tecnologías sistematizadas para diagnóstico proactivo, con las cuales se ha reducido considerablemente el costo total de manufactura, así lo demuestran.

1.3 DEFINICIÓN Y OBJETIVOS

Mantenimiento son todas las actividades que deben ser desarrolladas en orden lógico, 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.

A medida que transcurre el desarrollo tecnológico las instalaciones se vuelven cada vez más complejas y automatizadas, con grandes cadenas de producción, cuya parálisis 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 ^[41]:

- La 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 aún es dejar de mantenerlos ya que si no se les da el correcto mantenimiento, en intervalos adecuados de tiempo, no es posible producir. Por todo lo anterior, se puede deducir que el objetivo general del mantenimiento es ^[7]:

“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 constitutivos el técnico y el económico, se puede para su mejor comprensión subdividir en cuatro puntos claramente delimitados que constituyen los propósitos fundamentales del mantenimiento y son:

- Mantener los activos físicos en buenas condiciones operacionales.

- Sostener lo más bajo posible los costos de producción.
- Mantener los equipos productivos operando seguramente, durante un porcentaje óptimo de tiempo.
- Optimizar el desarrollo del Talento Humano.

La meta no debe ser la conservación propiamente dicha, sino el coincidir con las demás actividades de la empresa en la obtención de las más altas capacidades de producción; es decir, dirigir las acciones en la obtención del modelo óptimo de gestión de mantenimiento para cada componente del sistema productivo, a un costo mínimo.

Para el logro de lo anterior, todo plan que busque el mejoramiento de la función de mantenimiento debe contener^[26]:

- 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, y
- Un sistema informativo sencillo y objetivo.

Se debe finalmente, considerar como objetivo de especial importancia, el hecho 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.

1.4 MISIÓN DEL MANTENIMIENTO

El Mantenimiento Industrial como parte integral de la producción, tiene como propósito garantizar el óptimo funcionamiento de los equipos, y demás 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:

- 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.

- **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.
- **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.
- **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 planteamientos anteriores se puede precisar la misión del mantenimiento como: *“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 formadas, para desarrollar sus funciones en la búsqueda permanente de la Excelencia Operacional”*.

1.5 POSTULADOS DEL MANTENIMIENTO

En el mantenimiento como cualquier ciencia, existen un sin número de principios básicos que se deben observar para el mejor cumplimiento de sus funciones. Mediante la siguiente enumeración se dan los postulados que en concepto general son los más importantes^[17]:

- El mantenimiento es parte integral de la estructura organizacional.
- Mantenimiento es parte vital de la producción. Mantenimiento, por tanto, es tan importante como operaciones.
- Mantenimiento significa: la protección de la inversión, la garantía de la productividad y la seguridad del servicio.
- La ética del mantenimiento es la calidad de su servicio. Velar por el mantenimiento asegura una mejor calidad a más bajo costo.
- 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 de-

ben 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.
- Toda acción de mantenimiento debe enmarcarse en procedimientos estandarizados y en prácticas seguras. El trabajo debe ser evaluado, mediante índices, desde su origen.
- 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.
- Para optimizar la gestión del mantenimiento industrial, es necesario hacer énfasis en las actividades proactivas y en las de prevención.
- El mantenimiento óptimo se diseña en una planta desde su montaje. Las instalaciones deben diseñarse con la mantenibilidad adecuada.
- La confiabilidad de los equipos es una responsabilidad compartida entre operación y mantenimiento. La máxima confiabilidad de los equipos es parte de la satisfacción del cliente.
- 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.
- La velocidad de la optimización del mantenimiento depende de la calidad administrativa de la gestión.
- La actitud del personal, el liderazgo y la preparación de los trabajos hacen más por el mantenimiento que la multiplicidad de controles.
- Las sugerencias de los trabajadores, son una de las mayores fuentes de recursos del mantenimiento.
- La iniciativa, la creatividad y la actualización técnica son pilares para el desarrollo de la función mantenimiento.
- El hombre de mantenimiento es el principal gestor en el logro de los objetivos.
- Con mayores niveles de formación humana y técnica del personal de mantenimiento, mayor es su autonomía.
- La participación de los clientes es fundamental para el cumplimiento de la misión de mantenimiento.
- La intervención de personal de mantenimiento en la etapa de diseño de los proyectos asegura la mantenibilidad futura 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 soporte externo es esencial para el desarrollo de las actividades. El mantenimiento es por tanto una actividad que involucra también a proveedores y contratistas.
- 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 rígida cultura corporativa contribuye sustancialmente 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 las normas culturales.

Así, la cultura muestra la percepción común que los integrantes tienen de su empresa, y desempeña varias funciones importantes: transmite el sentido de pertenencia, facilita el compromiso personal, mucho más que los intereses individuales, aumenta la estabilidad del entorno social, y modela las actitudes y las costumbres. Los principales valores que se incluyen dentro de la filosofía del mantenimiento son:

- Lealtad
- Respeto
- Confianza
- Tolerancia
- Austeridad
- 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 avale la disponibilidad de los activos físicos. La gestión de 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, lo cual no es otra cosa que hacer buen mantenimiento en el mejor sentido de la palabra.

1.7 POLÍTICAS GERENCIALES DEL MANTENIMIENTO

Con el desarrollo industrial actual, el mantenimiento está llamado a ser el pilar de toda compañía que se respete y 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.
- Liderar el proceso de generación de una cultura del mantenimiento, aplicando los conceptos modernos de la Confiabilidad, Efectividad, Productividad, Disponibilidad y Mantenibilidad.
- 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 de interrelación con otras dependencias para fomentar el trabajo en equipo.
- Proyectar la función del mantenimiento para conquistar mejoras considerables en Seguridad, Calidad, Productividad y Efectividad en las operaciones de la organización.
- Adaptar la estructura organizacional de acuerdo con las necesidades generadas por la dinámica del *Mantenimiento Productivo Total*.
- Conseguir la participación de producción en todas las actividades de mantenimiento primario, por medio de la ejecución de un programa de Mantenimiento Autónomo.
- Participar activamente en la implantación de panoramas de riesgo y de protección al medio ambiente, generando un plan integrado de seguridad industrial.
- Diseñar e implementar un programa de *Reconversión Industrial* de los equipos productivos, de acuerdo con las tecnologías de punta.
- 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

Las organizaciones requieren de procesos productivos que les permitan maximizar la disponibilidad de sus activos físicos y minimizar los paros imprevistos, de tal forma que puedan reducir al máximo sus costos de producción, para poder participar en los mercados internacionales, con la mayor productividad, rentabilidad y competitividad. La *Optimización de Mantenimiento* propone, en función del plan estratégico corporativo, un enfoque para realizar sus funciones en un marco conceptual integral, sistémico, estructurado y global.

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, y óptimo, al logro de resultados al más bajo costo posible^[8].

Como consecuencia, día a día se hace más necesario el establecimiento de programas de optimización de mantenimiento que se basen en dar respuesta conveniente a los siguientes interrogantes^[22]:

- ¿Qué puede hacerse para lograr que el mantenimiento contribuya a las ganancias de la empresa, mediante el control de sus gastos?
- ¿A qué nivel de mantenimiento se obtiene un beneficio óptimo?
- ¿Cómo puede evaluarse en ese nivel la calidad del mantenimiento?

Por supuesto, hay que dejar sentado que es difícil establecer cuál es el nivel óptimo de mantenimiento porque lo que puede ser conveniente para una empresa, no tiene por qué serlo para otras. El problema radica en identificar el nivel admitido más adecuado de mantenimiento, y luego determinar el nivel de real para mediante su comparación, ir adoptando las medidas correctivas necesarias.

Como respuesta a los interrogantes anteriores, muchas compañías han tomado medidas proactivas, como el empleo de prácticas y recursos con sistemas automáticos de órdenes del trabajo, programas preventivos y predictivos, sistemas de información gerencial y aplicación de índices de gestión gerencial.

Todo programa de optimización de mantenimiento debe ser establecido con los siguientes objetivos^[22]:

- 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 PROCESO 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. Una vez que se completa el análisis de las actividades, se debe iniciar el trabajo de revisión y comparación de los costos de mantenimiento; esta es la parte fundamental del análisis y su resultado es la base del programa de optimización. Durante la revisión general del departamento, se deben analizar las categorías básicas que integran la función del mantenimiento (Ver figura 1.1) ^[27]:

- La organización
- La mano de obra
- La disponibilidad de los equipos
- El control de los materiales
- El control de los costos
- El medio circundante.

La gestión óptima del mantenimiento parte de la estructura orgánica de la compañía, y se consigue al 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 el desempeño de la mano de obra se debe considerar, el número de trabajadores, los niveles de capacitación técnica y experiencia personal, la disponibilidad de equipos y herramientas adecuadas, la descripción de las funciones laborales y los sistemas de programación de personas. Con base en los recursos disponibles, las prioridades y limitaciones, la planeación se hace mediante un

programa sistematizado, para facilitar el análisis y determinar las actividades específicas con el *talento humano* más conveniente.

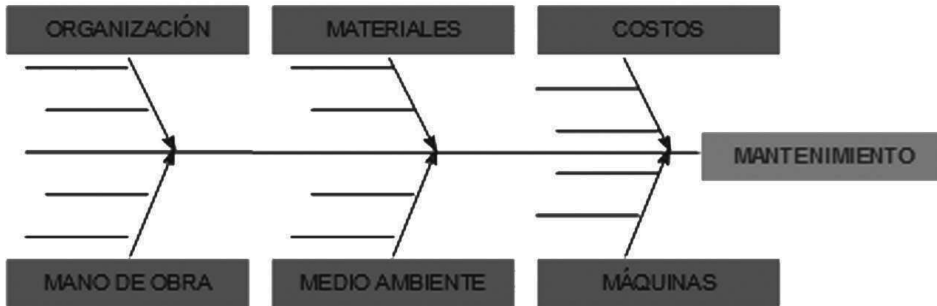


Figura 1.1 Elementos del Mantenimiento.

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 minimiza las paradas de los equipos y se maximiza el rendimiento de la mano de obra. Esto mediante el adecuado aprovisionamiento económico de repuestos, que asegure la disponibilidad de los materiales y equipos requeridos, y permita un sistema simple, pero eficaz, para la renovación de órdenes y pedidos.

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.

Ahora bien, 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 1.2). 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.

Con base en el análisis previo debe crearse un sistema eficiente y eficaz de objetivos de costos y de información. El sistema además debe servir para identificar los costos por áreas, por equipos y por programas; y es de primordial importancia para ello, la información verídica y oportuna de los centros de costos.

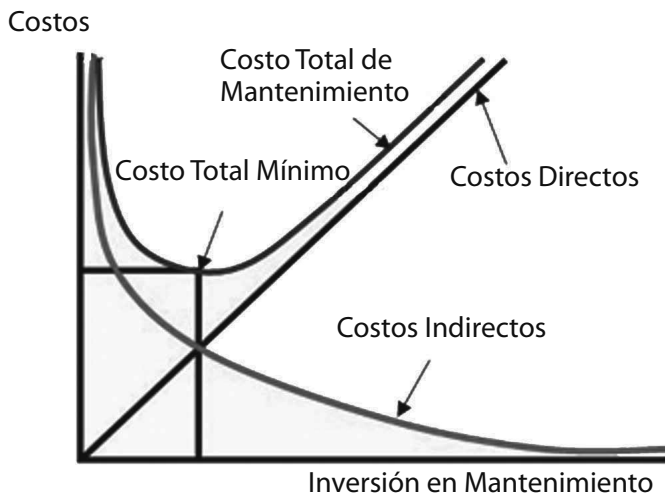


Figura 1.2. Costos Totales del Mantenimiento.

Una vez determinado el nivel óptimo del mantenimiento es obligatorio solucionar el problema relacionado con la evaluación del nivel real del mantenimiento; es decir, antes de poder mejorar la eficiencia del área de mantenimiento es necesario saberla evaluar. Una correcta evaluación es la medida fundamental para convertir al mantenimiento en un centro generador de utilidades industriales; por 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.

Con la información procesada se puntualiza la planeación de actividades y la toma de decisiones, y esto, se ha demostrado en la práctica, permite ahorrar

hasta el 20% de los costos totales. Los líderes de mantenimiento necesitan establecer normas de ejecución, un sistema formal de órdenes de trabajo y asignación de personal, para lograr la mejor utilización del tiempo y los recursos disponibles; y un adecuado historial de operación y mantenimiento para prever acertadamente las necesidades futuras^[2].

Para poder determinar las reducciones de costos que se logran con una buena planificación, se requiere conocer:

- El costo de materiales, el valor de conservación y el costo anual del movimiento de existencias.
- El costo de mano de obra especializada, respecto a oficios, procesos, áreas de desempeño, o tipos previstos de servicio.
- El costo del tiempo perdido por interrupciones del trabajo.
- Los costos directos del área, incluyendo los gastos administrativos.

El análisis comparativo de los costos anteriores mide la tendencia global de los gastos de mantenimiento con respecto al tiempo, y a su evolución referente al nivel óptimo económico determinado previamente. Poseer buena información respecto a los trabajos del departamento, permite la planeación correcta, de mano de obra, tiempos, materiales y requisitos financieros; que es la contribución substancial para el mejoramiento de la productividad.

Finalmente, como complemento a lo expuesto anteriormente, existe un buen número de metodologías y enfoques administrativos que han sido creados con el propósito de obtener un elevado nivel de productividad, calidad y eficiencia, aplicables también al mantenimiento, para mejorar el rendimiento de sus procesos. Entre ellos vale la pena destacar^[26]:

- El Kaizen
- Las Cinco Eses
- El Coaching
- El Workflow
- La Reingeniería
- El Groupware
- El Justo a Tiempo
- El Benchmarking
- El Balanced Scorecard
- El Análisis de Pareto
- El Empowerment
- El Trabajo Colaborativo
- La Gestión de Activos

- La Planeación Estratégica
- La Gestión por Procesos
- La Gerencia Participativa
- El análisis de resultados
- La Confiabilidad Operacional
- La Gestión Total de Calidad
- Las técnicas estadísticas
- La Excelencia Operacional
- Los Círculos de Participación
- El Total Performance Scorecard
- Los Sistemas Integrales de Gestión
- Los Sistemas de Información Gerencial.

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 permanecen vigentes 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 CLAVES PARA LA OPTIMIZACIÓN

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

1.10.1 Visión

La Visión del Mantenimiento es la imagen guía que define su prospectiva a largo plazo, y que debe incluir:

- Reducción del monto del trabajo 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.

1.10.2 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 profundos en los roles del personal
- Aumento del personal contratado.

En estas organizaciones la *Planeación* es más dinámica y tienen también unas características especiales:

- Capta y filtra la demanda de trabajos
- Estima y coordina los recursos
- Maneja y registra historial de trabajo y métodos
- Construye el conocimiento de la experiencia individual
- Monitorea permanentemente el desempeño del personal.

1.10.3 Tecnología

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

- La gran capacidad de desarrollo del Software, donde el Hardware ya no es factor principal.
- El establecimiento masivo de redes Cliente - Servidor con sistema de arquitectura abierta.
- La flexibilidad de las herramientas sistematizadas y sus aplicaciones, en vez de los sistemas rígidos.
- Las relaciones profundas entre Diseño, Procesos, Máquinas, Trabajo, Clientes y Proveedores.
- La determinación rápida de las variaciones en la producción, y en la condición real y el historial de los equipos.
- El reporte rápido de las tendencias de los equipos críticos.

1.10.4 Gente

La filosofía del mantenimiento moderno incluye un mínimo de personal que apoye la optimización de la producción, propenda por 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, altamente móvil dentro de su área de responsabilidad.
- Poseer acceso inmediato al historial de equipos, a la documentación técnica, o al consejo experto, mediante terminales de consulta.
- Ser facilitador interno del operador del equipo, quien asume la más alta responsabilidad en el *Mantenimiento Autónomo*.

1.11 EL MANTENIMIENTO EXCELENTE

La excelencia de los procesos se caracteriza por el alto nivel de calidad y efectividad de los trabajos realizados, con un servicio sobresaliente. La *Excelencia* está garantizada por la cantidad de acciones correctas que se realizan cotidianamente, por los miembros de la empresa para sostener el desempeño dentro de un rumbo previsto.

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*, pues 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, y sistemas sencillos y eficaces de comunicación^[10].

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 que 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 la interacción otorga una serie de elementos, como ideas, comprensión y soluciones, que resultan de la participación activa de los miembros del grupo.

En las organizaciones en busca de la excelencia, la calidad es una de las metas, es una actividad muy difundida dentro de la empresa, para hacer todo bien, eficiente y eficazmente, y lograr la optimización global de la gestión. Los alcan-

ces del mantenimiento en cuanto a continuidad en la producción, reducción de paradas imprevistas y disminución de costos, le ayudan a la compañía a lograr más pronto la calidad total^[21].

Esencialmente el mantenimiento aporta varios elementos especiales a un ambiente de Calidad Total. Estos elementos reducen los defectos y el costo de la calidad, y generan un ambiente más propicio para la solución permanente de problemas. El costo mínimo de los recursos necesarios para realizar las actividades de mantenimiento, depende del control de la calidad que debe existir en dichos recursos, antes de ser entregados al departamento de mantenimiento.

Otro aspecto a examinar en la planeación del trabajo de mantenimiento, es que todas las máquinas y sistemas de producción no son iguales, por lo cual un adecuado sistema de gestión del mantenimiento ocasiona un incremento significativo para mejorar su calidad y su efectividad. Por lo tanto, lograr un buen desempeño del mantenimiento no es un fenómeno esporádico, sino por el contrario, es fruto de un esfuerzo organizacional, sostenido por la función primaria del mantenimiento, con la orientación de la *Gestión Total de Calidad*.

El TPM y la Calidad Total buscan el mejoramiento global de la compañía, la satisfacción del consumidor, e involucran a todas las personas dentro y fuera de la organización. 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 y buscando el compromiso de todos.

La *Optimización Integral del Mantenimiento* es la estrategia que permite disminuir los costos de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de los activos; usando el *talento* idóneo para realizar las funciones, mediante la ejecución de programas de capacitación y formación por competencias, gerencia del desempeño, mejoramiento continuo, creación de equipos naturales de trabajo y Gestión del Conocimiento, que son las estrategias fundamentales de la *Confiableidad Humana*.

Implementar programas de *Confiableidad Operacional*, o *Humana*, en las organizaciones involucra grandes desafíos, exige una cultura del cambio, para poder controvertir muchos procesos de planeación y de gestión, y lograr una conducción efectiva de los canales de comunicación, para el registro sistemático, en tiempo real, de la información. Las acciones de mejoramiento de la *Confiableidad 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 *Confiabilidad Operacional* como herramienta principal de la *Gestión de Activos* se asienta sobre una aproximación de sentido común, hacia la *Excelencia Industrial*. Si diariamente se tiene claro lo que hay que hacer para garantizar la confiabilidad del sistema productivo y esto se realiza oportunamente, usando los medios correctos y la manera correcta, se logra la *excelencia* de las actividades de mantenimiento.

Pocas compañías tienen la experiencia para proveer el enfoque holístico del mantenimiento, el cual se logra cuando hay pasión por la gestión y un justo balance entre la academia y la práctica profesional, que permite alcanzar los beneficios del desarrollo tecnológico sobre *Disponibilidad, Confiabilidad y Competitividad* de los activos.

La auténtica fuente de la competitividad industrial es el *Talento Humano* empoderado y comprometido con su organización, que emplea la mayor parte de su tiempo en atender las necesidades colectivas, para alcanzar los objetivos estratégicos corporativos, en favor de los empleados y la sociedad. Para ello se requiere que el ingeniero de mantenimiento sea un profesional idóneo, que además de 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 del Conocimiento*.

La aspiración natural de alcanzar la *excelencia* en el mantenimiento de la empresa, lleva a la idea de alcanzar lo que se ha llamado *Mantenimiento de Clase Mundial* (WCM); el cual se puede entender como la gestión del mantenimiento que satisface los requerimientos y expectativas relativas a cada momento del desarrollo industrial de la humanidad y del entorno social y de mercados, relacionados con la *seguridad*, el *medio ambiente*, la *calidad*, la *productividad* y la *economía*.

2. Actividades del mantenimiento

2.1 LA INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

La *Ingeniería de Mantenimiento* se encuentra ubicada dentro del ámbito general de ingeniería, o más específicamente de la *Ingeniería de Fábricas* 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 Fábricas se puede dividir en seis clases de ingeniería interrelacionadas en mayor o menor grado, estas son ^[41].

- **Ingeniería de Investigación.** Comprende las etapas de búsqueda de materiales, herramientas, procedimientos y técnicas que mejoren los sistemas productivos al servicio del hombre.
- **Ingeniería de Desarrollo.** Aplica los resultados de la investigación en la 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, cimentado 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”.

La Ingeniería de Mantenimiento se conoce desde la década del setenta, del siglo pasado, como *Terotecología*, que etimológicamente se deriva de las palabras griegas Teros, Tereo, que significan, mantener, guardar y revisar. Entre los principales objetivos específicos de la Terotecología, manejados con criterios económicos y encausados a obtener reducción en los costos de producción, se pueden enumerar los siguientes^[37]:

- Conservar permanentemente los activos físicos en su mejor estado, para evitar tiempos de parada improductivos.
- Prolongar la vida útil de los equipos y maquinaria el máximo tiempo posible, con funcionamiento eficiente.
- Efectuar las reparaciones de emergencia, tan pronto y eficazmente como sea factible.
- Sugerir y proyectar mejoras proactivas en los equipos, para reducir las posibilidades de falla.
- Llevar a cabo las inspecciones sistémicas de la planta con suficientes intervalos de control, manteniendo los registros adecuados.
- Controlar el costo directo del mantenimiento, mediante el correcto y efectivo uso del tiempo, materiales, y servicios del *talento humano*.

2.2 ACTIVIDADES DE LA TEROTECNOLOGÍA

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^[37]:

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 desarmar el equipo, esta se realiza generalmente con equipos de diagnóstico.

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 y
- Desoxidación.

2.2.3 Reparación

Es la actividad general consistente en corregir defectos, sustituir partes o piezas de sistemas o equipos, que han cesado de ejecutar 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 de materiales.
- **Reparación menor:** se realiza con menor utilización de la mano de obra, en poco tiempo y con poco herramental.

La *reparación* es la actividad principal que desarrolla el *Mantenimiento Reactivo*, caracterizado por la presencia de las fallas.

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 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 la obsolescencia de los activos, 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 una ventaja muy importante el adiestramiento que se adquiere 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 o recuperación 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 EL 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 componentes de cualquier sistema productivo se muestran en la Figura 2.1. 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 ^[34]:

- El capital
- Las materias primas
- Los productos terminados.

Los tres procesos a realizar son:

- Compras
- Manufactura
- Ventas.

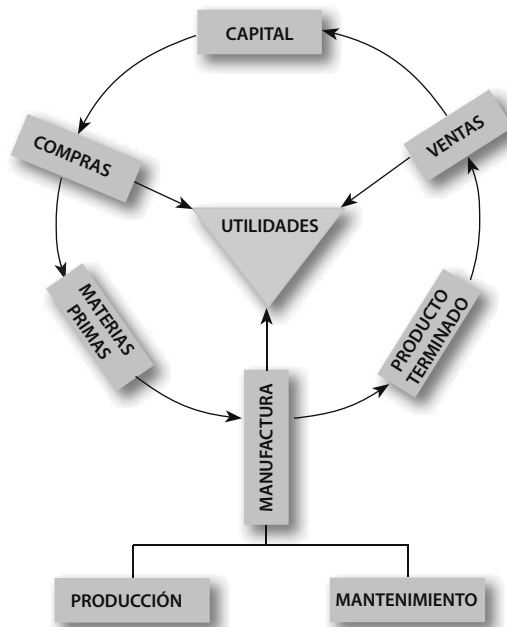


Figura 2.1. Síntesis del Ciclo Productivo.

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 suntuaria, en beneficio del hombre. Estos productos terminados son comercializados debidamente, mediante un proceso de ventas que tiene como objeto lograr la retribución del capital invertido y un excedente de utilidades que es el fin último del proceso productivo. El capital recuperado por consiguiente 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 PREPARACIÓN DE LOS TRABAJOS

2.4.1 Objetivos

En la labor de mantenimiento, hacer observaciones procedimentales de un trabajo permite a menudo obtener ahorros potenciales. En general puede decirse que todo trabajo de mantenimiento debe ser planeado y preparado correctamente; aun en casos de emergencia se debe proceder sistemáticamente. Una buena preparación de los trabajos se consigue mediante:

- El mejoramiento de las condiciones de trabajo.
- La adecuación racional de los puestos de trabajo.
- El adiestramiento en procesos simplificados de trabajo.

El personal de mantenimiento dedicado a hacer las preparaciones, debe poder construir mentalmente lo que tiene que ser la ejecución correcta, descubrir los puntos claves y todas las dificultades que los ejecutantes puedan encontrar. Efectuar una ordenada preparación de los trabajos tiene como objetivos^[27]:

- Reducir los tiempos fuera de servicio de los equipos, por causa de la duración de su mantenimiento.
- Reducir el tiempo de mano de obra directa, utilizada en la ejecución de los trabajos.
- Adaptar la calidad de trabajo a las necesidades particulares, es decir cada actividad tiene sus requisitos de calidad y estos son los que se deben cumplir.
- Simplificar el trabajo; consiste principalmente en eliminar lo inútil y mejorar lo necesario para que las acciones especificadas sean cada vez más sencillas.
- Lograr una estimación acertada del tiempo de duración del trabajo.

Una adecuada preparación logra aumentar el tiempo productivo de los trabajadores y por tanto disminuir el tiempo perdido en las actividades improductivas, que usualmente representan más de un 50% del tiempo total de labores.

Las principales labores improductivas son:

- Búsqueda de herramientas
- Confección o adaptación de la herramienta
- Desplazamiento a almacenes, talleres, etc.
- Esperas por instrumentos o refacciones
- Espera para recibir instrucciones.

2.4.2 Razones y justificaciones

Existen razones y justificaciones suficientes para afirmar que siempre es mejor una buena preparación de los trabajos, que enfocar toda la fuerza disponible en la ejecución o realización propiamente dicha. Algunas de estas razones son^[27]:

- Se mejora el estado de ánimo de todas las personas encargadas de la ejecución, supervisión y control de los trabajos.
- Un buen sistema de preparación reduce las emergencias y por tanto los problemas.
- Se hace necesario definir el tiempo de duración límite para clasificar los trabajos, que necesitan o no, preparación formal.
- Por ser los trabajos repetitivos en mantenimiento mayores al 30% del total, se justifica una preparación formal, que luego es utilizada frecuentemente.
- Una preparación efectiva, hace que las personas ejecutantes lleven a cabo los trabajos con gusto, calidad y prontitud.
- El personal preparador adquiere dotes de polivalencia, es decir se especializa y versatiliza en equipos, actividades, procedimientos y programas.

2.4.3 Eficiencia, planeamiento y fases

La efectividad en la ejecución de trabajos de mantenimiento depende, en mayor o menor grado, de los siguientes factores, los cuales usualmente son elementos propios del sistema:

- Historia de maquinaria completa y actualizada.
- Documentación técnica completa, actualizada y accesible.
- Uso de equipos, instrumentos, métodos y técnicas modernas.
- Equipos, herramientas e instrumentos en cantidades suficientes y de buena calidad.

- Infraestructura eficiente.
- Formación cuidadosa y continua del personal de mantenimiento y de operación.
- Motivación del personal.
- Ambiente de trabajo seguro y limpio.
- Organización estructural.
- Organización gerencial.
- Organización procedimental.
- Sistema de órdenes de trabajo.

El planeamiento significa la preparación mental de las acciones futuras. El individuo es activo en el presente y prepara acciones para el futuro, es decir determina QUIÉN debe hacer QUÉ, DÓNDE, CÓMO, con QUÉ y CUÁNDO. Existen diferentes tipos de planeación:

- Planeamiento de trabajo
- Planeamiento de secuencias
- Planeamiento de tiempo
- Planeamiento de fechas límite
- Planeamiento de carga de trabajo
- Planeamiento de capacidades del personal
- Planeamiento de materiales
- Planeamiento del costo.

Las fases, o etapas, normales de preparación de los trabajos son cuatro. Dependiendo de la estructura organizacional y del tipo de trabajo, se ejecutan las fases, de inmediato, una tras otra, en forma escalonada o con interrupciones. Estas son:

- Planificación
- Organización
- Dirección
- Evaluación.

La fase de planificación incluye todas las actividades realizadas antes de efectuar una tarea de mantenimiento en sí misma, a fin de determinar:

- Secuencia
- Método, procedimiento
- Precauciones de seguridad
- Tiempo planeado
- Recursos.

La fase organización incluye todo el trabajo realizado inmediatamente antes de efectuar una tarea propiamente dicha, tomando en cuenta:

- Cuándo deberá realizarse el trabajo
- Alistamiento de los recursos físicos
- Disposición de los medios requeridos
- Coordinación
- Información
- Elaboración y complementación de los documentos requeridos.

La fase de dirección incluye todo el trabajo durante la ejecución de dicha tarea, por ejemplo:

- Instrucción del trabajo
- Actualización de los diferentes planos
- Control de costos y horas hombre
- Control de calidad
- Coordinación a corto plazo.

La fase evaluación incluye todo el trabajo después de la ejecución de las tareas, por ejemplo:

- Análisis de la planificación
- Archivo de los documentos
- Actualización de la historia de maquinaria
- Actualización de la documentación técnica.

Las actividades de mantenimiento donde se aplica una preparación más amplia del trabajo son:

- Aplicación de métodos, procedimientos y tecnologías nuevas
- Trabajos de gran tamaño
- Trabajos de gran importancia
- Trabajos de gran riesgo
- Trabajos complejos
- Trabajos repetitivos.

Una preparación de trabajo, independiente del grado de detalle, debe siempre cubrir los siguientes puntos:

- Dónde debe hacerse, qué y por qué
- Cómo proceder

- Cuánto tiempo se necesita
- Qué medios se necesitan
- Cuándo se ejecuta
- Precauciones de seguridad
- Información
- Coordinación.

2.4.4 Etapas y procedimientos de preparación

Son varias las etapas necesarias para una inspección y preparación de los trabajos:

- Análisis racional de la situación del equipo.
- Diagnóstico de las necesidades.
- Preparación de materiales y equipos.
- Descripción detallada del trabajo.
- Coordinación e integración de las actividades.
- Vigilancia y control.

Hacer una adecuada preparación consiste en efectuar de modo lógico y operativo las fases y etapas requeridas, y relacionarlas para cada equipo por medio de un esquema de enganche o una gama tipo. Cada gama tipo debe contener el conjunto de operaciones necesarias para constituir un trabajo completo, cuyo principio y término estén claramente definidos; y pueda ser plenamente realizado sin interrupción y sin modificaciones en la cantidad de ejecutantes. Dividiendo el trabajo en fases se logra:

- Utilizar la mano de obra con la misma eficiencia.
- Controlar el progreso del trabajo, mediante el encadenamiento de las fases.
- Instruir a los ejecutantes en forma precisa según las necesidades.

El personal requerido para poder llevar a cabo una buena preparación debe formarse con dos grupos independientes:

- El grupo de preparación, dedicado además a planeación, análisis, control, registro y estadísticas.
- El grupo de ejecución, quien realiza los trabajos con los programas, procedimientos y normas, establecidos por el grupo anterior.

Es además de fundamental importancia que entre los dos grupos exista la cooperación y armonía necesaria, para trabajar conjuntamente en el logro de los objetivos planeados, y que dependan de un mismo jefe.

2.5 LOCALIZACIÓN DE FALLAS

Teniendo en cuenta que especificar la causa de 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^[27].

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

- Sentido común
- Intercambio de experiencias
- Método de resolución sistemática de problemas
- Métodos "OOVS" (oír, oler, ver, sentir)
- Guías "Trouble shooting" (localización de averías)
- Diagramas de búsqueda de fallas
- Análisis Causa Raíz (RCA)
- Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)
- Sistemas de Diagnóstico Predictivo (CBM)
- Sistemas Expertos.

El uso de las herramientas más adecuadas se orienta parcialmente con el grado de complejidad de la instalación o máquina, como con el grado momentáneo de dificultad del problema. Un medio tan sencillo como 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 "*trouble shooting*" y diagramas de "*trouble shooting*", grandes ventajas. Con los equipos y máquinas sencillas, así como con los problemas sencillos, el responsable del mantenimiento puede servirse del método "OOVS". La oreja susceptible, la nariz crítica, el ojo entrenado y la mano experta, junto con buenos conocimientos de instalacio-

nes, máquinas y sistemas, entran en acción para determinar rápida y exactamente la situación. Como regla, dichas guías "*trouble shooting*" contienen los tres modos de información siguientes:

- Síntomas de falla
- Causas posibles del daño
- Medidas para la reparación.

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.

Otros métodos para determinación y análisis de fallas son las técnicas y herramientas de la *Confiabilidad Operacional*, de la gestión moderna de los activos y del *Mantenimiento Basado en Condición* (CBM), que usa las diferentes metodologías y equipos de *Diagnóstico Predictivo*, apoyados por software y sistemas expertos, que sin necesidad de parar la máquina facilitan de manera muy eficaz la determinación de las fallas. Con ellos, la persona encargada de la localización, que no tiene que ser un experto, cuenta con la ayuda del sistema de diagnóstico computarizado. Algunos de ellos se estudian someramente en el próximo capítulo ^[28].

En el Mantenimiento Basado en Condición (CBM) se utilizan sensores y transductores para medir correctamente los parámetros de operación de los equipos. Una de las mayores causas de falsa alarma que se puede presentar en la detección de fallas incipientes en sistemas productivos, se relaciona con el mal funcionamiento de los sensores involucrados en la medición de los parámetros y con el funcionamiento inadecuado del equipo de medición.

Una forma práctica de comprobar la operación adecuada de los sensores de medición se relaciona con el establecimiento de patrones históricos de las mediciones utilizando funciones estadísticas, como la mediana, la moda, la desviación estándar y las diferentes distribuciones de datos en la medición. Los resultados obtenidos en el análisis comparativo de los datos permiten definir si los sensores están funcionando correctamente o deben ser recalibrados. Por tanto se debe hacer énfasis especial en el tratamiento estadístico de los datos que son registrados durante la vida útil de los equipos industriales. El desarrollo del 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.

3. Sistemas básicos de mantenimiento

3.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Un sistema de *Gestión de Mantenimiento* busca garantizarle 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 fundamentales de hacer mantenimiento:

- Mantenimiento Reactivo
- Mantenimiento Proactivo.

El *Mantenimiento Reactivo* es el conjunto de actividades desarrolladas en los sistemas, equipos, máquinas, 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, es decir, 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 por tanto, anticiparse a la probabilidad de ocurrencia de las fallas.

Teniendo en cuenta los diversos sistemas de mantenimiento que se han popularizado a través el tiempo, se puede mencionar que existen varias formas comunes de efectuar el *Mantenimiento Reactivo*, entre ellas:

- Mantenimiento Reparativo
- Mantenimiento de Emergencia
- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Reconstructivo.

De igual manera existen diferentes formas comunes, de realización del *Mantenimiento Proactivo*, en el pasado, entre ellas:

- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Detectivo
- Mantenimiento Mejorativo.

Dentro de todas estas metodologías sobresalen por su mayor utilización principalmente tres, que se han establecido como los sistemas básicos de hacer mantenimiento, y son:

- Mantenimiento Correctivo (CM).
- Mantenimiento Preventivo (PM).
- Mantenimiento Predictivo (CBM).

Todas las restantes metodologías de implementación de mantenimiento son sistemas mixtos que utilizan los tres sistemas básicos, dependiendo del desarrollo de sus procesos, y a su vez agrupan varias herramientas elementales, que se denominan *Estrategias de Gestión Moderna* del mantenimiento, o estrategias de *Confiabilidad Operacional* dentro de un adecuado sistema de *Gestión de Activos*; las más destacadas durante los últimos cuarenta años, y que se tratan en el capítulo quinto, son las cuatro siguientes:

- Mantenimiento Productivo Total (TPM).
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).
- Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO).
- Optimización Integral del Mantenimiento (MIO).

3.2 EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO (CM)

3.2.1 Generalidades

El *Mantenimiento Correctivo* son todas las actividades para corregir las causas de las fallas, ejecutadas en los equipos, máquinas, 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 enteramente indispensables para seguir prestando el servicio, reduciendo al mínimo el tiempo de parada y la producción pérdida. El sistema correctivo es el tipo de mantenimiento más usado, ya que es el que requiere de menor conocimiento, organización y en principio menor esfuerzo, aunque esto realmente no es así pues demanda cantidad de trabajo anormal, por lo general, fuera de horas hábiles.

La actividad principal que desarrolla el *Mantenimiento Correctivo* es la reparación no planificada que resulta debido a la falla imprevista; antes que se realice la reparación propiamente dicha es necesario examinar el tipo y la causa del daño; esto es lo que suele llamarse comprobación del daño y mediante esta constatación se permite ver concretamente cuales son las operaciones que hay que efectuar. Este tipo de mantenimiento se aplica solo cuando el sistema no puede seguir en operación. 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) u, operar hasta la falla.

3.2.2 Recursos necesarios

Las averías y los paros en maquinaria se presentan aún 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 máquinas dentro de la planta.

Los cuatro factores más importantes en todo sistema de Mantenimiento Correctivo son ^[29]:

- 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. El Talento Humano debe ser debidamente explotado, pues es imposible mantener un equipo suficiente para atender todas las solicitudes de inmediato, o en circunstancias adversas; por lo tanto, es deber del líder del equipo, decidir las prioridades en la ejecución de los trabajos, con las personas adecuadas, para lograr la minimización de los costos.

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. Las necesidades de preparación del personal varían con los requerimientos particulares de cada proceso, y se basan en una buena o mala selección de personal, ya que esta es una de las etapas de la organización, que requiere de mayor responsabilidad. El cuidado en la selección debe ser claramente proporcional al nivel del cargo; por esto la selección de directivos es difícil por cuanto se requiere que sea a la vez buen técnico y buen administrador.

Otro aspecto importante a considerar, es que el personal que se envía a efectuar las reparaciones este dotado de las herramientas y los 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 con un conveniente suministro de repuestos y partes de recambio. 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.

3.2.3 Razones de alto Mantenimiento Correctivo

Existen siete razones principales para tener un excesivo Mantenimiento Correctivo ^[41]:

- Mantener los equipos 100% del tiempo programados para producir.
- Permitir tiempos muy limitados para los trabajos de mantenimiento.
- Falta de inventario conveniente y económico de refacciones.
- Mala calidad de los trabajos por la premura 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.

3.2.4 Proceso resolutivo al Mantenimiento Correctivo

Se debe tener en cuenta los siguientes puntos para un correcto proceso resolutivo de los problemas presentados en Mantenimiento Correctivo:

- Identifique su problema!
- Diagnostique su causa raíz!
- Proponga soluciones alternativas!
- Evalúe y decida!
- Planee la mejor solución!
- Establezca prioridades, Clasifíquelas!
- Determine la carga de trabajo!
- Confronte la carga y la fuerza de trabajo!
- Programe!
- Dirija y realice!
- Controle y corrija!

3.3 EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PM)

3.3.1 Conceptos de Mantenimiento Preventivo

Son múltiples las definiciones que se encuentran para el *Mantenimiento Preventivo*, pero todas ellas coinciden en la intervención del sistema, o equipo, antes de presentarse la falla. Una definición de Mantenimiento Preventivo puede ser: *“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”*.

Esto significa que un programa de *Mantenimiento Preventivo* incluye dos actividades básicas^[17]:

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

A menudo se considera el *Mantenimiento Preventivo* como sinónimo del mantenimiento periódico, planeado, sintomático, dirigido, o continuo; el Mantenimiento Preventivo (PM) tiene una parte esencial de todas estas funciones, pero no son sus únicos elementos. En cada tipo de compañía de acuerdo con la naturaleza de sus actividades y su sistema productivo, es factible establecer un programa de PM, que sea de fácil implementar; usualmente toda organización cuenta con los equipos, el personal, y los talleres e instalaciones para llevar a cabo este tipo de mantenimiento.

Para la implementación de un sistema de *Mantenimiento Preventivo* son necesarias ciertas bases, quizá 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 PM 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 ^[10].

Para una buena implementación se requiere una aplicación selectiva del programa de Mantenimiento Preventivo; se considera que es demasiado riesgo aplicarlo a toda la planta de una vez, lo mejor es ir construyendo el programa paso a paso, sin importar que tan rápidamente sea posible su integración; hasta cuando se termine una etapa se debe comenzar la siguiente. Una vez que se armen los programas de inspección y la lista de tareas a realizar, estas se deben ejecutar periódicamente puesto que el desarrollo mismo del plan va dando las pautas para las correcciones a que haya lugar. Es conveniente, también, que una vez implementado el programa sea manejado con suma honestidad, es decir que los trabajos programados sean realizados a conciencia y que los informes se ajusten exactamente a las labores realizadas ^[17].

Cualesquier persona que espere los beneficios completos del sistema en forma rápida se desalentará. Es obvio que todo cambio produce traumas que deben ser resueltos en la primera fase. Uno de los inconvenientes principales cuando se introduce un sistema de PM 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.

Un plazo prudencial para la implantación de un sistema de PM es de dos a tres años. La impaciencia puede malograr 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 forma posible en el mejoramiento del programa. Se puede afirmar además, que implantar el *Mantenimiento Preventivo* exige un cambio de mentalidad, una férrea voluntad de hacerlo y un sólido convencimiento de la bondad del sistema.

En síntesis, un sistema de *Mantenimiento Preventivo* (PM) cubre todos los mantenimientos programados a la planta, los cuales son llevados a cabo con el objeto de prevenir la ocurrencia de las fallas, o para detectar fallas prematuras antes de que desarrollen una parada inesperada de la maquinaria, o de los sistemas de control, que desencadenen problemas a la producción.

3.3.2 Categorías del Mantenimiento Preventivo

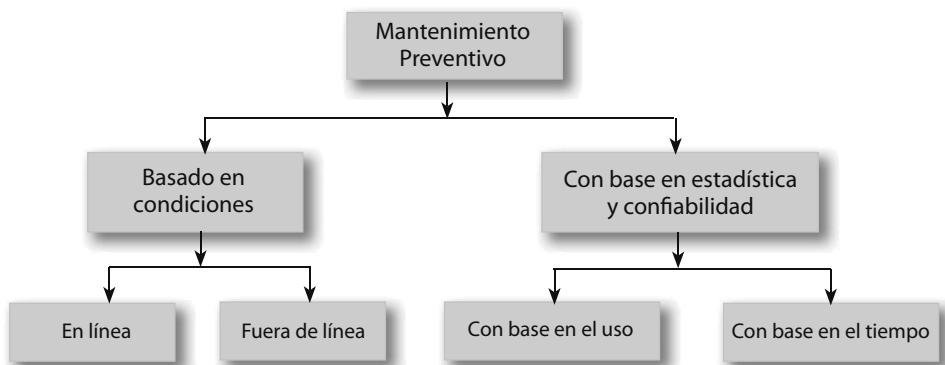
El *Mantenimiento Preventivo* surge de la necesidad de reducir el monto del *Mantenimiento Correctivo* y todo lo que representa. Pretende reducir las reparaciones por medio de una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados. Su meta es reducir las averías a niveles mínimos 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 la Mantenibilidad de los sistemas productivos con la aplicación de un plan de mantenimiento eficaz. La *Disponibilidad* puede definirse como la probabilidad estadística de que el sistema productivo pueda funcionar debidamente cuando se requiera, dentro de un período de tiempo determinado.

La *Confiabilidad* es la probabilidad estadística de que el sistema no falle, dentro de su operación normal, en un momento determinado. Una de las características fundamentales de un equipo bien diseñado, es que pueda mantenerse o repararse correctamente durante el tiempo especificado para ello; esto es la *Mantenibilidad* o facilidad de mantenimiento, que se puede definir como la probabilidad estadística de que el equipo pueda ser reparado correctamente durante un periodo de tiempo dado.

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, que es la sigla en inglés de *Mantenimiento Basado en Condición* o *Mantenimiento Predictivo*, que por su gran desarrollo y los 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 denominada PMO, que es la sigla en inglés de *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, claramente diferenciadas, la una basada en las condiciones observables durante la operación del equipo, y la otra tiene como base la estadística y la confiabilidad. En la primera categoría se considera la condición operacional del sistema. 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.



Fuente: Duffuaa, 2002.

Figura 3.1. Categorías del Mantenimiento Preventivo.

En el Mantenimiento Predictivo (CBM), la condición del equipo se define vigilando los parámetros claves de operación, cuyos valores se afectan por su estado real. Para medir estas condiciones se utilizan técnicas de diagnóstico de amplia divulgación, entre las que se pueden enumerar el Análisis de Vibraciones, la Termografía Infrarroja o la Termovisión, los Análisis de Lubricantes, el Ultrasonido, la Visión Remota, la Radiografía Industrial, el Mecanálisis 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. Algunas de estas tecnologías se estudian en el próximo numeral de este capítulo.

El Mantenimiento Preventivo con base en *Estadística y Confiabilidad*, se puede realizar teniendo en cuenta el uso, o las condiciones particulares del equipo, y considerando el histórico de tiempos de operación normal. El análisis con base en el uso, toma como parámetro principal los datos históricos de falla de los equipos para determinar el tipo de distribución estadística que más se ajuste a su comportamiento real. Para la fijación de las frecuencias de intervención es necesario implementar múltiples conocimientos, acerca de la distribución estadística de las fallas, o de la medición de la Confiabilidad en función del tiempo de operación de los equipos o sistemas.

El Mantenimiento Preventivo 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 estas 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.

3.3.3 Ventajas del Mantenimiento Preventivo

Cualquier programa de Mantenimiento Preventivo bien proyectado, que sea convenientemente aplicado, proporciona beneficios que sobrepasan los costos. Entre las múltiples ventajas del Mantenimiento Preventivo, las más importantes son las siguientes^[7]:

- 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, y menor número de mantenimientos repetitivos, por lo tanto, menor acumulación de la carga de trabajo.
- Menor necesidad de operación continua de los equipos, reduciendo con ello la inversión de capital.
- 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 reparaciones 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.

- Reducción de los costos de mantenimiento, de materiales y de mano de obra, para los activos que se encuentran en el programa.
- Aplazamiento 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.
- Menor número de productos rechazados, menos desperdicios, mejor control de calidad, por la correcta adaptación del equipo.
- Menores costos unitarios, al aumentar la disponibilidad de equipos, y por tanto, el tiempo útil de producción.
- Mayor seguridad para operarios y maquinaria.
- Facilita el control sistematizado de la programación.
- Es fuente incalculable de valiosos datos estadísticos.

3.3.4 Programas de Mantenimiento Preventivo

En cada industria dependiendo de sus actividades, es posible establecer un programa diferente de PM. 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 PM de aplicación industrial se pueden agrupar en tres^[41]:

- **Mantenimiento Preventivo Periódico Permanente.** Programa de actividades realizado 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 por Over Haul.** 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".

Es necesario concientizar las áreas de producción y mantenimiento, de las ne-

cesidades productivas y de manutención, para que conjuntamente se elaboren los programas de Mantenimiento Preventivo para lograr el mayor beneficio posible.

3.3.5 Aplicación de los programas

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:

- *Determinar el orden de prioridades del programa de Mantenimiento Preventivo.* Que es la escogencia de los equipos para determinar en qué orden se deben realizar las diferentes labores de Mantenimiento Preventivo estableciendo además, hojas de vida con datos técnicos y todas aquellas especificaciones que se juzguen necesarias. Los datos consignados servirán para comprobar las características del equipo cada vez que sean requeridos, y con base en ellos realizar una mejor programación preventiva.
- *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.
- *Preparación del Manual de Inspecciones.* La preparación consiste en recopilar y tener disponible toda la información necesaria para la elaboración de:
 - Instrucciones de montaje
 - Instrucciones de operaciones
 - Manuales de mantenimiento y
 - Formatos de inspección.

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

La preparación de los manuales de inspección y mantenimiento, es una de las etapas difíciles de la programación del PM, pues a pesar de ser elementos de uso imperativo, usualmente son de complicada elaboración, por el tiempo y dedicación que exigen, y la experiencia requerida para su ejecución.

- *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:

- Profesionales experimentados
- Supervisores o técnicos experimentados
- Operarios experimentados.

3.3.6 Frecuencia de las inspecciones

Un aspecto esencial para lograr una buena programación del PM basado en uso es la fijación de las frecuencias de inspección, lo cual influye de manera directa en los costos y economías del programa. La decisión de cuan a menudo inspeccionar es básicamente un asunto experimental; la tendencia inicial es la inspección excesiva, la cual aumenta ampliamente los costos y puede involucrar más tiempo ocioso de producción que un paro de emergencia. Sin embargo, la subinspección produce más paros y descomposturas cuyos costos son mucho mayores que los ahorros en inspecciones. Es necesario por lo tanto un equilibrio óptimo para lograr buenos resultados.

La etapa básica en la fijación del ciclo de frecuencia es el análisis técnico del equipo que tenga en cuenta los siguientes puntos^[47]:

- *Edad, condición y costo.* El activo más antiguo y con mayor deterioro requiere servicios de inspecciones más frecuentes, pero siempre con base en el análisis técnico-económico que justifique la inversión en su mantenimiento.
- *Severidad del servicio.* Según la carga de trabajo de un equipo debe variar la frecuencia de inspección; para equipos idénticos, el de carga más severa requiere ciclos más cortos.
- *Requisitos de seguridad.* Dependiendo de los riesgos que afectan la seguridad de personas e instalaciones, las frecuencias de inspección deben aumentarse para disminuir al mínimo las situaciones que generen condiciones peligrosas.
- *Susceptibilidad de deterioro.* Con base en la vida útil probable y en las condiciones medio ambientales, la posibilidad de deterioro varía considerablemente y por tanto la frecuencia de inspección debe ser mayor para las condiciones más desfavorables.
- *Condiciones particulares de operación.* Las frecuencias de inspección deben ajustarse con base en las condiciones de funcionamiento, del equipo to-

mado individualmente, que tienen que ver con operación inadecuada, sobrecargas, vibraciones debidas al sistema de montaje, susceptibilidad de perder los ajustes, etc.

En el proceso de determinación de frecuencias se debe adicionalmente, revisar las recomendaciones de los fabricantes para fijar las condiciones propias de la planta, y mientras no se tengan motivos suficientemente justificados lo mejor es seguir esas recomendaciones.

3.3.7 Implementación de un Sistema Preventivo

Para la implantación de un sistema PM, 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 de un sistema de PM se requieren cuatro condiciones:

- ***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, de mantenimiento y en general a todos los interesados.
- ***Crear conciencia sobre los beneficios del sistema.*** Se requiere por tanto, el convencimiento de todos los empleados, de la conveniencia para la compañía de la implantación del programa, y de esta forma obtener su decidida colaboración.
- ***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 inspecciones 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.
- ***Diseñar controles efectivos para el programa.*** Una vez instituido el sistema, es indispensable su control para que haya continuidad en su desarrollo, revisiones oportunas y evaluaciones con la adecuada periodicidad.

Un eficiente control del sistema debe incluir^[7]:

- Cumplimiento estricto de los programas sin interrupción.

- Ubicación adecuada de los puntos y medios de control.
- Responsabilidad en el manejo de los programas de mantenimiento.
- Procedimientos de control de costos de mantenimiento.

Adicionalmente, a las condiciones establecidas, se puede decir que para la implementación de un programa, es indispensable lograr un acuerdo con producción, que se debe basar en un informe del estado real de los activos y el cumplimiento de los plazos estipulados para mantenimiento, con base en el análisis detallado que permita a producción decidir hasta donde pueden llegar los trabajos a efectuar, para cumplir eficientemente con los programas productivos. Para alcanzar este acuerdo y diseñar un apropiado sistema de Mantenimiento Preventivo, se deben considerar las siguientes premisas, válidas tanto para programación de producción como de mantenimiento ^[10]:

- Producción es el dueño de los equipos.
- Todo equipo requiere mantenimiento y sin él no se puede producir.
- Mantenimiento debe intervenir en la planeación de producción.
- La finalidad del mantenimiento es permitir la máxima producción con la calidad requerida.
- Son necesarios los buenos planeadores, pero son indispensables los buenos ejecutores.
- Mantenimiento debe dar el visto bueno a todos los requerimientos para mantenimiento.
- Debe existir completa comunicación entre las áreas de producción y mantenimiento.

3.3.8 Consideraciones adicionales

La función principal del *Mantenimiento Preventivo* es conocer el estado real de los equipos mediante los registros de control llevados a cada uno de ellos, y en coordinación con el departamento de producción realizar el *Mantenimiento Correctivo* necesario.

Es esencial que exista una buena coordinación y cooperación entre los operarios y directivos de mantenimiento como una práctica normal. Un programa de PM efectivo se basa en el trabajo en equipo entre el talento humano de *Mantenimiento Correctivo* y de *Mantenimiento Predictivo*, si el objetivo final es reducir los paros improductivos de la maquinaria.

Los principales beneficios del PM 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 eficiencia y su eficacia total. Cuando un equipo está demasiado tiempo fuera de servicio por averías frecuentes, indica que el PM no está funcionando como debería; cuando los costos del PM se aumentan considerablemente, el sistema no se está ejecutando con economía y eficacia.

Para la implementación de este sistema de mantenimiento es necesario crear un plan de seguimiento para cada equipo y su realización implica un costo adicional, sin embargo las anomalías que se detectan antes de que se conviertan en fallas, justifican plenamente su implementación.

3.4 EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO (CBM)

3.4.1 ¿Qué es el Mantenimiento Predictivo?

En las cuatro últimas décadas se ha venido aumentando notoriamente, en la industria internacional, la aplicación del *Mantenimiento Basado en Condición* (CBM, sigla inglesa de *Condition Based Maintenance*), como complemento fundamental del mantenimiento preventivo y correctivo. Este incremento responde a una diversidad de factores entre los que se pueden enumerar: los desarrollos tecnológicos en equipos de medición y diagnóstico; la tecnificación de la producción en procesos continuos; los equipos modernos altamente costosos e interdependientes; los altos costos de refacciones y reposición de equipos; y especialmente el alto grado de concientización sobre los costos de los paros improductivos. El *Mantenimiento Predictivo*, basado en el uso de sistemas de diagnóstico para el análisis de fallas, es la respuesta conveniente en la conservación económica de los equipos y la minimización de las paradas.

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”^[18].

Aunque existe multiplicidad de técnicas de aplicación del *Mantenimiento Predictivo* como el Ultrasonido, la Radiografía, la Termografía Infrarroja, o la Termovisión, los Análisis de Lubricantes, el Mecanálisis de Ruidos, la Inspección Vi-

sual Remota, la Coronografía Ultravioleta, el Método de Impulsos de Choque, el Análisis de Furanos, y otra serie de pruebas no destructivas, se ha popularizado que el *Mantenimiento Predictivo* se basa en la medición y Análisis de Vibraciones, y tiene como principio el hecho de que si un equipo está operando en buenas condiciones, no debe ser intervenido.

Las vibraciones son una medida excelente para evaluar las condiciones mecánicas de un equipo; antes que una causa, la vibración es un síntoma de una 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 ser 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 y su amplitud, esta última puede ser medida como el desplazamiento, la velocidad o la aceleración de la vibración. Por tanto, un análisis comparativo de los cambios, donde los niveles de vibración son confrontados con patrones preestablecidos, permite a través de una técnica confiable, lógica y segura, 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.

3.4.2 Mantenimiento Preventivo contra Predictivo

Debido al alto costo de la inversión, reparación y reemplazo, así como la alta interdependencia de la maquinaria, en los procesos productivos, su protección ha llegado a tener máxima prioridad. Esto significa mantener las máquinas en óptimas condiciones y pararlas solamente cuando sea indispensable. Para esto se requiere la capacidad de detectar problemas en su primera etapa de formación, antes de que prosperen lo suficiente para originar los daños.

Como una actividad básica en la protección de maquinaria, se introdujo hace ya bastante tiempo, el sistema de *Mantenimiento Preventivo*, que como se trató anteriormente, consiste en inspeccionar periódicamente las máquinas, en lapsos de tiempo estimados, con base en estadísticas y fruto de la observación y expertez del personal de mantenimiento. Sin embargo, para que la inspección determine el estado de funcionamiento real del equipo y se puedan identificar sus fallas, es necesario que esta sea una inspección abierta, que en muchos casos se convierte en el más grave inconveniente del proceso, lo cual no se presenta en el sistema de *Mantenimiento Predictivo*.

En las inspecciones preventivas cuando una máquina está operando en condiciones aceptables, se desarma y se vuelve a armar, por experiencia se ha demostrado que en más del 20% de los casos se incluyen defectos que inicialmente no tenía y que darán origen a fallas prematuras, que no se hubieran presentado si no se realiza la inspección. Con el diagnóstico predictivo, el uso de sensores, acelerómetros y demás instrumentos de análisis, se evade el problema, y se evitan las paradas preventivas, con lo cual se protegen los equipos, en el aspecto de disponibilidad productiva esencialmente.

Todas las máquinas dan señales de advertencia que predicen las fallas inminentes. La correcta aplicación y uso temprano de las herramientas de *Mantenimiento Predictivo* ayudan gradualmente en la identificación de problemas urgentes antes de que ellos se vuelvan catastróficos. Con el uso del diagnóstico temprano y los mecanismos de alerta por parte de mantenimiento, la falla es identificada, proporcionando a los líderes la información necesaria para una planeación objetiva^[13].

Otro aspecto importante a considerar en la comparación de los sistemas de mantenimiento, es lo concerniente al costo y reducción del inventario de refacciones, que en las actividades preventivas en la mayoría de los casos, se aumenta en forma considerable, por cuanto muchas partes son cambiadas antes del término de su vida útil segura, para prevenir fallas. Mediante el *Mantenimiento Predictivo* las refacciones son reemplazadas acertadamente, solo cuando están próximas a fallar, es decir se logra su máxima utilización, que se traduce en reducción de costos. El principio de ejecución del sistema predictivo, dice que solamente se interviene el equipo, cuando los instrumentos detectan una próxima falla en un rango específico de severidad.

Con el *Mantenimiento Preventivo* se tiene la tendencia a realizar excesivo mantenimiento si se cuenta con los recursos, o a realizar inspecciones superficiales permitiendo las fallas, cuando el personal es insuficiente, o no está debidamente capacitado. Mediante el *Mantenimiento Predictivo* se programa con

suficiente anticipación el mantenimiento estrictamente necesario, y de esta forma se disminuyen los costos del departamento.

3.4.3 Beneficios del Mantenimiento Predictivo

La inversión que se haga en 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 precoz de fallas incipientes 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.
- Aumento del factor de servicio por determinación de la severidad de los problemas y disminución del tiempo de paro necesario para las reparaciones debidamente programadas.
- 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 encuentren 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.

3.4.4 Implementación del 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^[58]:

1. Establecimiento de la necesidad del sistema. Para ello se requiere un análisis detallado utilizando dos criterios fundamentales:

- Criterio Económico
- Criterio Estratégico.

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 éste 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 período de tiempo seleccionado, de la producción perdida es aproximadamente igual a la suma del costo anual del personal y demás recursos físicos. (Como se puede observar en la figura 1.2).

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

Cuando la programación de actividades predictivas no es suficiente para copar el personal asignado se puede balancear la carga de trabajo con operaciones de programación y control, u otras labores de Ingeniería de Mantenimiento.

3. Evaluación de las diferentes alternativas de operación. Existen cuatro alternativas de operación para la implantación de un sistema de Mantenimiento Predictivo.

- *Contratación del servicio.* Es la opción más sencilla y efectiva por que no requiere gran inversión ni 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.
- *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 poder determinar por la severidad de las medidas, 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.
- *Medición y grabación de indicadores más servicio de análisis.* En esta opción se plantea una etapa más avanzada que la anterior y acentúa sus ventajas. Consiste en adicionar una grabadora especial al equipo de medición portátil, para grabar los parámetros medidos y enviar al servicio de diagnóstico exterior la señal 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 propio.
- *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 desea eliminar las paradas de planta por el alto costo del 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. Para ello se recomienda clasificar los equipos a incluir en el programa dentro de las tres categorías fundamentales^[18]:

- *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.
- *Máquinas 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.
- *Máquinas 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,

EPRI, VIBRATION INSTITUTE, etc.), y la capacitación dada por los fabricantes y distribuidores de equipos de diagnóstico. En últimas, un sistema apropiado de diagnóstico sirve para lograr en poco tiempo una evaluación real de los beneficios del *Mantenimiento Basado en Condición*.

4. Administración de sistemas de mantenimiento

4.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVOS

La complejidad cada día mayor de los sistemas productivos modernos y la necesidad de aumentar en ellos su efectividad, conlleva a la aplicación de la teoría administrativa en las actividades de mantenimiento, con lo cual se logra un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

El objetivo principal de la administración es coordinar sistemáticamente los recursos, para lograr los objetivos estratégicos de la compañía. Así el mantenimiento representa un organismo social que funciona como una empresa independiente, pues cuenta con:

- Operaciones presupuestales o de manejo de fondos.
- Operaciones de productividad en la prestación de servicios.
- Operaciones de aplicación en la distribución de los servicios.
- Operaciones de conservación, para la seguridad del talento humano y la protección de los recursos materiales.
- Operaciones de registro y control estadístico de las actividades.

La *Administración del Mantenimiento Industrial* se puede definir como la aplicación de un conjunto sistemático de técnicas y herramientas que, mediante la coordinación de procesos y estructuras corporativas, busca la obtención de los objetivos estratégicos preestablecidos.

En el mantenimiento, el objetivo es la conservación de los sistemas y su protección, para que se sostengan operando eficientemente, y retardar el deterioro para alargar su vida útil. Así un sistema de mantenimiento verifica todo el ciclo de la administración, y sus fases se mantienen en permanente cambio, transformándose y desarrollándose, para construir el proceso cíclico administrativo.

4.2 FASES DE LA ADMINISTRACIÓN

Las fases de la administración del mantenimiento son ^[26]:

- Previsión
- Planeación
- Organización
- Integración
- Dirección
- Control.

Las tres primeras se consideran fases estáticas y son aquellas que por lo general originan gastos bajos y se implementan en relativamente poco tiempo; las tres últimas son consideradas fases dinámicas y son aquellas que generan gastos más fuertes y mayor tiempo de implementación.

4.2.1 Fase 1. Previsión

En la primera fase se busca determinar el objetivo o la finalidad prevista mediante el análisis de las alternativas y la investigación de los medios disponibles. Se puede sintetizar en la pregunta: *¿qué se puede hacer?*

Básicamente las actividades que comprende son:

- Fijar objetivos, es decir determinar el punto al cual están dirigidos los esfuerzos para satisfacer un deseo o necesidad.
- Investigar los medios para lograr los objetivos, que pueden basarse en experiencias pasadas, estadísticas o análisis matemático.
- Establecimiento de los diferentes cursos de acción, que surgen en el proceso de investigación para adoptar los medios encontrados.

4.2.2 Fase 2. Planeación

Esta fase analiza y estudia las alternativas para lograr los objetivos. Se puede sintetizar en la pregunta: *¿qué se va a hacer?* Planeación se puede definir como el conjunto de actividades y esfuerzos previos para definir el curso de acción que ha de seguirse para el logro de los objetivos.

Esta fase comprende las siguientes etapas:

- Fijar políticas, o sea establecer principios que sirven para orientar las acciones y tomar las decisiones.

- Elaborar procedimientos, que son los métodos o secuencias de las operaciones a realizar.
- Programar las actividades, que comprende la definición y el tiempo de duración de cada una de ellas.
- Elaborar presupuestos, a través de la determinación de los recursos económicos necesarios con el fin de que las actividades se realicen.

4.2.3 Fase 3. Organización

Es la encargada de la coordinación de los elementos estructurales con el Talento Humano. Se puede sintetizar el concepto de esta fase, haciendo la pregunta: *¿cómo se van a realizar las operaciones?* La organización se define como la estructura de las relaciones que se deben dar entre los niveles de autoridad, funciones y obligaciones en una empresa, con el fin de hacer eficiente su operación.

Esta fase cuenta también con varias etapas que debe cubrir toda buena administración:

- Definición de funciones, que determinan y aclaran cómo debe dividirse y agruparse las actividades de cada puesto.
- Asignación de obligaciones, que determina la responsabilidad exacta de cada cargo.
- Establecimiento de jerarquías o niveles de autoridad, que define los niveles jerárquicos en el organigrama al igual que su relación formal de dependencia.

4.2.4 Fase 4. Integración

Esta fase tiene por objeto la incorporación de los recursos adecuados y el Talento Humano, necesarios para la realización de los programas. Se puede sintetizar en la pregunta: *¿con quién y con qué se van a realizar las actividades?*

En esta fase se distinguen las siguientes etapas, en lo que se refiere a la integración de personal:

- Reclutamiento, o sea la obtención de los candidatos para ocupar los puestos asignados en la organización.
- Selección de los candidatos idóneos, de acuerdo a las aptitudes y a su correspondencia con las funciones del cargo.
- Capacitación, que consiste en llevar a los candidatos al nivel de eficiencia requerida para el desempeño de sus funciones.

- El desarrollo, que consiste en la permanente preparación del *Talento Humano* para ocupar puestos de mayor jerarquía.

Las etapas que constituyen la integración de los recursos físicos son:

- Determinación de las necesidades.
- Selección de los recursos más eficientes y económicos.
- Sistema de adquisición, de los recursos seleccionados por compra, fabricación, o adaptación.
- Instalación y conservación, de los materiales adquiridos en forma eficiente.

4.2.5 Fase 5. Dirección

Mediante la dirección se logra la adecuada ejecución y realización de las tareas; es decir esta fase es la que se encarga de conducir y hacer que los programas se lleven a cabo, con la organización estructurada mediante los elementos integrados. Esta fase se sintetiza en la pregunta: *¿cómo se van a conducir las operaciones?*

Esta es la única fase que no comprende etapas específicas a seguir en un orden secuencial, pero se debe tener en cuenta que para dirigir bien es necesario saber:

- Mandar
- Delegar
- Informar o comunicar
- Motivar
- Revisar y supervisar
- Controlar adecuadamente.

4.2.6 Fase 6. Control

Con el control se marcan las diferencias entre lo planeado y lo ejecutado. Esta fase se sintetiza en la pregunta: *¿cómo se ha realizado?* Es decir, el control mide las desviaciones de la realidad con el programa original y las corrige.

Para poder llevar a cabo esta fase con efectividad, se debe observar las siguientes etapas:

- Establecimiento de normas o estándares, o sea fijar las bases contra las que se medirán los resultados.
- Establecimiento del sistema de control, o sea la forma como se logra la información de lo realizado.

- Interpretación y análisis de los resultados obtenidos.
- Toma de las acciones correctivas, oportunas de acuerdo al problema presentado, con el fin de llevar los resultados al plan trazado por la programación.

4.3 PLANIFICACIÓN DE LOS TRABAJOS

4.3.1 Conceptos básicos

La fase de *planeación*, dentro de la administración, está compuesta por dos etapas, que no se diferencian claramente y en muchas ocasiones se confunden entre sí, que son la *planificación*, que comprende todas las actividades necesarias para elaborar eficientemente los programas, y la *programación* propiamente dicha, que es la determinación anticipada y ordenada, con tiempos y recursos, de las acciones que se van a realizar.

La *planificación* se puede definir como el conjunto de esfuerzos previos y actividades iniciales que surgen para determinar los cursos de acción a seguir con la finalidad de alcanzar unos objetivos determinados. Estos esfuerzos pueden ser muy variados, pero comprenden: la definición de la visión, la misión y los objetivos estratégicos; la determinación de las políticas de mantenimiento; los procesos y procedimientos para realizar los trabajos; y primordialmente, la definición de los recursos necesarios para realizar las actividades en función económica ^[19].

Las *políticas* son planes generales de acción o reglas fundamentales que sirven como guía para reflexionar y actuar; ameritan la interpretación y requieren de buen juicio e iniciativa para el logro de los objetivos. Los objetivos se consideran planes en cuanto tienen que ver en el desarrollo de actividades futuras, desde luego forman parte de la planeación.

Los *procedimientos* son planes minuciosos y detallados para llevar a cabo las políticas; son el resultado de un planeamiento cuidadoso con el patrón prefijado que se ha de seguir, pueden enlazar actividades que se refieren a la maquinaria, al personal y a los registros. En tanto que los procedimientos prescriban la secuencia y la forma en que cada actividad debe realizarse constituyen un elemento de control. Los procedimientos traducen las políticas a un lenguaje administrativo claro y detallado.

Los *programas* son planes de uso único, que regulan la marcha de las actividades a realizar, en cuanto se refieren a la secuencia y su tiempo de duración.

Un programa efectivo controla el trabajo para alcanzar un equilibrio entre los diversos factores que influyen en el mismo.

4.3.2 Proceso de planeación

Existen diferentes reglas aplicables en un proceso de planeación, pero básicamente se debe seguir una serie de pasos secuenciales para llevar a cabo una planeación efectiva de las actividades de mantenimiento, estos son:

- Determinar las necesidades de los equipos, mediante estadísticas de comportamiento, reportes de frecuencias de falla, o bitácoras.
- Diagnosticar las causas de falla, mediante investigación y análisis.
- Planear soluciones alternativas y proponer las acciones correctivas, mediante listado priorizado de las actividades.
- Programar lo planeado con la secuencia de actividades.
- Evaluar el programa en carga de trabajo.
- Confrontar la carga de trabajo con la fuerza de trabajo.
- Informar, y controlar el programa con producción.
- Elaborar la reprogramación si fuere necesario.

4.4 PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO

4.4.1 Definición y etapas

La programación es la determinación anticipada del lugar y el momento en que deben iniciarse y terminarse las operaciones necesarias, con los recursos necesarios, para la fabricación de un producto o la prestación de un servicio.

La eficiencia de un programa de mantenimiento la limita el acierto en la distribución de las órdenes de trabajo y los procedimientos de control; y de manera muy especial el grado y exactitud de la planeación hecha. En cuanto a los programas de mantenimiento, al igual que de producción, es de máxima importancia percatarse de que los procedimientos deben ser el resultado de considerar los objetivos específicos y no de la simple necesidad de contar con ellos.

Los principios básicos para la programación de producción, que sirven también para el mantenimiento, son los siguientes ^[47]:

- Los programas deben basarse en lo que es más probable que ocurra, más

que en lo que se quisiera que ocurra.

- Se debe tener presente que puede presentarse la necesidad de hacer cambios periódicos en los programas.
- El programa es un medio para conseguir los fines, y no un fin en sí mismo. Su verdadero objetivo es el servicio a los clientes a un costo razonable.
- Los plazos de entrega deben incluir unos márgenes de tiempo para conseguir materiales, efectuar los trámites y hacer las preparaciones necesarias.
- Los registros oportunos de carga de trabajo u órdenes pendientes, de máquinas, o grupos de personal, tiene que contener el mínimo de detalles necesarios para suministrar un plan de acción.
- Materiales, herramientas, personal y accesorios tienen que hallarse oportunamente en cada uno de los puntos de control.
- Todo programa tiene que fundarse en un estudio del costo más bajo y de la fecha límite de entrega.

Con el fin de observar apropiadamente estas reglas, es necesario seguir los procedimientos y normas determinados, precisar los límites de carga y fuerza de trabajo, definir la autoridad y responsabilidad, y establecer eficazmente las actividades de control. Con base en lo anterior se puede resumir en tres las etapas de la programación:

- Determinar o estimar el tiempo calendario, que lleva cada actividad o sub-actividad del plan.
- Fijar la secuencia de las actividades de acuerdo con las prioridades preestablecidas.
- Elaborar la programación, asignando personas, materiales, equipos, máquinas y demás recursos necesarios.

4.4.2 Clasificación de los programas

Los programas se pueden clasificar en dos grupos básicos, de acuerdo con la forma como son elaborados^[11]:

- *Programas de asignación de trabajos.* Son aquellos que determinan primero los trabajos y actividades a realizar y basándose en ellos el personal requerido.
- *Programas de asignación de personal.* Aquellos que distribuyen el personal en las diferentes labores a realizar, de acuerdo con una asignación fija de trabajadores a cada área o sección de la industria.

Una segunda clasificación debe ser de acuerdo con la periodicidad con que se van a realizar y los más comunes son:

- *Diario*
- *Semanal*
- *Mensual*
- *Semestral y*
- *Anual.*

Cada uno de los tipos de programas enumerados puede según su forma de ejecución ser^[47]:

- *Centralizado.* Existe una sola unidad de programación general.
- *Por departamentos.* Cada uno de los departamentos de la empresa intervienen en la elaboración de su programa de mantenimiento particular.
- *Por áreas de proceso.* Cuando existe diversas secciones productivas se requiere la elaboración de programas individuales, acordes con sus actividades particulares.

4.4.3 Información necesaria para programar

En la elaboración de un programa de mantenimiento, básicamente se necesita la siguiente información:

- Cantidades a intervenir dentro del plan.
- Fechas límites para entregar las máquinas o terminar los servicios, a otros departamentos, talleres, o al mismo mantenimiento.
- Tiempos de duración de las operaciones, proceso de adquisición de partes, actividades técnicas o teóricas, etc.
- Capacidad de las acciones de mantenimiento, medida como la fuerza de trabajo disponible del departamento.
- Cantidad de tiempo ocioso, o días no laborables para producción, para mantenimiento, o para los proveedores.

4.4.4 Elementos para hacer un programa

Todo programa de trabajo requiere fundamentalmente de las etapas de planeación y programación propiamente dichas. La planeación incluye la recopilación de las actividades que se deben incluir en el programa, y la selección de las mejores alternativas. En la programación se definen las acciones determinadas con su secuencia, sus límites de tiempo y la asignación de personal.

Los elementos básicos necesarios para llegar a una buena programación de los trabajos, con base en las etapas mencionadas son los siguientes^[5]:

- Planificar el trabajo para trazar el camino del mantenimiento.
- Usar procedimientos de estimación de tareas estandarizados.
- Utilizar un sistema de órdenes de trabajo para organizar, preparar, autorizar el trabajo, y controlar lo realizado.
- Elaborar un programa general que relacione la fuerza de trabajo y la carga de trabajo.
- Preparar un procedimiento general de programación en detalle.
- Tener una base para medición del trabajo.
- Definir el sistema de control de tiempos, para poder estimar costos.
- Disponer de un buen sistema de retroinformación.
- Poseer suficientes normas de trabajo.

4.5 ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO

4.5.1 Importancia

La organización es la estructura jerárquica de las relaciones que deben existir entre las funciones, niveles y actividades de una empresa, con el fin de lograr su máxima eficiencia dentro de los objetivos establecidos. Estructurar es ordenar, disponer, agrupar y distribuir las partes de un sistema, con funciones, jerarquías, comunicaciones y mando.

Tan grande es la importancia de la organización, que muy a menudo se confunde con la administración misma; en sí, la organización sirve como enlace entre la teoría y la práctica, quiere decir, entre lo que debe ser y lo que realmente es. La estructura de una organización reconoce niveles de autoridad y grados de responsabilidad. La línea de autoridad, o línea de mando, desciende desde un nivel de alta autoridad a otros de baja autoridad. La línea de responsabilidad, asciende desde el nivel más bajo hasta los más altos. Estas líneas se denominan conductos regulares o "líneas de comunicación".

Con base en la importancia de la organización y sus etapas, los pasos de un procedimiento lógico para organización de personal son ^[33]:

- Definir las funciones de cada cargo.
- Asignar obligaciones y responsabilidades.
- Localizar jerárquicamente puestos y cargos.
- Programar la capacitación y desarrollo.

Considerando que la administración busca obtener resultados guiando el es-

fuerzo de otros, resalta la importancia que tiene el *Talento Humano* para el desarrollo de las organizaciones.

4.5.2 Organigramas y descripción de funciones

Los organigramas de la empresa y del departamento de mantenimiento tienen gran importancia no solo para apreciar con claridad la estructura organizacional establecida, sino también para mejorar la comunicación y vinculación del personal. Los organigramas son gráficas que muestran en forma clara los aspectos más importantes de la estructura incluyendo canales de supervisión, líneas de autoridad, rutas de comunicación y las relaciones con otros departamentos. Además, los organigramas sirven para capacitar al personal de mantenimiento, y formarse una idea clara de su vinculación y de su relación con el resto de la organización.

La confianza en el *Talento Humano* es el bien más importante del área de mantenimiento; cada una de las actividades es indispensable en una buena organización. La tarea principal del líder de mantenimiento es organizar un departamento que suscite seguridad y permita alcanzar los objetivos de la compañía. Todo individuo debe conocer bien sus tareas y el sitio que ocupa, y así poder integrarse como miembro de un equipo solidario. Por tanto, puede afirmarse que los fines del departamento de mantenimiento son los mismos de los individuos que lo componen. En forma global los organigramas se pueden dividir en generales, que son los relativos a toda la empresa, y complementarios, los relativos a una sección, departamento o función específica.

Los organigramas, según su diseño, pueden ser horizontales, verticales, triangulares y circulares. Para preparar un organigrama deben seguirse los pasos siguientes^[35]:

- Enlistar las funciones principales.
- Departamentalizar las funciones, es decir agruparlas en la forma de organización escogida.
- Dentro de cada cargo, determinar funciones mayores y menores.
- Elaborar el diagrama de la organización para cada agrupación de funciones, y
- Hacer el diagrama general y asignar títulos a los diferentes cargos.

Cada cargo debe reflejar el grado de autoridad y responsabilidad de la persona que lo posea, así como la capacidad, experiencia y calificación adecuada.

Uno de los aspectos de mayor dificultad al estructurar una organización es la

descripción de funciones, ya que usualmente se trata de organizar, tomando en cuenta más que nada los *Talentos Humanos* disponibles y describiendo funciones y puestos acorde a sus habilidades o destrezas; debiendo ser al contrario como se debe proceder, es decir describir las funciones teniendo en cuenta los objetivos y planes trazados.

Los principales factores a considerar al describir funciones son ^[56]:

- *Escolaridad.* Grado o nivel de estudios que se requiere para cumplir satisfactoriamente con las dificultades inherentes al cargo. Estos estudios pueden adquirirse por la escuela o por auto-educación.
- *Experiencia.* Requisito de conocimientos y destrezas adquiridos en la práctica, desempeñando actividades similares durante un tiempo determinado.
- *Juicio.* Determina el grado de dificultad requerido para organizar el trabajo propio, así como la necesidad de tomar decisiones y definir cursos de acción. Refleja la complejidad del trabajo incluyendo la creatividad requerida, como el origen de la supervisión necesaria para el cargo.
- *Responsabilidad.* Mide primero el grado de cuidado y atención para prevenir los errores; la precisión para una buena comunicación, y la obligación de responder por el desarrollo del personal a su cargo, el uso efectivo de su tiempo, y la habilidad para favorecer el logro de los objetivos generales de la organización.

4.5.3 Sistemas de organización del mantenimiento

4.5.3.1 Organización del Mantenimiento Centralizado. Este sistema propone que todas las actividades del departamento se controlen en una única localización central. Implica un solo gerente del departamento de mantenimiento general y un solo líder para cada sección de operaciones comunes. Al personal se le transfiere de un área a las otras.

En este sistema los talleres de mantenimiento están centrados en cuanto su localización física y deben atender simultáneamente varias áreas; por tanto, mantenimiento debe trabajar en total armonía con producción. Si el sistema está bien organizado se tiene un flujo continuo de operación, y si se presenta alguna emergencia, siempre hay todo un equipo natural de trabajo adiestrado disponible. Durante los períodos flojos el personal puede preparar refacciones, construir nuevos equipos, o reconstruir el antiguo.

La organización del mantenimiento centralizado recibe la autoridad de la Gerencia General directamente; el jefe de la división delega autoridad a los jefes de departamento, y estos a su vez a los supervisores de todas las secciones y talleres, el flujo de autoridad resulta en este sistema un procedimiento sencillo, con muy pocas posibilidades de falla.

4.5.3.2 Organización de mantenimiento de área. La organización de mantenimiento por Zona Área, como su nombre lo indica, establece la división de la planta en áreas, cada una con su propio equipo de trabajo. Esta organización es típica en empresas grandes donde se tiene un jefe por área de trabajo, con sus respectivos supervisores y planeadores; lo cual se hace para mayor eficiencia y economía; porque las oficinas y los talleres se sitúan en la proximidad de los departamentos de producción a los que sirven. El personal de mantenimiento resulta eficiente en la conservación del equipo dentro de sus propias áreas, pero cuando se usa en otros departamentos, por falta de conocimiento del equipo, es posible que se aumenten los costos.

Cuando el sistema de áreas está debidamente organizado, suministra las órdenes de trabajo que se originan dentro del área, a los departamentos que harán el trabajo. La fuerza laboral requerida por áreas, usualmente es mayor que en el mantenimiento centralizado, debido a la dificultad de desplazar los trabajadores de un área a otra. Una mayor fuerza aumenta la posibilidad de tener a los trabajadores ociosos, cuando los sistemas y maquinaria de un área dada, está en buenas condiciones de operación.

Las inspecciones preventivas en este sistema son normalmente función del personal de mantenimiento; si se detectan complicaciones o fallas, la decisión del procedimiento a seguir, se toma como regla a nivel superior entre producción y mantenimiento. El Mantenimiento Preventivo en el sistema descentralizado, es una herramienta efectiva, siempre y cuando exista una estrecha colaboración entre mantenimiento, supervisión de producción e Ingeniería.

En el mantenimiento por área se logra un mejor control total de costos, por el tipo de organización y por la mayor facilidad para una adecuada presupuestación. La verificación o control del trabajo realizado, debe seguir los mismos procedimientos, tanto en el sistema por áreas, como para el mantenimiento centralizado. Los indicadores de costos, han de ser básicamente iguales para ambos sistemas para mantenerlos dentro de los límites preestablecidos.

Es importante señalar algunas reglas prácticas y sencillas para escoger entre el mantenimiento de área y el centralizado. La conclusión obvia es que la preferencia del trabajo de mantenimiento entre los dos sistemas, debe depender del tamaño y de las condiciones que existan en la planta específica.

4.5.4 Funciones del encargado de mantenimiento

La persona encargada de dirigir el departamento de mantenimiento de una empresa, debe responder por dos funciones generales^[26]:

- Planeación de los trabajos.
- Ejecución de los trabajos.

La planeación incluye:

- Establecer objetivos.
- Redactar los procedimientos.
- Preparar los trabajos.
- Investigar y analizar las actividades.
- Tomar decisiones de acción.
- Hacer o revisar las estadísticas.
- Controlar la programación.
- Emitir las órdenes de trabajo.
- Activar las adquisiciones.
- Asignar los trabajos.

La ejecución incluye:

- La dirección y ejecución propiamente dicha.
- Informar y opinar sobre el desarrollo de las actividades.
- Vigilar y supervisar la correcta ejecución.
- Decidir sobre la marcha del trabajo (trabajos esporádicos que no se pueden planear).

Algunas de las funciones del jefe de mantenimiento son comunes a los supervisores, que además de su función específica, trabajan ordenando y conjugando los recursos necesarios para que los planes y programas se hagan realidad.

Entre las funciones reales, un supervisor debe ser:

- Compañero de trabajo para los otros supervisores.
- Colaborador del personal del departamento.
- Asistente administrador, para su jefe y la gerencia.
- Realizador de las necesidades productivas.
- Mediador entre los trabajadores y el jefe.
- Líder de sus subordinados.

4.5.5 Recursos fundamentales para la organización

Como se dijo anteriormente los recursos fundamentales para una buena organización son los recursos materiales y el talento humano.

Los recursos materiales comprenden:

- Materias primas
- Repuestos o refacciones
- Herramientas y
- Equipos.

En la cuarta fase de la administración del mantenimiento, es necesario integral al Talento Humano con los materiales indispensables para la realización de los planes y programas del departamento. Los recursos materiales son imperiosos para el éxito de la gestión, puesto que para el mantenimiento hay que tener los repuestos y contar con los equipos y las herramientas adecuadas para realizar labores efectivas. El proceso más conveniente para lograr la integración de los recursos materiales implica:

- Determinación real de las necesidades.
- Selección y adquisición de los recursos más eficientes y económicos.
- Instalación y conservación efectiva de estos recursos.

El *Talento Humano* es el pilar sobre el cual se realizan las actividades de mantenimiento. Para lograr que las cosas se hagan mejor, es importante mantener un programa permanente de capacitación y de formación del personal. Pero el buen desempeño de las actividades, depende en gran parte, de aplicar los principios administrativos para el reclutamiento y selección de personal. Con base en ello se recomienda:

- Buscar el talento básico para el puesto, es decir, la persona adecuada para el puesto adecuado.
- Un puesto no debe abarcar dos funciones diferentes; en compañías pequeñas esto es difícil de aplicar y pasa a ser un propósito cuando lo permitan los recursos físicos.
- Colocar en cada puesto a la persona con las aptitudes y capacidades necesarias. Significa que la persona seleccionada no tenga múltiples aptitudes, lo cual haría que desarrolle su trabajo sin interés, ni muy pocas, pues no podría cumplir eficazmente con su labor.

- Mediante la capacitación y desarrollo, se busca llevar a las personas seleccionadas al nivel de eficiencia requerida para desempeñar las funciones del cargo, y adquirir la preparación necesaria para ejercer cargos de mayor jerarquía.

La responsabilidad de la preparación y desarrollo del Talento Humano del mantenimiento descansa esencialmente en el jefe del departamento. Sin objetivos que cubran las necesidades de adiestramiento y sin una firme política de capacitación, no será posible ni siquiera poner la base de un programa de entrenamiento, y mucho menos que este sea eficaz; porque el adiestramiento es una función de carácter permanente si se quieren reponer efectivamente los faltantes de personal que se puedan presentar en un momento determinado.

Por otra parte, el jefe de mantenimiento colabora con el desarrollo de su gente promoviendo el adiestramiento y la formación práctica, confiando las tareas adecuadas, exigiendo elevadas normas de desempeño, dando oportunidades de participación para implementar las estrategias y las políticas diseñadas. Todo ello debe ir acompañado de la motivación y la incentivación necesaria, para que cada persona realice con satisfacción las labores encomendadas. El proporcionar la motivación indispensable al trabajador es otra responsabilidad que le corresponde a la dirección; todo plan de incentivos, para que pueda dar buenos resultados, necesita ser bien proyectado y administrado, suficientemente claro para todos, y tener un alcance razonablemente completo.

La *motivación* responde a las carencias que cada trabajador tiene; estas necesidades son dinámicas puesto que varían a lo largo del tiempo y son diferentes para cada quien. Algunos factores motivacionales esenciales pueden ser: realizar actividades que permitan obtener sentimientos de logro, recibir reconocimientos, y asumir responsabilidades. Usualmente se han establecido dos categorías de *recompensas*, aquellas relacionadas con el trabajo *intrínseco*, como el reconocimiento, la responsabilidad, la autonomía, la posibilidad de usar todas las habilidades y conocimientos, por otro lado, se consideran aquellas que se relacionan con el contexto de trabajo *extrínseco*, como pueden ser la seguridad, la retribución, o la estabilidad en el puesto, así como las condiciones físicas del entorno laboral.

En el campo del mantenimiento, un plan de motivación no puede seguir un patrón determinado; para que sea eficaz, necesita lograr una mayor utilización del *Talento Humano* y de las facilidades técnicas dispuestas por producción; promover muy buenas relaciones de trabajo, disminuir el número de problemas de las personas y estimular la iniciativa de los individuos. Además, debe también ser justo y equitativo para todos, y lo suficientemente flexible para adaptarse a condiciones variables^[47].

Todo plan de incentivos bien concebido, debe finalmente, tener presente las necesidades del personal, la compañía y el público. Los trabajadores desean que se evalúe con acierto su desempeño, que el incentivo que se les brinde sea atractivo, con una cobertura suficientemente amplia, y lo puedan entender con facilidad. La compañía desea la mayor producción posible, siempre acorde con una buena calidad, seguridad del trabajador y un control adecuado de los procesos y los equipos. El público, por su parte, desea un producto de buena calidad, a precio razonable y justo.

5. Estrategias del mantenimiento moderno

5.1 INTRODUCCIÓN

En las cuatro últimas décadas, el mantenimiento industrial ha sufrido grandes cambios dejando de ser visto como un centro de costos, para pasar a ser un proceso integral que contribuye prioritariamente a la generación de utilidades, y es responsable de la sobrevivencia de las organizaciones. Estos cambios son resultado de la actual competitividad de los negocios y la globalización económica.

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.

La *Ingeniería de la Confiabilidad* se distingue como el marco teórico en el cual conviven las metodologías y técnicas necesarias para optimizar el uso de los activos fijos. La Confiabilidad de un sistema o un equipo, es la probabilidad de que dicha entidad pueda operar durante un periodo de tiempo sin pérdida de su función. La *Confiabilidad Operacional* incluye estrategias y procesos de mejora continua, herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis, y tecnologías de punta, para el mejoramiento de la gestión del mantenimiento industrial.

El objeto del presente capítulo es dar a conocer la moderna ideología de la *Confiabilidad Operacional*, que incluye las estrategias modernas 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.

5.2 QUÉ ES LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL

La *Confiabilidad Operacional* se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistémica, avanzadas herramientas de diagnóstico, estrategias modernas y metodologías de análisis, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial^[2].

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

La *Confiabilidad Operacional* lleva implícita la capacidad integral de la empresa (procesos, tecnología y talento), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico^[2].

El fin último 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. Estos cuatro elementos, que se explican en el próximo numeral, se muestran en la figura 5.1^[20].

Un proceso de *Mejora de la Confiabilidad Operacional* involucra cambios en la cultura de la empresa, generando una organización diferente con un amplio sentido de la productividad y con una visión de los objetivos del negocio. La variación en conjunto, o individual, que pueda afectar a cada uno de los cuatro elementos mostrados, influye en el rendimiento general del sistema. Cualquier hecho aislado de mejoramiento produce beneficios, pero al no tomarse en cuenta los demás factores, sus ventajas son limitadas o diluidas en la compañía, y pasan a ser solo el resultado de un proyecto y no de un cambio substancial^[20].

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 TQM (*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^[20].



Fuente: Adaptada de The Woodhouse Partnership Ltda. 2000.

Figura 5.1. Frentes de la Confiabilidad Operacional.

La confiabilidad en mantenimiento se entiende como la probabilidad de que un sistema, sobreviva sin fallas durante un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación específicas. Sin embargo, la definición no demuestra en realidad todos los alcances que conlleva. La confiabilidad es más que una probabilidad, es una nueva forma de ver el mundo, en realidad es una *Cultura* que debe implementarse a todos los niveles de la industria desde la alta dirección hasta el empleado de más bajo nivel.

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 de radical importancia 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 for-

mación 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.

Todo lo anterior requiere del soporte gerencial del más alto nivel, y el convencimiento de que no es una tarea fácil ni a corto plazo, donde se debe hacer una gran inversión en capital y en tiempo; en capacitación, en incentivación, en motivación y en reconocimiento; para lograr que los beneficios superen con creces las predicciones.

5.3 FRENTES DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL

5.3.1 Confiabilidad de los 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: criticidad, reemplazabilidad, accesibilidad, tiempo de reposición, costo de reposición y variabilidad de la demanda; 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 transferencias 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 confiabilidad es la probabilidad de que un equipo cumpla su función principal (no falle) bajo condiciones de operación determinadas en un período de tiempo específico. La confiabilidad se relaciona básicamente con la tasa de fallas (cantidad de fallas en un periodo de tiempo) y con el tiempo medio de operación (MTTF), o el tiempo promedio entre fallas (MTBF). Mientras el número de fallas de un determinado equipo vaya en aumento, o mientras el MTBF de un equipo disminuya, la confiabilidad del mismo será menor.

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 ciento 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, adecuada-

mente 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.

5.3.2 Confiabilidad de los 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 y programación, ejecución, y el control y seguimiento con indicadores de gestión de clase mundial, son de gran importancia para el mejoramiento de la *Confiabilidad Operacional*.

La estructura de los departamentos de Talento Humano está cambiando muy rápidamente de funciones orientadas hacia las tareas, tales como selección o capacitación, hacia un enfoque sistémico y sistemático, por ejemplo: el soporte interno de los procesos de Talento Humano para el área de producción; cambiando la especialización hacia la función, por el enfoque hacia las personas, es decir, que antes existía un especialista en capacitación, que únicamente velaba por dicha función, mientras que hoy el enfoque es hacia el control de todos los procesos de gestión del Talento Humano de un área operativa, permitiendo la especialización en los empleados y no en la función, o en la tarea.

Los procesos humanos deben ser administrados por los dueños directos de los procesos, tanto claves como de apoyo, ya que ellos son quienes deben gerenciar su Talento Humano, involucrándose directamente en los aspectos relacionados con el reclutamiento, selección, capacitación, inducción, desarrollo, evaluación del desempeño y compensación, de las personas asignadas a su unidad operativa, modificando la función de los ejecutivos de Talento Humano hacia un rol especial de *asesores internos*, que apoyan en todo lo relacionado con los procesos de gestión humana, a los dueños directos de los procesos operativos.

La *Confiabilidad de los Procesos* analiza las partes del sistema, sus etapas de implantación y los requisitos que se 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 su respectiva codificación, 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 adelante el segui-

miento con los indicadores de gestión definidos inicialmente, donde son de particular importancia los de costo - efectividad.

La gestión técnica de los procesos busca^[28]:

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

5.3.3 Confiabilidad de diseño

La *Confiabilidad de diseño* se asocia directamente con la *Mantenibilidad de los Equipos*, que se define como la probabilidad de que un elemento, sistema, máquina, 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.

La norma MIL-STD-721B 1996 de USA, define la *Mantenibilidad* como la característica de diseño e instalación de un equipo o sistema, expresada como la probabilidad de que un elemento sea recuperado a su condición especificada de diseño, durante un período de tiempo empleado en su mantenimiento, cuando éste se realiza de acuerdo con procedimientos y recursos preestablecidos. El parámetro fundamental para determinar la *Mantenibilidad* lo constituye el tiempo medio de reparación de las fallas (MTTR).

La *Ingeniería de Mantenibilidad* es la ciencia que estudia la complejidad, los factores y los recursos relacionados con las actividades que se deben realizar para mantener y recuperar la función principal de los activos. El *Análisis de la Mantenibilidad* es una potente herramienta, para estimar la capacidad de un sistema de ser recuperado para el servicio, mediante la realización de tareas de mantenimiento. La Ingeniería de Mantenibilidad proporciona una contribución amplia a la reducción de los costos totales del mantenimiento de un activo durante su ciclo de vida.

Los aspectos principales que se deben tener en cuenta para una buena *Mantenibilidad* de los activos son:

- *Factores Operacionales.* Debidos 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.

5.3.4 Confiabilidad del Talento Humano

La tendencia actual lleva a las empresas a utilizar un amplio número de tecnologías integradas al área de la confiabilidad, donde se destaca la “Confiabilidad Humana” como requisito indispensable para gestionar eficientemente el conocimiento y tomar las decisiones más acertadas.

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*.

El análisis del *Talento Humano* permite determinar los requerimientos y los perfiles requeridos, así como las competencias y las actitudes necesarias de las personas para cada puesto de trabajo. Luego se deben establecer los procedimientos de selección de personal y de formación continuada, que permitan lograr las habilidades requeridas en los perfiles definidos. También debe proveer el desarrollo del *Talento Humano*, crear sistemas de evaluación de desempeño y un programa de formación, motivación, reconocimiento y recompensas que estimulen el desarrollo continuo del personal de la organización.

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

cambios en las políticas corporativas. Además, es claro que debe proporcionar el soporte visible, implementar los factores críticos de éxito, y apoyar los procesos de análisis y solución de problemas para eliminar las complicaciones que se presenten.

5.4 BENEFICIOS DE LA CONFIABILIDAD

Entre los beneficios que se pueden obtener con la implementación de un *Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional* a nivel corporativo, se mencionan^[2]:

- 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 precoz de 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 y estrategias propias de la organización.
- Posicionamiento a nivel global, con el uso de las mejores prácticas de mantenimiento de las empresas de categoría mundial.

5.5 APLICACIÓN DE LA CONFIABILIDAD

Las estrategias de Confiabilidad Operacional se usan ampliamente en los casos relacionados con^[28]:

- 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 permitan minimizar riesgos en los procesos, equipos e instalaciones, y medio ambiente.
- Establecer procedimientos operativos y prácticas de trabajo seguro.

- Determinar el alcance y frecuencia óptima de paradas de plantas.

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 ^[2]:

- *La Confiabilidad Organizacional*. Llamada también en forma sesgada Confiabilidad Humana, siendo esta 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 de Sistemas*. 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, minería de datos y estadísticas.

5.6 ESTRATEGIAS DE LA CONFIABILIDAD

Para la implementación de un programa de *Confiabilidad Operacional* es indispensable establecer un plan estratégico que permita la creación de un *Clima Organizacional* clave para el éxito. El proyecto debe iniciar con una conveniente revisión y planeación de actividades, debe apoyarse en los últimos avances tecnológicos, y debe concluir con la integración de varias herramientas estratégicas, lo que constituye definitivamente un sistema de “*Optimización Integral de Mantenimiento*” (MIO).

Existen diferentes estrategias con las que la *Confiabilidad Operacional* pretende mejorar las actividades referentes al mantenimiento, entre las que se pueden enumerar:

- Mantenimiento Correctivo Planeado (PCM)
- Mantenimiento Preventivo Planeado (PPM)
- Mantenimiento Basado en Condición (CBM)
- Mantenimiento Productivo Total (TPM)
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)
- Optimización de Mantenimiento Planeado (PMO)
- Mantenimiento Basado en el Negocio (BBM)
- Mantenimiento Terotecnológico (TTM)

- Gestión del Rendimiento Corporativo (CPM)
- Prevención de Mantenimiento (MP)
- Modelos Mixtos de Confiabilidad (RMM)
- Optimización Integral de Mantenimiento (MIO).

Dentro de estas técnicas de mantenimiento las cuatro principales de soporte para la *Confiabilidad Operacional*, se muestran en la figura 5.2., y se describen en los párrafos siguientes.

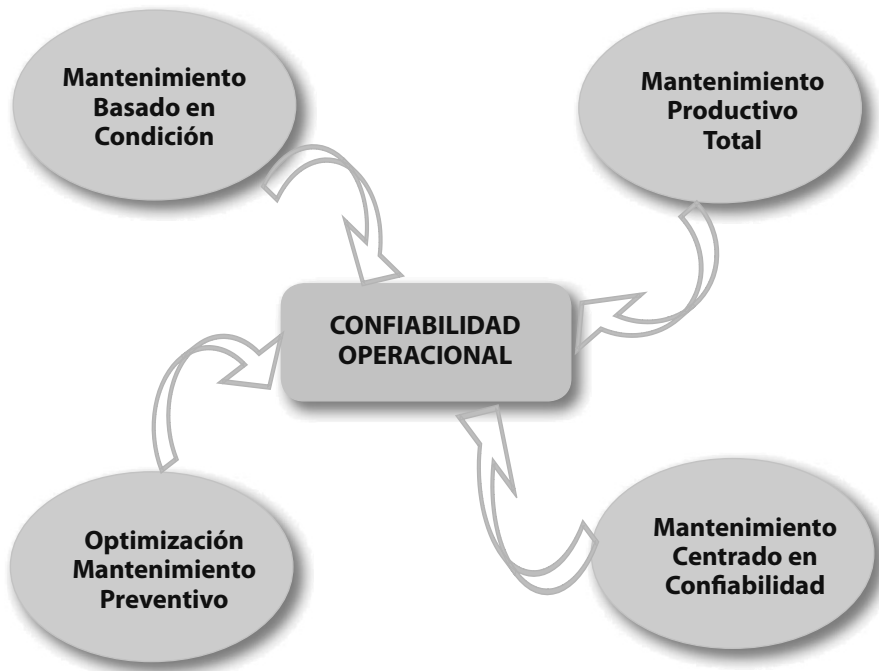


Figura 5.2. Estrategias de Confiabilidad Operacional.

5.6.1 Mantenimiento Basado en Condición (CBM)

Es el mantenimiento basado en la medición del estado (condición) de un equipo para evaluar su probabilidad de falla durante un período futuro, con objeto de tomar la acción más apropiada para prevenir o evitar las consecuencias de esta 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 CBM, también llamado “*Mantenimiento Predictivo*”, se define como: “El conjunto de actividades, programadas para detectar las fallas de los equipos por revelación antes que sucedan, con los equipos en operación y sin perjuicio de la producción, usando equipo de diagnóstico y pruebas no destructivas”^[18].

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 de muy amplia divulgación actual, entre las que se destacan, el Análisis de Vibraciones, la Termografía Infrarroja o la Termovisión, el Análisis de Lubricantes, la Inspección Visual Remota, el Mecanálisis de Ruidos, el Ultrasonido, la Radiografía Industrial, el Método de Impulsos de Choque (SPM), la Coronografía Ultravioleta, el Monitoreo de Efectos Eléctricos y magnéticos, el Análisis de Furanos, y las pruebas conocidas como Ensayos No Destructivos (NDT).

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 incipientes que convierten los daños en rutinas programadas de mantenimiento.
- La eliminación de las inspecciones de Mantenimiento Preventivo, en que hay que desarmar los equipos.
- Aumento del período entre las revisiones detalladas e inspecciones generales de Mantenimiento Preventivo.
- 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.
- 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 apreciable del consumo de energía de los equipos, cuando trabajan en óptimas condiciones.

- Garantía de cumplimiento de las características de diseño y aumento 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 metodologías y equipos de diagnóstico, todos ellos tienen características diferentes. Los equipos portátiles ofrecen menor protección a menor costo, mientras que los automáticos más sofisticados protegen muy bien las máquinas a un precio considerablemente mayor, pero para cada planta y proceso existe un sistema de diagnóstico, que efectivamente puede salvar a la empresa de millonarias pérdidas al no incluir en su mantenimiento las técnicas modernas del Mantenimiento Predictivo.

5.6.2 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Es un moderno sistema gerencial de soporte al desarrollo industrial, que permite con la participación total de la organización tener equipos de producción siempre listos. La metodología del TPM, sostenida por varias técnicas de gestión, establece las estrategias adecuadas para mejorar la productividad empresarial, para poder afrontar con éxito el proceso de globalización y apertura de la economía^[4].

El *Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas* (JIPM) define al TPM en los siguientes términos^[46]:

“El TPM se orienta a maximizar la *efectividad de los equipos* (mejorar la eficiencia y la eficacia global) implantando un modelo de mantenimiento productivo de alcance amplio, que cubre la vida entera de la maquinaria, involucrando todas las áreas vinculadas con los equipos (planificación, producción, mantenimiento, etc.), con la participación total del personal, desde la alta dirección hasta los operarios de bajo nivel, para promover el mantenimiento productivo a través de la gestión, de la motivación, o las actividades de pequeños grupos voluntarios”.

El TPM como un esfuerzo enfocado en mejorar la efectividad del equipo, busca crear el estado ideal del sistema productivo. Cualquier holgura 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.

La filosofía del TPM hace parte del enfoque permanente hacia la calidad. Mientras la Calidad Total pasa de hacer énfasis en la inspección y en la selección, a

hacer énfasis en la prevención; el TPM pasa del énfasis en la simple reparación, al énfasis en la prevención y predicción de las averías y del mantenimiento de los equipos.

El TPM incluye las cinco metas siguientes ^[16]:

- 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.

La estructura moderna del TPM, planteada en www.tpmonline.com por Enrique Mora, que se muestra en la figura 5.3, se basa en el desarrollo de siete pilares, que son fundamentales dentro de la nueva filosofía para la optimización de la productividad de la empresa con acciones puramente prácticas ^[40]:

- Principios de la Administración Japonesa: 5 Eses.
- Educación Capacitación y Entrenamiento.
- Mantenimiento Autónomo por Operadores.
- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.
- Proyectos de Mantenimiento de Calidad y mejora de la OEE.
- Mantenimiento Planeado Proactivo.
- Mantenimiento Preventivo y Predictivo.



Fuente: TPMonline.com

Figura 5.3. Estructura Moderna del TPM.

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*”^[44]:

- 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: la disponibilidad, el rendimiento del sistema y la tasa de calidad^[44]. 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 requisito 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^[45]:

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

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

El alcance global del TPM ha venido evolucionado desde la década de los sesenta, hasta el punto que se le considera actualmente como un sistema de Innovación Industrial, como se muestra en la figura 5.4, sobrepasando los modelos de mejoramiento industrial del final del siglo pasado.

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 usa efectivamente las técnicas de mantenimiento Preventivo y Predictivo.
- 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.

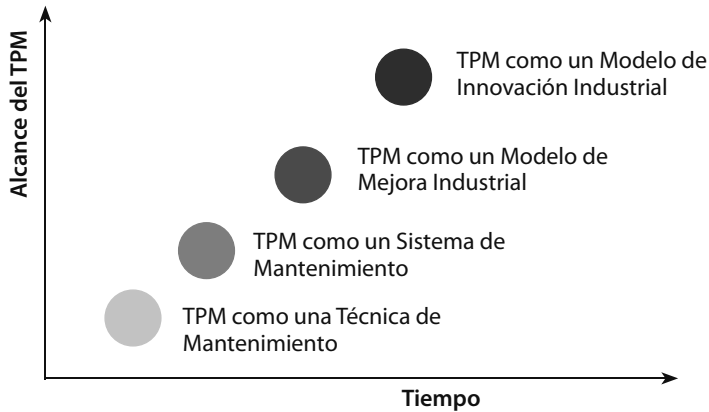


Figura 5.4. Evolución del alcance del TPM.

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. Sin embargo, para alcanzar este objetivo se debe implementar un modelo de *Gestión Estratégica Integral* que incluya simultáneamente programas y actividades de producción, mantenimiento, calidad, control y seguimiento, que permitan a la alta dirección de la compañía pasar de las palabras a los hechos, apoyándose para ello en los principios del Kaizen Japonés, que incluye mejoramiento continuo, justo a tiempo, eliminación de actividades sin valor agregado, creatividad e innovación, motivación y liderazgo, autodisciplina y Kairyo (cambio total), buscando el compromiso de todos.

5.6.3 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

El RCM es una metodología diseñada por la aviación militar en la USA. Su fin último es ayudar al personal de mantenimiento, a definir la mejor práctica para garantizar la confiabilidad de la función de los activos fijos, y para manejar los efectos de sus fallas.

La definición formal del RCM, es la propuesta en la norma SAE - JA 1011 de

agosto de 1999: “El *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* es una filosofía de gestión de mantenimiento, en la cual un equipo de trabajo multidisciplinario, se encarga de optimizar la *Confiabilidad Operacional* de un sistema productivo, que funciona bajo condiciones de operación definidas, estableciendo las actividades más efectivas en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, considerando los posibles efectos que originan los modos de fallas de estos activos, en la seguridad, el ambiente y las funciones operacionales”.

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, 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.

El objetivo primario del RCM es conservar la función de sistema, antes que la función del equipo. La metodología lógica del RCM, que se deriva de múltiples investigaciones, se puede resumir en seis pasos ^[53]:

- 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.

Las premisas básicas para el diseño de un proyecto de RCM que busque la optimización del mantenimiento, deben ser:

- Lo fundamental es la Disponibilidad de los Equipos.
- El interés principal debe ser la función que estos desempeñan.
- Se debe cuestionar todo plan de mantenimiento no sustentado por un Análisis de Confiabilidad.
- El análisis debe ser sistémico y sistemático, tanto en extensión como en profundidad.

De acuerdo con la norma SAE – JA 1011 editada en agosto de 1999, un programa de RCM debe garantizar que las siguientes siete preguntas básicas sean contestadas satisfactoriamente en la secuencia mostrada ^[5]:

- ¿Cuáles son las funciones principales asociadas al activo en su actual contexto operacional? (funciones).
- ¿De qué manera no se satisfacen sus funciones? (fallas funcionales).
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? (modos de falla).
- ¿Qué sucede cuando ocurren las fallas? (efectos de las fallas).
- ¿De qué manera puede afectar cada tipo de fallas? (consecuencias de las fallas).
- ¿Qué puede hacerse para prevenir, o para predecir las fallas? (tareas probables e intervalos de las tareas).
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (acciones preestablecidas).

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.

5.6.4 Optimización de 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 5.5, que se ha adaptado de Steve Turner^[61].



Fuente: Steve Turner 2002.

Figura 5.5. Ciclo Reactivo del Mantenimiento.

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 los exiguos 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 espantosamente y el atraso del departamento no se puede evitar.

Para salir del círculo vicioso del mantenimiento reactivo se ha ingeniado 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 cuales se pueden prevenir con actividades de *Mantenimiento Proactivo*.

La *Optimización del Mantenimiento Planeado*, permite diseñar un marco de trabajo racional y rentable, cuando el Mantenimiento Preventivo se ha consolidado y la planta se mantiene bajo control. Esto implica buena experiencia en hacer mantenimiento planeado. A partir de ahí, la mejora se puede alcanzar fácilmente con una adecuada asignación de recursos, y enfocar los esfuerzos del personal en los defectos de diseño y montaje de la planta, o en sus limitaciones operativas.

Un sistema PMO es la base para una Ingeniería de Confiabilidad efectiva, y para la adecuada eliminación de defectos, teniendo en cuenta que^[62]:

- 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 mantenedores.
- La optimización del PM motiva al personal.

Cuando se presenta una falla o un grupo de ellas, se genera 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, con nuevas actividades de PM, o cuando se hacen modificaciones importantes en los sistemas.

Mientras que la PMO utiliza el historial de fallas existente, como una de las entradas en la revisión de las actividades de PM, se reconoce que en la gran mayoría de las empresas, la información de los sistemas CMMS, tiende a ser inexacta e incompleta, y se busca corregirla. La fuerza vital de la PMO es que todas las acciones de mantenimiento agregan valor, y que el sistema motiva mejoras en muchos otros aspectos del manejo de activos físicos, aparte de los análisis básicos de mantenimiento.

Entre las herramientas de soporte que han influido grandemente en el desarrollo actual de la PMO se encuentran los análisis estadísticos. La evaluación estadística de la confiabilidad genera múltiples beneficios entre los que se encuentran: disminución de paros, predictibilidad de las fallas, aumentos en seguridad, mayor integridad mecánica, optimización de las horas hombre y de los costos, mediante frecuencias de inspección óptima, y 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 Turner^[62] para el software PMO2000TM, son los siguientes:

- Paso 1: Establecimiento de las funciones y tareas
- Paso 2: Análisis de los Modos de Falla
- Paso 3: Racionalización y revisión de los procedimientos
- Paso 4: Análisis Funcional basado en Confiabilidad
- Paso 5: Evaluación de las consecuencias
- Paso 6: Determinación de las políticas de mantenimiento
- Paso 7: Agrupación y revisión de los procesos funcionales
- Paso 8: Aprobación e Implementación de los programas
- Paso 9: Programa de Vida y de Mejoramiento Continuo.

A través de la implementación de la PMO se establecen estrategias de trabajo de PM eficiente, seguro y económico. En el *Proyecto de Vida*, el programa de PM se consolida y se logra el control de la planta mediante la revisión permanente de los índices de gestión. Lo anterior se basa en el reemplazo de las actividades reactivas por proactivas ^[61].

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 dónde la mano de obra esté adecuadamente entrenada en técnicas de análisis y sea motivada a cambiar las viejas prácticas, para mejorar la satisfacción del trabajo y reducir los costos.

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, Mantenibilidad y Efectividad Global de los equipos.

5.7 HERRAMIENTAS DE LA CONFIABILIDAD

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 operatividad, la cuantía del riesgo y las demás acciones de mitigación y de mantenimiento que requiere, para asegurar su seguridad, integridad y continuidad operacional.

Son múltiples las herramientas de que se vale la confiabilidad con el fin de formular planes estratégicos para alcanzar la excelencia en la gestión del mantenimiento industrial. Algunas de las más comúnmente usadas son:

- Análisis de Criticidad (CA)
- Análisis de los Modos y Efectos de Falla (FMEA)
- Análisis Causa Raíz (RCA)
- Análisis de Integridad Mecánica (MIA)
- Análisis Seis Sigma (SSA)
- Análisis Weibull (WA)

- Análisis de Confiabilidad Humana (HRA)
- Inspección Basada en Riesgo (RBI)
- Optimización Costo – Riesgo – Beneficio (BRCO)
- Seguridad de Procesos Basada en Riesgos (RBPS)
- Failure Reporting and Corrective Action System (FRACAS)
- Reliability Analysis and Modeling Program (RAMP)
- Reliability Block Diagram Modeling (RBD)
- Costo del Ciclo de Vida (LCC)
- Gestión del Conocimiento (KM).

Las seis que a juicio del autor, son las más usadas para la orientación y mejoramiento de la Confiabilidad Operacional, se muestran en la figura 5.6, y se describen en los párrafos siguientes.

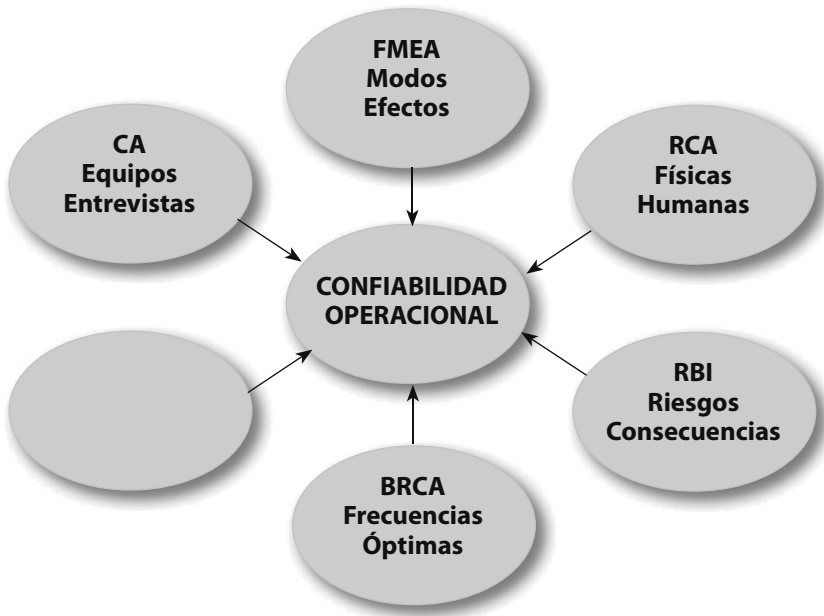


Figura 5.6. Herramientas de la Confiabilidad Operacional.

- **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 Falla (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.

5.7.1 Análisis de Criticidad (CA)

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 ^[28]:

- Priorizar órdenes 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.

Los pasos para la aplicación del *Análisis de Criticidad* son:

- Identificación de los equipos a estudiar.
- Definición del alcance y objetivo del 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 data histórica de excelente calidad, se debe recoger la información utilizando encuestas, teniendo en cuenta que el CA permite trabajar en rangos, es decir, establecer cuál sería la condición más favorable, como también la condición menos favorable para cada uno de los criterios a evaluar. La información requerida para el *análisis de criticidad* siempre está relacionada con la frecuencia, los efectos y las consecuencias de las fallas, donde se destaca la seguridad y el respeto por el ambiente.

La criticidad se evalúa mediante la ecuación ^[28]:

$$\text{CRITICIDAD} = \text{FRECUENCIA DE FALLA} * \text{CONSECUENCIA}$$

Donde:

Consecuencia = (Nivel de Producción * MTTR * Imp. Producción) + Costos de Reparación + Impacto en Seguridad + 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: Frecuencia de fallas, capacidad de producción, seguridad, impacto al ambiente, calidad de los productos, costos de reparación y tiempo promedio para reparar ^[28].

- **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 representar un paro total o parcial 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 en 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 pretendidos que hagan daño a equipos e instalaciones produciendo la violación de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a terceros.
- **Impacto en la satisfacción del cliente.** Evalúa el impacto que la ocurrencia de una falla afectaría a las expectativas de los clientes. Se consideran como clientes las áreas a las cuales se le suministran los servicios industriales.
- **Costo de reparación.** Se refiere al costo directo 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. El MTTR, mide la efectividad que se tiene para restituir las unidades del sistema en estudio a condiciones óptimas de operación.

Cada uno de estos parámetros se puede cualificar y cuantificar para con base en la consecuencia de las fallas tomar las mejores decisiones.

5.7.2 Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)

El *Análisis de Modos y Efectos de Falla* es la herramienta básica del RCM. 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^[53].

Las etapas básicas necesarias para el desarrollo del *Análisis de Modos y Efectos de Falla* (FMEA) son^[43]:

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, con frecuencia tiene varias. Si el objetivo del mantenimiento es asegurar que continúe desarrollando sus funciones, entonces todas deben ser identificadas claramente, junto con los parámetros de funcionamiento deseados.

- *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.* Se aspira que la gran mayoría de los activos físicos cumplan una o más funciones adicionales a la primaria. Estas se conocen como funciones secundarias.

3. Determinar las fallas funcionales. Las personas y las corporaciones adquieren sus activos físicos para que realicen una función específica, y esperan que se mantengan operando dentro de ciertos parámetros de funcionamiento aceptables. Sin embargo, si por alguna razón el equipo es incapaz de realizar lo que el usuario desea que haga, se considera en falla funcional; es decir un activo falla cuando no hace lo que el usuario quiere que haga, o no se mantiene operando dentro de los parámetros de diseño con los que fue adquirido.

4. Determinar los modos de falla. 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, o el mantenedor, 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; un efecto de los modos de falla responde a la pregunta ¿qué ocurre?, mientras que una consecuencia del modo de falla responde a la pregunta ¿qué importancia tiene?

Se requiere entonces utilizar las herramientas adecuadas que permitan descubrir los diferentes modos de falla que deterioran los equipos y por ende los sistemas productivos. La contribución del FMEA, en la mejora del mantenimiento industrial, es de vital importancia para el desarrollo de un efectivo programa de Mantenimiento Proactivo.

5.7.3 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 porqué los equipos fallan. Una vez que se han identificado las causas raíz, se puede ejecutar su plan correctivo^[28].

El RCA es un riguroso método de solución de problemas, para cualquier tipo de fallas, que utiliza la lógica sistémica y el árbol de causa raíz de fallas, usando la deducción y prueba de los hechos que conducen a las causas reales. Esta técnica de análisis permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir los síntomas.

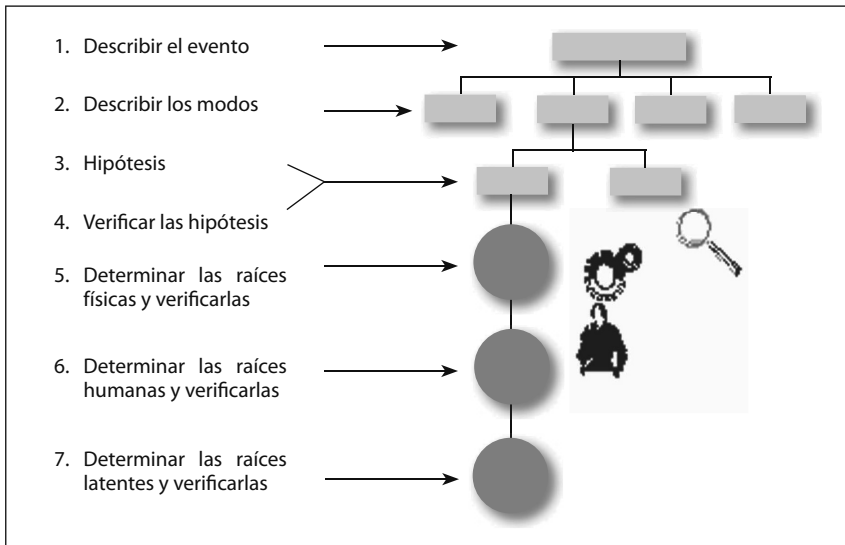
La metodología del RCA está definida por un procedimiento de trabajo el cual consta de seis pasos. Inicia con la preparación de la investigación y termina con un reporte de los hallazgos. Los pasos para la aplicación de un RCA, son^[43]:

- *Paso 1:* Identificar los eventos más significativos
- *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 la construcción de un árbol lógico de fallas en la implementación del RCA, como el que se muestra en la figura 5.7, se requieren seis actividades claramente delimitadas, que se deben realizar en el orden establecido, y que son^[43]:

- Describir la falla funcional
- Determinar los modos de falla por cada falla funcional
- Hacer una lista de las causas potenciales de falla y verificarlas
- Determinar y verificar las causa raíz físicas
- Determinar y verificar las causa raíz humanas
- Determinar y verificar las causa raíz del sistema (Latentes).

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



Fuente: Murillo, 2003.

Figura 5.7. Árbol Lógico de Fallas.

- **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. Nacen por la ausencia de criterios para tomar las decisiones acertadas, que pueden ser por convicción u omisión. 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. En múltiples ocasiones afectan más que el problema que se está estudiando, ya que pueden generar entornos que ocasionen nuevas fallas.

Las acciones de inspección y mantenimiento deben garantizar que todos los requisitos de seguridad se mantengan dentro de límites aceptables, mientras los costos totales de inspecciones, reparaciones, y pérdidas de producción sean minimizados. Por tanto, los esfuerzos de la inspección serán focalizados consistentemente alrededor de los elementos básicos y sus procesos de deterioro, los cuales contribuyen a la seguridad y al riesgo económico de la instalación.

5.7.4 Inspección Basada en Riesgos (RBI)

A nivel mundial varios grupos de compañías petroleras lideradas por la API, realizaron investigaciones para minimizar los impactos en el costo de inspección y mantenimiento de equipos, mediante la optimización de las frecuencias de inspección; generando la práctica recomendada en la norma API-RP-581, Risk-Based Inspection (RBI).

El riesgo es la pérdida potencial asociada a un evento con probabilidad no despreciable de ocurrir en el futuro. 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^[43].

La RBI es una metodología que apoya la planeación de las inspecciones y que establece las estrategias de inspección, basada en los principios de riesgo, en donde los esfuerzos de inspección están orientados hacia los equipos de alto riesgo y con mayor nivel de criticidad.

El riesgo de la falla es calculado como el producto de la probabilidad de falla por la consecuencia de la falla. La estimación de las consecuencias de las fallas es una parte vital en los procesos de priorización para un análisis posterior más detallado^[43]. La evaluación de la probabilidad de falla también se determina de forma cuantitativa en un rango del 1 al 5, como lo muestra la matriz de riesgos de la figura 5.8.

Probabilidad						
Muy probable	5	5	10	15	20	25
Probable	4	4	8	12	16	20
Ocasional	3	3	6	9	12	15
Remoto	2	2	4	6	8	10
Improbable	1	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	5
		Leve	Menor	Moderada	Mayor	Severa
		Consecuencia				

Figura 5.8. 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 eco-

nómico, cumpliendo normas de seguridad, medioambientales, junto con los criterios del usuario en cuanto a calidad, disponibilidad, confiabilidad y limitaciones presupuestarias. Controlar los riesgos hoy implica controlar las pérdidas mañana.

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

- Errores humanos
- Desastres naturales
- Eventos externos (colisiones)
- Efectos secundarios de otras unidades
- Actos deliberados (sabotaje)
- Limitaciones de los métodos de inspección
- Errores de diseño
- Errores de mantenimiento
- Mecanismos de degradación desconocidos
- Inspección excesiva, que puede aumentar los riesgos.

Un sistema de *Control de Riesgos* debe ser una excelente aproximación a la gestión de los sistemas industriales, basada en el registro y control de aquellos eventos peligrosos, que tienen el potencial de desencadenar los cambios no deseados con consecuencias catastróficas.

En síntesis la *Inspección Basada en Riesgos* permite:

- Desarrollar un plan de inspección efectivo en costos, fundamental en mantenimiento.
- Tomar las decisiones correctas, con datos inciertos o insuficientes.
- Priorizar las acciones correctivas.
- Reducir el Mantenimiento Reactivo.
- Minimizar los riesgos tecnológicos.
- Optimizar los recursos y los costos de inspección y mantenimiento.
- Extender la vida útil de la planta.

Finalmente la RBI es una metodología sistemática para una instalación específica, que permite una inspección efectiva y económica dentro de los límites operacionales, cumpliendo criterios de seguridad y respeto ambiental. La evaluación de la RBI conlleva cambios en el plan existente de inspección. 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

tiempo que se balancea el costo de la operación y se reducen directamente los costos del manejo de riesgos.

5.7.5 Análisis 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 otras palabras, el modelo permite determinar “*cuánto se obtiene por lo que se invierte*”. De igual manera, el BRCA contribuye en el proceso de gestión de la información, así como en la definición de las políticas, las estrategias, los planes y programas de mantenimiento, y la toma de las decisiones correspondientes.

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.

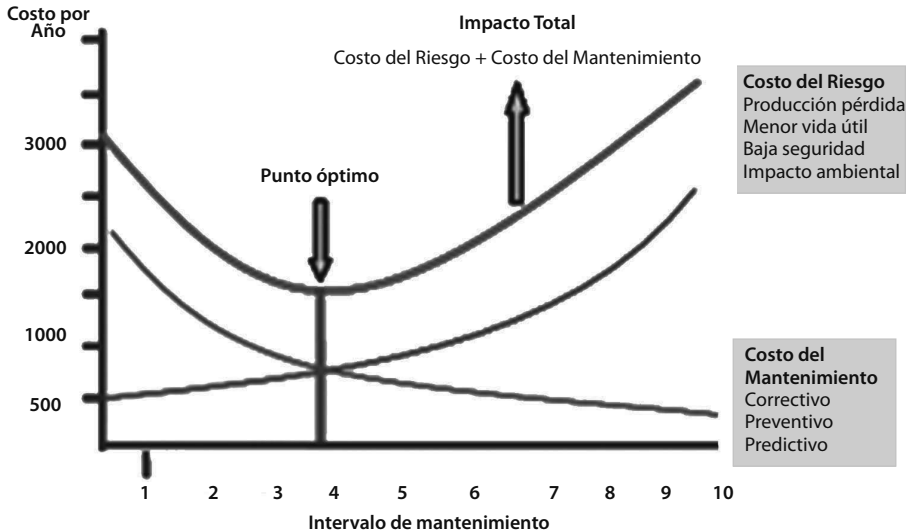
Es importante destacar que el diseño de la política de mantenimiento se sustenta en la capacidad de producción, teniendo en cuenta la eficiencia de los equipos para asegurar el nivel de producción requerido, el cual puede variar de un escenario a otro. De esta manera se obtiene un costo de mantenimiento óptimo, modulando la frecuencia de intervención con base en los riesgos de producción que el sistema tiene asociados. El BRCA es ideal para establecer:

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

También 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, así como, valores de referencia y metas para mejorar la confiabilidad del sistema.

La figura 5.9 muestra cómo se reflejan los resultados del BRCA en forma gráfica. El impacto total mínimo es el factor que permite determinar la mejor alter-

nativa de operación. El costo total mínimo de mantenimiento (punto óptimo en la figura), se traduce en reducir ampliamente el costo total de producción, o maximizar las utilidades de la compañía. Sólo en este nivel se puede determinar la combinación óptima entre los costos y los beneficios.



Fuente: Murillo, 2003.

Figura 5.9. Curva de costos o impacto total.

En general, se puede afirmar que en función de los resultados obtenidos con la aplicación del BRCA, la proporción ideal de mantenimiento es el número de actividades de mantenimiento en el intervalo óptimo que se van a realizar, al menor costo posible, asegurando la disponibilidad de los activos, la calidad de los productos y el cumplimiento de los procesos y procedimientos.

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, y estrategias y herramientas para la optimización del mantenimiento industrial, que reducen los costos directos e indirectos del departamento, lo cual genera reducción de los costos de producción, incremento de la *Confiabledad Operacional* de los activos, y optimización general de los recursos, de tal manera que se maximice el valor agregado de la organización.

5.7.6 Costo del Ciclo de Vida (LCC)

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 ^[63].

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 Ciclo de Vida de un activo se calcula con base a la siguiente ecuación ^[63]:

$$\text{LCC} = \text{IC} + \text{N} (\text{OC} + \text{MC} + \text{SC})$$

Dónde:

- LCC Costo de Ciclo de Vida
- IC Costo de Inversión
- OC Costo de Operación
- MC Costo de Mantenimiento
- SC Costo de Parada.

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

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

El Costo de Mantenimiento (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.

El Costo de Parada (SC) se expresa por medio de la ecuación:

$$\text{SC} = \text{SN} \times \text{MTTS} \times \text{LPC}$$

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 del Ciclo de Vida* de un activo físico, como una de las herramientas más importantes de la Confiabilidad Operacional, permite optimizar el usufructo del activo y alargar su vida útil, para mediante el aumento de su *Confiabilidad y Disponibilidad* reducir los costos totales de manufactura, con el consiguiente aumento de la productividad, de la rentabilidad y de la competitividad de la compañía.

6. Sistemas de control y costos

6.1 ACTIVIDADES DEL CONTROL

El control es la última fase del ciclo administrativo, y su objetivo central es ejecutar la medición de resultados actuales o pasados y compararlos con los esperados, ya sea de forma total o parcial, con el fin de detectar las diferencias o brechas reales entre lo planeado y lo ejecutado, para corregir las deficiencias, mejorar los procedimientos, o formular nuevos planes de acción.

Esta fase de la administración comprende cuatro etapas y son:

- El *establecimiento de normas*, o bases con que se hará la medición. Las normas son los patrones que permiten hacer las comparaciones.
- El *establecimiento de los controles*, o sea la manera en que se hará la medición y se obtendrá la información.
- La *interpretación de los resultados*, o sea comprender y cuantificar la comparación.
- *Determinación de acciones correctivas*, que serán la base para hacer la nueva planificación.

Como el ciclo de la administración es completamente dinámico, no es necesario aplicar el control al final de los trabajos; a medida que se va desarrollando el plan se debe ir controlando.

Para poder determinar, como ha ido marchando el programa trazado, es importante conocer las respuestas a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué queremos controlar?

- Trabajos
- Calidad

- Costos
- Desperdicio
- Tiempo improductivo.

2. ¿Dónde debemos controlar?

- En los trabajos principales: mano de obra.
- En los materiales: calidad.
- En los equipos: disponibilidad.
- En el personal: tiempo improductivo.

3. Cuando debemos controlar?

Conforme al programa, en cada trabajo y cada momento desde su inicio a su terminación. Los trabajos son evaluados o medidos y comparados con el programa que en este caso es un estándar.

El *Estándar* es algo establecido, conocido que sirve como patrón, base de la medición. En mantenimiento es posible establecer estándares, sobre todo cuando las acciones son repetitivas. El establecer estándares tiene las siguientes ventajas:

- Adiestramiento de la supervisión en métodos sistematizados.
- Costos de aplicación razonables, después de establecer el estándar.
- Obligación de realizar un control más estrecho, sobre métodos de trabajo y especificaciones del material.
- Flexibilidad del sistema para aceptar cambios e innovaciones.
- Control exacto para perfeccionar programas de trabajo, programas de equipo y programas de consumo de partes de repuesto.

Las desventajas que se presentan normalmente son:

- Elevado costo inicial de implementación.
- Altos costos de adiestramiento.
- Lejana fecha de amortización.

Siempre debe comprobarse que el establecimiento de estándares es necesario y reeditará la inversión.

6.2 ESTÁNDARES DE MANTENIMIENTO

Los *estándares de mantenimiento* indican los métodos y procedimientos para calcular el deterioro de los equipos (inspección y prueba), detener el progreso

del deterioro (mantenimiento de rutina) y restablecer las condiciones operativas de los equipos (reparación). Existen estándares separados para cada función de mantenimiento, incluyendo estándares para inspección de equipos, estándares de servicio periódico rutinario y estándares de reparaciones.

Los procedimientos de trabajo de mantenimiento son los métodos y los tiempos para inspección, servicio, reparación y otros tipos de trabajos de mantenimiento. Los estándares de mantenimiento de equipos y los procedimientos del trabajo de mantenimiento, se denominan en común *estándares de mantenimiento*. Existen estándares de:

- Tiempo
- Tolerancia
- Materiales
- Mano de obra.

Los *estándares de mantenimiento* se deben revisar en la medida en que el equipo se moderniza y se mejora. Cuando un sistema se restaura o se perfecciona los sistemas de control se deben cambian de forma natural. Los requerimientos del mantenimiento deben por tanto, estudiarse y los estándares revisarse por lo menos una vez al año.

Las actividades de mantenimiento deben estandarizarse por diferentes razones:

- Las diferentes actividades de mantenimiento, desde la inspección de rutina hasta la mejora de las reparaciones y la Mantenibilidad, no se pueden realizar eficazmente si se deja que las personas las ejecuten de cualquier manera.
- Cuando no hay normas, se requiere de mucho tiempo para dominar las técnicas y tener las destrezas necesarias. Cuando solamente los trabajadores más experimentados saben aplicarlas, las peticiones que recibe el área de mantenimiento sobrepasan su capacidad y no se alcanzan las metas propuestas.
- El trabajo de mantenimiento es generalmente menos eficiente que el trabajo de producción; básicamente porque el mantenimiento no es repetitivo y requiere una larga preparación y grandes márgenes de error, porque depende en gran medida de la destreza individual y se realiza bajo condiciones difíciles.

6.3 ÍNDICES DE CONTROL

Dentro del mantenimiento son denominados "*indicadores de control*" a los re-

sultados que se obtienen al hacer las mediciones del desarrollo de un plan que, al combinarlos entre sí para formar factores indicadores de desempeño, permiten determinar las acciones correctivas.

Los índices de control más usuales son^[47]:

- De Planeación
- De Carga de Trabajo
- De Costos
- De Productividad.

Ningún índice mirado aisladamente es eficaz, sino solo en combinación con otros; por otra parte tienen un doble papel, indican mejoramientos en el desempeño de mantenimiento, o la posición relativa con respecto a un punto de referencia. Para que tenga valor, un indicador de la posición del mantenimiento necesita tener una base de medición; por esto es casi imposible establecer un índice que muestre posiciones absolutas. Puede decirse entonces, que la verdadera finalidad de los índices es mostrar tendencias, usando el desempeño anterior como punto de referencia, se estimula a la dirección de mantenimiento a mejorarlo.

6.3.1 Índices de Planeación

Estos indicadores, relacionados con los factores de carga de trabajo de la planeación y programación, son los que muestran que tan bien se están desarrollando los planes; algunos de los principales son los siguientes:

Pronóstico de la eficiencia. Este indicador expresa en qué forma se compara las horas reales con el pronóstico de horas-hombre. Se define por la relación del total de horas-hombre estimadas y el total de horas-hombre, aplicadas al trabajo.

Planeación de horas de mantenimiento. Se expresa como porcentaje del total de horas-hombre del departamento y señala el grado con que se planean los trabajos. Se calcula por la relación entre el total de horas-hombre aplicadas en trabajos planeados y el total de horas-hombre del departamento.

Trabajo de emergencia. Se define como todo trabajo que interrumpa un programa diario. Este índice se determina como un porcentaje de horas-hombre empleadas en trabajos de urgencia, relacionado al total de horas-hombre del departamento.

Horas extraordinarias. Se expresa como un porcentaje del total de las horas-hombre de mantenimiento, trabajadas en tiempo extra. Se calcula mediante la relación del total de horas-hombre extraordinarias y el total de horas-hombre del departamento.

Aplicación de normas. Este indicador se expresa como un porcentaje del total de horas dedicadas a la aplicación de normas o estándares. Un porcentaje elevado, es señal de buen control; una amplia cobertura con normas ayudará a la planeación del trabajo y a estimular un excelente desempeño.

6.3.2 Índices de Carga de Trabajo

Estos indicadores muestran el tipo y magnitud del trabajo autorizado de mantenimiento. Los principales de ellos son:

Trabajos pendientes en proceso. Señala la cantidad total de trabajos en retraso, expresada en semana-cuadrilla. Tener demasiado trabajo, o muy poco no es bueno; una cantidad óptima sería el equivalente a una semana-cuadrilla.

Total de trabajos pendientes. Este índice determina el retraso total de trabajos en semana-cuadrilla incluyendo los trabajos en vía de ejecución y los demás autorizados que no pueden llevarse a cabo.

Mantenimiento Reactivo. Comprende el saldo de horas-hombre de reparación, distintas a las empleadas en trabajos proactivos. El índice expresa en forma de porcentaje del total de horas-hombre, y el objetivo será reducir este porcentaje a límites prácticos.

Mantenimiento Proactivo. Determina el porcentaje de horas-hombre aplicadas en mantenimiento preventivo-predictivo, comparado con el número total de horas-hombre del departamento.

6.3.3 Índices de Costos

Además de los indicadores financieros ampliamente conocidos, existen muchos otros índices de costos que dan una cierta medida de los costos de mantenimiento. Entre ellos podemos nombrar:

Costo de mantenimiento general. Este indicador relaciona los costos totales de mantenimiento con el costo total de operaciones.

Costo directo de mantenimiento. Relaciona los costos totales del mantenimiento directo, o sea los costos del mantenimiento Proactivo más el Reactivo, con el costo total del mantenimiento general.

Costo de Mantenimiento Proactivo. Relaciona los costos totales del Mantenimiento Proactivo, con los costos totales del mantenimiento directo de la planta.

Costo indirecto de mantenimiento. Relaciona los costos totales del mantenimiento por concepto de cargos indirectos, o sea los costos del tiempo perdido y demás riesgos, con el costo total del mantenimiento general.

Porcentaje del costo del producto. El costo de mantenimiento como porcentaje del costo del trabajo en proceso; relaciona los cambios en el costo de mantenimiento con respecto al costo del volumen de ventas.

Costo de administración del mantenimiento. Constituye un índice de control de los gastos de mantenimiento, medido como la relación entre el costo de las labores administrativas de mantenimiento y el costo total del mantenimiento.

Porcentaje del costo de la nómina. Relaciona los costos de la nómina de mantenimiento con el costo total de la nómina de la empresa.

6.3.4 Índices de Productividad

Los indicadores de productividad muestran las razones que apuntan al aprovechamiento de la mano de obra, los principales son los siguientes:

Actividad de mantenimiento. Expresada como el porcentaje dado por la relación entre las horas-hombre de mantenimiento, divididas por el total de horas-hombre de la planta.

Porcentaje de tiempo de parada. Determinado por la relación entre el total de tiempo de parada por concepto de mantenimiento, sobre el total de tiempo dedicado a producción.

Disponibilidad del equipo. Determinada como el porcentaje de horas disponibles del equipo para producir, sobre el total de tiempo dispuesto para producción.

Utilización del equipo. Expresado como el total de horas de uso del equipo para producción, sobre el total de tiempo productivo.

Porcentaje de decremento de producción. Dado por la relación entre las horas-hombre de mantenimiento usadas y las horas-hombre de producción ejecutadas.

Costo de mantenimiento por unidad de producción. Representa el costo por el mantenimiento demandado para producir una unidad de producto terminado; los cambios en un período básico aparecen como un aumento o disminución de este costo unitario. Se determina por la relación entre los costos de mantenimiento y el número de productos terminados.

Los *Indicadores de Control* se suelen trabajar gráficamente, de manera individual o grupal, pues permiten comparar las tendencias en el tiempo de las diferentes variables a analizar. Hay gran diversidad de índices que reflejan en diferentes niveles la situación y el cambio de los costos y el desempeño del mantenimiento. El problema consiste en precisar cuáles factores proporcionan mayor control con mínimos gastos. Los índices de costos del mantenimiento son muy útiles cuando se emplean para identificar la tendencia general y estimular a la dirección para el uso de los recursos más efectivamente.

6.4 INDICADORES DE GESTIÓN

El término “*indicador*” en el lenguaje corriente, se refiere a información de tipo cualitativo, o cuantitativo (en su mayoría), que permiten determinar cómo se encuentran los sistemas, o las personas, en relación con algún aspecto de la realidad que se desea conocer. Los indicadores pueden ser números, medidas, opiniones, hechos o percepciones, que establecen condiciones o situaciones específicas.

Los *Indicadores de Gestión del Mantenimiento* son indicadores técnicos de control que están relacionados con la calidad de la gestión o con la productividad del departamento, que permiten ver el comportamiento y el rendimiento operacional de las instalaciones, sistemas y equipos, y que además miden la calidad de los trabajos y el grado de cumplimiento de los planes de mantenimiento.

Los indicadores de Gestión de *Categoría Mundial* más utilizados en el Mantenimiento Industrial son:

- Confiabilidad, R (t)
- Disponibilidad, A (t)

- Mantenibilidad, M (t)
- Efectividad Global del Equipo (OEE)
- Utilización (U)
- Back Log (B)
- Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF)
- Tiempo Promedio Operativo (MTTF)
- Tiempo Promedio para Reparar (MTTR).

Confiabilidad: es la probabilidad de que un equipo, o sistema, cumpla su misión (función principal) bajo condiciones de uso determinadas, en un período determinado. El estudio de la confiabilidad es el estudio de las fallas del equipo o sus componentes. Si se tiene un equipo sin falla se dice que el equipo es ciento por ciento confiable, es decir que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. La *Confiabilidad* es por tanto el complemento de la *Probabilidad de Falla*. Al realizar un análisis de la confiabilidad de un equipo, o sistema, se obtiene información valiosa de la condición del mismo, su probabilidad de falla, tiempo promedio entre fallas y etapa de la vida en que se encuentra el equipo.

Disponibilidad: la disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función principal para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el tiempo medio para falla (MTTF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), es posible para la alta gerencia evaluar las distintas alternativas de acción, para conseguir aumentar de forma rentable la disponibilidad de sus sistemas productivos.

Mantenibilidad: definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas, en un cierto tiempo, utilizando procedimientos predeterminados, la *Mantenibilidad* es función del diseño del equipo (factores como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento del sistema). Para un equipo particular, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con las herramientas, documentación y los procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las características de diseño.

Efectividad Global del Equipo (OEE): los indicadores de gestión que se relacionan con la efectividad permiten ver el comportamiento global de los equipos, mediante su *Disponibilidad*, *Eficiencia de Desempeño* y la *Calidad* de los trabajos. La OEE, que es el único índice de clase mundial usado por el TPM, se mide mediante la determinación del producto de los tres factores mencio-

nados, y el Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas recomienda como factores mínimos:

- Mínima disponibilidad del equipo 90%
- Eficiencia del desempeño 95%
- Porcentaje de productos de calidad 99%

$$\text{OEE} = 0.9 \times 0.95 \times 0.99 = 0.85.$$

Que es el valor mínimo exigido a las empresas que deseen participar por el premio TPM al mantenimiento, del *Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas*.

Utilización: también denominada factor de servicio del equipo, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un período de tiempo determinado.

Mean Time Between Failures (MTBF): el *Tiempo Medio Entre Fallas* indica el intervalo de tiempo más probable entre el arranque del equipo y la aparición de una falla; es decir, es el tiempo promedio transcurrido hasta la llegada de la falla. Mientras mayor sea su valor, más alta es la confiabilidad del sistema, por lo tanto el MTBF es uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad.

El MTBF debe ser tomado como un indicador más, que representa de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se debe usar la data histórica almacenada en los sistemas de información.

Mean Time To Fail (MTTF): este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el sistema a capacidad sin interrupciones dentro de un periodo considerado; El MTTF constituye un indicador directo de la confiabilidad del sistema, ya que representa la confianza real, que se debe tener, en la operación del equipo. Al *Tiempo Promedio para Fallar* también es llamado "*Tiempo Promedio Operativo*" o "*Tiempo Promedio hasta la Falla*".

Mean Time To Repair (MTTR): es la medida de la distribución de los tiempos de reparación del equipo o del sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a las condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por falla, dentro de un período de tiempo determinado. El *Tiempo Promedio Para Reparar* es un parámetro de medición asociado a la Mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento.

Los *Indicadores de Gestión de Categoría Mundial* son de gran utilidad en la determinación del desempeño organizacional. Cualquier metodología que permita implementar un sistema de indicadores debe considerar los elementos asociados con cada indicador, para conseguir una apropiada retroalimentación, y presentar la información clara, precisa y oportuna, que al complementarse con otras herramientas de gestión coadyuven a analizar las causas y a establecer los puntos de mejora, para sustentar eficazmente la toma de decisiones.

6.5 AUDITORÍAS DE MANTENIMIENTO

La medición del rendimiento es uno de los retos más críticos a los que se enfrentan las organizaciones de hoy, ya que puede tener un papel clave en el desarrollo de sus planes estratégicos. Con la actual competitividad, donde las exigencias de los clientes son cada vez mayores, la posibilidad de mejora que se presenta mediante la optimización de la gerencia del mantenimiento, aparece como muy rentable. Los sistemas de índices de control, de indicadores de gestión, o de *Indicadores Claves de Desempeño* (KPIs), son reconocidos como elementos útiles en la gestión estratégica actual.

La primera gran exigencia es la de buscar la *Excelencia Operacional* del área (seguridad, confiabilidad, protección del ambiente, productividad, calidad y economía), al disminuir las pérdidas que se presentan en la operación y mejorar el desempeño de todo el personal involucrado, ya sea de producción como de mantenimiento. Este principio establece que la responsabilidad del mantenimiento es de todos y no sólo del personal que trabaja en mantenimiento.

Cuando el responsable del departamento se plantea si la gestión que se hace del mantenimiento es la adecuada, la respuesta puede ser *Si*, *No* o *Regular*; cualquiera de las respuestas no es satisfactoria, porque cada una tiene varios puntos intermedios de respuesta, y porque no informa sobre qué se debe cambiar para que la gestión del departamento pueda considerarse excelente. La mejor opción suele ser realizar una *Auditoría del Mantenimiento*, comparándolo con un departamento ideal, y poder determinar qué cosas lo separan de ese modelo. Se puede contratar la auditoría con una empresa externa, y tener la opinión desde fuera de la organización, pero también es posible realizarla desde adentro.

Las auditorías externas logran mejoras significativas en la efectividad y los costos del mantenimiento industrial, mediante la evaluación global de las actividades, el establecimiento de un programa de prioridades, y el análisis adecua-

do de la información, para una efectiva planificación estratégica de la gestión del mantenimiento. Hay muchas maneras para alcanzar estas mejoras. La realización de la Auditoría de Mantenimiento no es una fórmula mágica, no es el producto de consultores charlatanes; es tan solo una forma más de identificar los problemas de la compañía y proponer las mejores soluciones.

Las auditorías del mantenimiento son un instrumento fundamental de gestión para lograr un verdadero cambio de la cultura organizacional. El concepto de auditoría no debe asumirse como control o vigilancia, sino como un proceso de reflexión y dialogo que genere el compromiso para la acción. La literatura especializada sobre el tema plantea la necesidad de introducir nuevos modelos de gestión dentro de las empresas. Estos sistemas de control se basan en dar mayor poder a la autoevaluación como factor decisivo en el incremento del interés del Talento Humano con las acciones definidas para la mejora. Las auditorías deben servir para incrementar el aprendizaje y el conocimiento real de los procesos productivos.

La pregunta del millón en las compañías de hoy es, si es posible definir como debería ser un sistema perfecto de gestión. Desde luego es posible tratar de marcar unas directrices de lo que debería ser una gestión ideal o excelente, lo que se define como una *Gestión de Clase Mundial*. Una vez definida, se debe comparar esa gestión ideal con la que se realiza en una planta específica, y determinar si cada uno de los aspectos en que puede dividirse la gestión de la empresa se está ejecutando de la mejor manera posible. Todos los puntos que se aparten de la gestión excelente serán puntos a incluir en el plan de mejoramiento.

El procedimiento para definir esa gestión ideal (de clase mundial), para poder compararla posteriormente con la que se realiza en una planta concreta, es el siguiente:

- Determinar los objetivos claves que se desea alcanzar
- Determinar los factores que afectan al cumplimiento de los objetivos
- Fijar un estándar de excelencia para cada uno de los factores
- Comprobar la situación actual de cada factor
- Determinar las brechas entre el factor actual y el ideal.

Realizar la Auditoría de Mantenimiento no es más que comprobar cómo se gestiona cada uno de los puntos indicados. El objetivo que se busca al realizar una auditoría no es evaluar al responsable de mantenimiento, no es cuestionar su forma de trabajar, no es juzgarlo; es saber en qué situación se encuentra el departamento en un momento determinado, identificar los puntos de me-

joramiento y determinar las acciones que son necesarias para optimizar los resultados.

En este punto es muy importante diferenciar entre *Auditorías Técnicas* y *Auditorías de Gestión*. Las primeras buscan determinar el estado real de una planta de producción. Las segundas tratan de establecer el grado de excelencia del departamento de mantenimiento y de su gestión. Por lo tanto, el tema principal en una Auditoría de Mantenimiento es definir el “*plan de acción*”, en el que se identifican los problemas que se detectan en la gestión del mantenimiento, y como se propone solucionarlos.

Si el objeto principal de la auditoría es identificar todos aquellos puntos susceptibles de optimización y proponer los cambios organizativos y de gestión que supongan una mejora del sistema; el informe de la auditoría debe describir la situación en que se encuentra cada uno de los aspectos analizados, haciendo énfasis en aquellos puntos en los que se detectan divergencias sobre el modelo de excelencia; además, debe proponer los cambios necesarios para acercarse a ese modelo, indicando los plazos y responsables para llevar a cabo dichos cambios.

Con respecto a los resultados alcanzados, los factores más importantes a tener en cuenta son la Seguridad, la Confiabilidad, la Disponibilidad, el Tiempo Medio Entre Fallas, el Tiempo Medio de Reparación, el número de emergencias, el número de averías repetitivas, el costo de materiales y repuestos, y el total de horas - hombre dedicadas al mantenimiento. En un sistema de mantenimiento ideal todos estos indicadores poseen un valor óptimo, y la auditoría permite su comparación con los valores obtenidos, para implementar las acciones más eficaces que facilden su evolución en un periodo de tiempo determinado.

6.6 COSTOS DEL MANTENIMIENTO

6.6.1 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:

- 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, éstos son:

- Producción
- Planta
- Fijos
- Mantenimiento.

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

- Transporte
- Embarque
- Almacenamiento
- Servicio al cliente.

Costo de ventas. Todos los costos aplicables a la negociación comercial del producto terminado, entre ellos:

- Administración de las ventas
- Promoción de productos
- Comisiones
- Publicidad.

Costos de administración. Todos los costos originados en la división administrativa y de relaciones industriales de la empresa, los esenciales son:

- 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, y en él, 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 influyen 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.

La finalidad del control es detectar cualquier desviación entre el nivel de mantenimiento indispensable para alcanzar los objetivos de producción y el nivel ejecutado. El problema es por tanto, determinar el costo real y el óptimo. Desde luego, hay que dejar sentado que es difícil establecer cuál es el nivel más apropiado del mantenimiento.

6.6.2 Objetivos de costo

Es posible lograr un estrecho control de los costos de la mano de obra utilizada en mantenimiento recurriendo a la aplicación de objetivos de costo preestablecidos, que al igual que el control de materias primas y complementarias, puede desarrollarse con base en costos históricos y estadísticos. La finalidad básica del programa es estimular la reducción del costo de mano de obra de mantenimiento y sus recursos materiales, comparando el costo real con el que se sabe es posible obtener. Se debe por tanto, conseguir un cierto equilibrio entre el beneficio potencial y el costo real del mantenimiento, mediante un programa de objetivos de costos^[47].

Un *objetivo de costo* proporciona un propósito realista al cual apuntar, y su grado de realización puede medirse para mostrar los niveles logrados de desempeño en un lapso determinado. Los procedimientos apoyados en objetivos de costo se emplean eficazmente para mejorar los controles de los costos existentes en mantenimiento, que se basan principalmente en datos estándar. Los objetivos de costos buscan precisar lo que cuesta la función de mantenimiento; el objetivo debe constituir un reto y podrá desarrollarse solo por medio de un esfuerzo adicional. Esto se puede conseguir estimulando al personal de mantenimiento para que saque el mejor partido de su tiempo, equipos y

herramientas, y no se deteriore anormalmente la maquinaria y demás instalaciones.

Los objetivos de costo más comunes son de tres clases:

- *Objetivos de costo en el equipo*, para partes específicas de la máquina, grupos de máquinas, equipo auxiliar, o instalaciones.
- *Objetivos de costo en los departamentos*, atendiendo las secciones específicas de la planta, en lapsos de tiempo predefinidos o bien con referencia a otras unidades de medida.
- *Objetivos de costo en la empresa*, sobre la base de costos en cada una de las fábricas 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 corresponder a varios años anteriores.

Como sucede con la mayoría de los procesos de control, un programa de objetivos de costo, tiene unos aspectos favorables y otros desfavorables; entre las ventajas se pueden enumerar:

- 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.

Entre las desventajas de los objetivos de costo se tienen las siguientes:

- Se basan en registros anteriores, que pueden no ser suficientemente confiables.
- Se obtiene de datos históricos que pueden representar un deficiente desempeño.
- No son sensibles a las diferencias en distribución, herramientas, métodos, etc.
- Se aplican en períodos 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 entien-

den 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.

6.6.3. Los presupuestos y el control

Los presupuestos son un instrumento administrativo de planeación y control. Un presupuesto es un plan económico que constituye el mejor cálculo posible, de los gastos que se harán en un lapso de tiempo futuro determinado. Por tanto, puede decirse que los presupuestos son una expresión anticipada de los resultados; deben reflejar planes reales y estar basados en posibilidades verdaderas, más bien que en conjeturas de lo que puede ocurrir.

Como objetivo de planeación los presupuestos representan un curso de acción. Como propósito de control los presupuestos son un medio para la realización de un fin. Para que pueda usarse como un control eficaz, el presupuesto debe ser sensible a los cambios económicos, registrando los cambios que tengan lugar al aumentar o al disminuir la producción. Sin embargo, aun cuando esta última no llegue a alcanzar el volumen previsto, el mantenimiento tiene que continuar a un ritmo alto. Si las estimaciones presupuestales expresan el costo del mantenimiento en la compañía, serán un instrumento de gran valor, pues facilitan un mejor control de los costos de mantenimiento y de producción.

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 define:

- Programa de ventas en el período 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.

El presupuesto de mantenimiento se debe elaborar por el departamento de mantenimiento, considerando que deben llevarse a cabo además de las actividades de mantenimiento propiamente dichas (mantenimiento Reactivo y

Proactivo), cambios, mejoras y modificaciones de los equipos para simplificar su mantenimiento o atender necesidades productivas.

Aunque parezca que la responsabilidad del control del presupuesto es en su totalidad de mantenimiento, el departamento de producción debe colaborar ampliamente, supeditándose a desarrollar buenos programas, a vaticinar los cambios y mejoras favorables, y a 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 obre como 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 de la dirección para revisar su funcionamiento, ya que en parte colabora al cumplimiento de los objetivos de la compañía.

7. La sistematización del mantenimiento

7.1 PROCESAMIENTO ELECTRÓNICO DE DATOS

El *Procesamiento Electrónico de Datos*, o PED, es la denominación que recibe el empleo de los computadores en el manejo de la información. El PED consiste en un sistema integral de exploración de datos capaz de efectuar operaciones matemáticas, estadísticas y lógicas, bajo control de un programa de software.

Un sistema de información se refiere al conjunto ordenado y coherente de políticas, principios, reglas y normas que permiten la clasificación sistemática de la información, la organización de casos, ideas, métodos, medios y procedimientos, que contribuyen a mejorar la efectividad de la empresa. El sistema de información incluye también, partes u elementos que realizan actividades similares, que incluyan ciclos, ajustes, tiempos, mediciones, evaluaciones, aprobaciones, aceptaciones, fallas, seguridad, planeación, problemas y acciones requeridas, para satisfacer los valores de las variables que requieren algún control.

La concepción integrada del computador permite ^[49]:

- Una integración de datos multirelacionados.
- Una integración de las aplicaciones, efectuando a la vez tratamientos distintos.
- Una integración de la gestión, adaptando las decisiones, dentro de los límites de tolerancia establecidos.

La tendencia general de las áreas de mantenimiento de la industria es hacia la sistematización; la cual presenta ventajas e inconvenientes, que hacen necesario analizar cuando es esencial la sistematización y cuando las herramientas

informáticas se pueden convertir en un obstáculo que demora o encarece la gestión del mantenimiento.

Entre las ventajas principales de emplear un sistema de información en el mantenimiento se podrían citar las siguientes:

- Control sobre la planeación y ejecución del mantenimiento
- Control sobre los costos directos del mantenimiento
- Facilidad para la consulta de registros históricos
- Facilidad para la obtención de tendencias e indicadores de gestión.

Los computadores desde ya hace bastantes años son un fuerte aliado del personal de producción, pero solamente desde la década de los ochenta, prestan un servicio eficaz a los departamentos de mantenimiento, en el control de costos, rápida, fácil y económicamente; y en la actualidad son de gran ayuda para llevar registros de costos de equipo y maquinaria, programar Mantenimiento Proactivo, informar sobre el cumplimiento de los programas, equilibrar cargas de trabajo, manejar inventario de refacciones, elaborar programas de ruta crítica, controlar hojas de vida, registros y estadísticas, elaborar informes y otros múltiples trabajos.

Además de las ventajas ya mencionadas del sistema de información, se puede decir que el *Procesamiento Electrónico de Datos* incluye un buen número de aplicaciones complementarias en mantenimiento, entre las que se destacan:

- Facilita la determinación de las prioridades para realizar una buena programación.
- Hace posible el empleo de la *Investigación de Operaciones* en la labor del mantenimiento.
- Permite la rápida determinación de la confiabilidad y demás KPIs, así como los análisis económicos para reposición de equipos.
- Simplifica la aplicación de la teoría de los *Tres Dieces* principales que son: las diez máquinas de más alto costo de mantenimiento mensual, las diez que tienen mayor tiempo de paro por mes, y las diez de más alta frecuencia de fallas.
- Mejora substancialmente la aplicación de técnicas de programación PERT y CPM.
- Hace realidad los diagnósticos inmediatos de las inspecciones del *Mantenimiento Basado en Condición*.

7.2 SISTEMA DE MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO

7.2.1 El enfoque sistémico del mantenimiento

La gestión del mantenimiento considerada bajo el enfoque sistémico, muestra la estructura organizacional como un todo integrado por una serie de subsistemas interactuantes e interdependientes, que permiten identificar un gran número de variables que intervienen en el proceso dinámico del departamento. El enfoque sistémico es una herramienta para el diagnóstico y determinación de acciones correctivas rápidas, en el sistema o sus componentes, observando que el logro de un objetivo es el resultado de una serie de cambios totalmente interactivos.

En el enfoque sistémico, el mantenimiento se analiza como una red que interactúa con el medio y cuyo efecto se manifiesta en la relación de la empresa con su entorno, fundamentalmente compuesta por flujos que conforman los ciclos, los cuales evolucionan hasta alcanzar su equilibrio. El enfoque sistémico hace énfasis en las relaciones entre los elementos y los recursos, las materias primas y los productos, y permite introducir modelos de simulación que sirven para lograr una configuración clara de las estrategias para ejecutar los planes con énfasis en los objetivos finales. Es claro por tanto que la concepción del mantenimiento como sistema le permite actuar más rápida y efectivamente^[55].

Para el mantenimiento se pueden considerar varios subsistemas, entre los que se destacan:

- Subsistema técnico
- Subsistema operativo
- Subsistema organizativo
- Subsistema de información
- Subsistema administrativo.

Los cuatro primeros se entrelazan y actúan independientemente pero son coordinados por el último, de tal manera que el efecto de modificar variables de la gestión administrativa puede afectar notablemente los resultados del mantenimiento. El *subsistema administrativo* involucra toda la estructura del mantenimiento pues maneja recursos, establece los objetivos, desarrolla planes y programas, determina las estrategias operativas, diseña la estructura y establece los procesos de control. El enfoque sistémico de una administración completa de mantenimiento proporciona una amplia gama de beneficios a la compañía, entre ellos:

- Mayor rendimiento de la mano de obra
- Mayor duración de los equipos
- Mejor utilización del inventario de repuestos
- Reducción del tiempo improductivo del equipo
- Reducción del mantenimiento de emergencia
- Reducción de costos administrativos
- Dirección y control más eficaces.

7.2.2 Elementos del sistema de mantenimiento

Con un sistema de mantenimiento programado se persigue reconocer a tiempo daños y fallas probables y adaptar las medidas correctivas para aumentar la efectividad de los equipos. El sistema computarizado debe ser considerado como una herramienta de trabajo que permite reducir los costos y los esfuerzos en la ejecución del mantenimiento.

Un sistema de información de mantenimiento computarizado requiere de un administrador que opere el sistema, actualice la información, distribuya las órdenes de trabajo, y se mantenga en comunicación con los usuarios para así garantizar su efectividad.

Con el mantenimiento computarizado se elimina una gran cantidad de papeleo; una vez registrada la información en la base de datos, no solo se programan automáticamente las tareas de mantenimiento sino que se generan las órdenes de trabajo, que luego de ser ejecutadas son también registradas, quedando así la información actualizada. El Software que maneja el sistema debe ser de uso fácil, indicarle al operador los pasos a seguir a través de la pantalla, que presenta las diferentes alternativas, y estar provisto de ayudas o explicaciones sobre su manejo cuando se presenten problemas ^[53].

Para el establecimiento de un sistema de mantenimiento computarizado se requiere respaldo a todos los niveles corporativos, para convertirlo en un estilo de trabajo rutinario y obtener de él sus máximos beneficios.

Un adecuado sistema de información de mantenimiento debe estar constituido por una serie de módulos que componen el menú principal del programa y que son las áreas a controlar. Aunque cada programa de acuerdo a necesidades particulares consta de módulos diferentes, se ha popularizado incluir cinco o seis módulos básicos que permiten:

- Control de las órdenes de trabajo
- Registro e historia de los equipos

- Control del inventario de repuestos
- Planeación y ejecución de los programas
- Control de mano de obra y costos.

El sistema debe generar todas las órdenes de trabajo necesarias para la realización de los programas. El control adecuado de las órdenes de trabajo, es un elemento esencial para administrar con éxito los costos del departamento. Este módulo debe controlar la disponibilidad de los recursos, la generación oportuna de las órdenes, y el registro preciso de los resultados obtenidos.

El segundo módulo del sistema debe mantener y almacenar un registro con toda la información actualizada de los equipos. Esta información consta de dos partes, la tarjeta maestra (registro de especificaciones) y la hoja de vida (historia de operación y mantenimiento). La información de este módulo permite elaborar la programación del mantenimiento específico y generar las órdenes de trabajo con los requerimientos de materiales y repuestos.

El módulo de control de inventarios, permite el control eficiente de los repuestos, refacciones, materias primas y herramientas necesarias en las actividades del mantenimiento, así como su ubicación, nivel de existencias, requisición automática de pedidos, clasificación y costos.

La ejecución de los programas contempla la adecuada elaboración de la programación de actividades a corto y mediano plazo y su comparación contra lo ejecutado. El sistema permite la descripción de las acciones a realizar, con los materiales y mano de obra. Este módulo debe contener los manuales de operación y mantenimiento, y permitir la consulta de los planes y programas por tipos de mantenimiento, períodos, equipos, líneas de producción o departamentos, con su estado de cumplimiento.

El módulo de control de mano de obra, faculta la gestión del Talento Humano de la organización dedicado al mantenimiento. Debe permitir el control del tiempo programado, laborado, horas extras y demás, con sus respectivos costos, por órdenes de trabajo. El sistema debe servir para acceder a toda la información referente a la mano de obra usada para realizar determinada labor de mantenimiento.

7.2.3 Qué buscar en el software

Definidos los elementos requeridos para la implementación del sistema de información, se evalúan las alternativas viables para la consecución del software necesario, que van desde el diseño y desarrollo del sistema propio hasta la

adquisición de un programa existente en el mercado que satisfaga las necesidades. La última alternativa presenta como ventajas, un menor tiempo de implementación y la eliminación de incertidumbres y riesgos asociados a todo desarrollo complejo.

El departamento de planeación debe escribir las especificaciones de las funciones que necesita y no las especificaciones técnicas del software. Se debe indicar al proveedor, qué se desea que el sistema ejecute y cuál es el límite de requerimientos mínimos, basándose en los elementos del sistema diseñado. Algunos de estos requerimientos se relacionan con la funcionalidad de los módulos necesarios, el control del desempeño, la contabilidad por órdenes de trabajo, el control del tiempo perdido, el control presupuestal, la implementación de normas o la estandarización de procedimientos y el manejo de las estadísticas, que son algunas de las facilidades técnicas funcionales, que diferencian los sistemas existentes comercialmente.

Después de un cuidadoso estudio de los aspectos nombrados se pasa a considerar las propuestas finales utilizando los siguientes criterios de evaluación^[55]:

- *Criterios funcionales.* Requerimientos de información de equipos, trabajos específicos, programación, ejecución y control de los tipos de mantenimiento.
- *Criterios técnicos.* Compatibilidad con el hardware y administración de la base de datos.
- *Flexibilidad del sistema.* Facilidad de adaptación, consulta, trámite, modificación y codificación.
- *Soporte y documentación.* Asistencia técnica, actualización funcional, disponibilidad de documentación e instalaciones previas.
- *Costos.* Análisis económico del Hardware, software, carga de datos, instalación, adaptabilidad funcional y facilidad de interfaz.

Mediante un trabajo colaborativo de la dirección de mantenimiento y de sistemas, se asignan los puntos a cada uno de los aspectos mencionados, dando la mayor ponderación a los criterios funcionales, y de esta forma se escoge entre los oferentes la mejor opción.

7.2.4 Estrategias para el diseño del sistema

En el mantenimiento es necesario establecer parámetros para medir su rendimiento y lograr así determinar las medidas correctivas apropiadas. La *planeación estratégica de sistemas* se dirige al uso de la informática como soporte de las operaciones con el fin de lograr ventajas, enfocando los esfuerzos al buen

desempeño de la empresa. El objetivo es por tanto desarrollar un sistema de información que permita el seguimiento y el control de la gestión del mantenimiento, proporcionando información en tiempo real sobre planeación, productividad, cargas de trabajo, costo del mantenimiento y recursos materiales, para brindar elementos de apoyo en la toma de decisiones gerenciales.

Las consideraciones para el diseño del sistema se deben basar en:

- *La información veraz y actualizada*, que permita una recolección de los datos a procesar en el sistema, correcta y oportunamente, como condición para que la información resultante esté disponible cuando se requiera.
- *La adaptabilidad*, para considerar su inclusión en el sistema integral de información de la empresa (existente o futuro), con lo cual los beneficios conjuntos serán cada día mayores.
- *La flexibilidad general*, para permitir la inclusión de nuevos módulos o variables a los módulos existentes, lo que permite la expansión o crecimiento del sistema operativo.
- *La utilización efectiva de los recursos disponibles*, pues en la medida que estos se aprovechen, los resultados del sistema serán mayores o menores.

El objetivo primario de un sistema de información para mantenimiento es manejar una base sólida de planificación, mediante el conocimiento instantáneo de la condición real de la planta. Esto solo es posible con la utilización eficiente de un módulo de *órdenes de trabajo*, que incluya las instrucciones periódicas para todas las intervenciones e inspecciones de los equipos. Esta información está dirigida a determinar dos aspectos principales^[54]:

- El análisis de los puntos débiles.
- La historia de la planta.

Para poder definir los puntos débiles en forma apropiada es necesario que los efectos correspondientes de las fallas se registren totalmente, es decir, la evolución de los sistemas de información debe dirigirse a un sistema de análisis de fallas, como los propuestos en el capítulo 2.

El historial de planta, principalmente en lo referente al mantenimiento del sistema productivo, es de fundamental importancia para alcanzar una alta productividad, pues permite determinar estadísticamente los requerimientos de mantenimiento del sistema. Una de las exigencias en el diseño del sistema de información es el control de la efectividad del mantenimiento, por medio de indicadores de desempeño que permiten realizar análisis de costos, de disponibilidad, de tiempos, de mano de obra, etc. Esto permite tener informes claros

y precisos, en el momento oportuno, para tomar las medidas correctivas. Los beneficios obtenidos con el uso de un sistema de información computarizado es enorme porque:

- Facilita la presentación inmediata de los reportes de costos y tiempo con un análisis de tendencias.
- Muestra instantáneamente el estado de ejecución de los programas.
- Logra el apoyo de la organización respecto a cambios estratégicos e imprevistos.
- Permite la presentación gráfica precisa de resultados a la gerencia.
- Mejora la preparación y presentación de informes específicos.
- Contribuye al control permanente del cumplimiento de los objetivos establecidos y facilita su corrección prematura.
- Posibilita la simulación de las decisiones y sus resultados.

7.2.5 Implementación del sistema seleccionado

Para la implementación del sistema de información de mantenimiento computarizado, en forma similar a la implementación de otros sistemas, se requiere unas bases firmes y el cumplimiento de una serie de etapas, o trabajos secuenciales, que son los requisitos para la correcta ejecución del programa. Pero ante todo, como se hace en la implementación de un sistema proactivo, se requiere vender la idea del plan para que se cuente con la participación de los empleados, y crear conciencia en la compañía de los beneficios del sistema, por medio de un sólido conocimiento de los elementos que lo conforman, su aplicabilidad, funcionalidad y demás facilidades de control.

Algunos de los trabajos que se deben desarrollar durante el proceso de implementación, son:

- *Determinar las áreas de aplicación.* Para esto se requiere sectorizar las instalaciones, clasificando las áreas productivas por líneas de proceso, sistemas, grupos de equipos, máquinas y partes. De esta manera es posible realizar controles independientes por plantas, talleres, zonas productivas, procesos, o equipos similares, en forma simultánea.
- *Seleccionar los componentes del sistema.* Se requiere una aplicación selectiva del programa, se debe determinar los módulos prioritarios, áreas de aplicación inicial, recursos y equipos a incluir en el sistema.
- *Establecer las necesidades de mantenimiento.* Comprende determinar las modificaciones a los programas vigentes, incluir nuevos métodos y programas, revisar los procedimientos de inspección, las pruebas y el control.

- *Definir actividades de puesta a punto*, para equipos no incluidos en los programas proactivos.
- *Integrar el Talento Humano al sistema*. Se requiere el entrenamiento y la capacitación necesaria, de todo el personal relacionado para la ejecución del sistema, mediante la formación de grupos de trabajo, desarrollo de cursos de mantenimiento, administración y sistemas, prácticas y talleres, para permitir el aporte eficiente en las nuevas funciones encomendadas.
- *Elaborar un plan de estructuración e implementación*. Es necesario tener un plan, para la estandarización y concatenación del sistema, con el fin de facilitar su instalación y desarrollo, teniendo en cuenta las condiciones generales y las facilidades o dificultades que éste pueda presentar.
- *Establecer los archivos técnicamente*. Se requiere alimentar la base de datos con la información correspondiente, tratando de lograr el máximo aprovechamiento de la capacidad, mediante un conveniente sistema de codificación. La codificación debe ser elaborada de tal manera que acepte ampliaciones y modificaciones sin dificultades en el manejo del programa. El ingreso de la información debe ser ordenada según parámetros prefijados, por módulos y por bloques de información, en cada uno de los archivos establecidos, buscando que se facilite su mejoramiento con la información posterior.

Una vez se ingrese la información necesaria en todos los archivos, el uso normal del programa se limita a consultar y actualizar la base de datos, generar programas, ordenes de trabajo e informes ejecutivos, y registrar las actividades de mantenimiento. La concepción lograda por el sistema con su implementación exige probar su idoneidad en la práctica para un sector elegido, antes de su aplicación definitiva.

7.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO COMPUTARIZADO

La creciente necesidad de mejorar la productividad, de tomar decisiones rápidas y acertadas, de manejar un volumen amplio de información y de evaluar ágil y eficazmente el rendimiento de los equipos y el desempeño del Talento Humano, en los departamentos de mantenimiento, hace que las empresas adopten los recursos tecnológicos de más alta efectividad e implementen un sistema de información gerencial que garantice la más absoluta confianza.

Un sistema de información de *Mantenimiento Predictivo* computarizado permite^[58]:

- La adquisición y memorización automática de los datos, de análisis de vibraciones u otros sistemas predictivos.

- El procesamiento e interpretación de la información para tener un conocimiento profundo del estado en que se encuentran los equipos.
- Un eficaz análisis de las mediciones, para diagnosticar las probables causas de falla y prevenir los daños, con la suficiente anticipación.
- La consulta por terminales, de una forma rápida y sencilla, y de esta manera aumentar el control del rendimiento en tiempo real de los equipos.

El sistema de *Mantenimiento Predictivo* computarizado es esencialmente un software compuesto por una serie de módulos interactivos que usan varios programas y subprogramas tendientes a lograr el más eficiente uso de la información obtenida, por los equipos de diagnóstico y control predictivo. Un sistema tipo está formado generalmente por cinco o seis módulos principales que se encargan de:

- Elaborar los reportes para la toma de mediciones.
- Actualizar la base de datos.
- Generar los informes correspondientes.
- Emitir los diagnósticos con base en el análisis y evaluación de los resultados.
- Permitir consultas específicas.
- Mantener los archivos por adición, modificación o retiro.
- Generar las órdenes de trabajo para implementar las actividades correctivas.
- Entregar los diagramas de tendencias y demás manejo estadístico.

La correcta interacción de los módulos permite realizar las operaciones precisas, tanto de los equipos como de los registros y puntos de control. El sistema mantiene un archivo de seguridad, verifica las inconsistencias de los datos y valida toda la información que sea almacenada. Mediante el soporte estadístico se pueden generar gráficos de barras o diagramas de tendencias, para visualizar rápidamente las variaciones normales, de las fallas incipientes o inminentes a través del tiempo, con base en los espectros patrones y todas las mediciones obtenidas; también se puede obtener datos o registros históricos particulares de los equipos que han sido sometidos a *Mantenimiento Proactivo* en un área determinada.

Los avances recientes en las tecnologías de monitoreo de condición, y la sistematización de la información, apoyada con software de diagnóstico, son los aportes más representativos, a los programas de *Mantenimiento Predictivo*, para determinar las condiciones reales de la planta.

Uno de los sistemas más eficaces para evaluar la condición de cada uno de los equipos involucrados en un programa predictivo, son los sistemas "*On Line*" o

sistemas de *análisis en línea*, en tiempo real, que permiten la evaluación por medio de monitoreo permanente de las condiciones de diseño, más el diagnóstico avanzado del estado real de los equipos. Este sistema permite la adquisición, presentación y análisis de la información dinámica de los equipos críticos, para dar aviso de forma instantánea sobre el desarrollo de las fallas incipientes. Los reportes principales que el sistema provee son ^[54]:

- Reporte de configuración de planta.
- Reporte de configuración de rutas.
- Reporte de puntos de medición.
- Reporte de valores globales.
- Reporte de cambios significativos.
- Reporte de alertas y alarmas.

Las salidas gráficas que el sistema provee son:

- Diagramas de barras.
- Gráficas de evolución y de tendencia.
- Señal en el tiempo para un punto de medición.
- Espectro lineal.
- Diagramas de órbita.
- Espectros de cascada.
- Diagrama Frecuencia - Fase (Bodé).
- Diagramas de espectros en equipo, etc.

La vasta cantidad de información generada con el análisis y diagnóstico de los procesos productivos, usando estos sistemas, que es archivada en bases de datos relacionales, ofrece una oportunidad única para explorar los nuevos adelantos tecnológicos y ampliar el panorama de desarrollo y consolidación, en las empresas latinoamericanas, de las más modernas tecnologías del *Mantenimiento Proactivo*.

7.4 SISTEMAS EXPERTOS EN MANTENIMIENTO

7.4.1 La Inteligencia Artificial y los Sistemas Expertos

Los sistemas expertos constituyen un campo específico de aplicación de la Inteligencia Artificial. Se puede describir la *Inteligencia Artificial* (AI) como la rama de la ciencia que trata de hacer que los computadores se comporten de una manera que se podría considerar inteligente por el ser humano. El enten-

der cómo se hacen las cosas es el mayor objetivo de la Inteligencia Artificial.

Una definición más formal de *Inteligencia Artificial* podría ser^[39]:

“La Inteligencia Artificial es la habilidad de un sistema para capturar la información, recuperarla cuando sea necesaria, hacer conexiones entre diferentes piezas de información, y usarlas para obtener conclusiones”.

La Inteligencia Artificial se está desarrollando en diferentes campos de investigación, entre los cuales se pueden mencionar:

- Visión y reconocimiento de patrones.
- Lógica.
- Robótica.
- Aprendizaje de máquinas.
- Procesamiento de lenguaje natural.
- Sistemas de diagnóstico.
- Solución de problemas.
- Sistemas de Consulta.

Los Sistemas de Consulta son el nombre genérico con que se identifican los *Sistemas Basados en el Conocimiento* (KBS) y los *Sistemas Expertos* de consulta (ES). La utilización computarizada de los *Sistemas de Consulta* fue la primera aplicación funcional de la Inteligencia Artificial.

Un *Sistema Experto* es un sistema computarizado de reglas, que incluyen conocimientos importantes en un tema específico, y que está capacitado para combinar elementos de ese conocimiento que le permiten deducir conclusiones por métodos que simulan el razonamiento humano. Por lo tanto los componentes principales de un Sistema Experto son^[48]:

- Base de datos o de conocimientos.
- Componente de diálogo, o interfaz con el usuario.
- Componente de explicación.
- Componente de solución de problemas.

Este último componente es llamado usualmente motor de inferencia (IM) y es el responsable de las conclusiones o concatenamientos lógicos de elementos de conocimiento; junto con los dos anteriores forman la llamada máquina de inferencia que es la segunda parte fundamental de un Sistema Experto.

En síntesis, un Sistema Experto está constituido por dos partes, la base de conocimientos que traduce a un lenguaje declarativo y modular los conocimientos expertos relativos a un campo tecnológico específico, y la máquina de inferencia que se encarga de llamar y utilizar estas reglas con pleno conocimiento, para poder responder una pregunta definida del usuario, emitir un diagnóstico, o resolver un problema.

7.4.2 Campos de aplicación de los Sistemas Expertos

El objetivo principal del desarrollo de los sistemas expertos, es ampliar los campos de aplicación del procesamiento electrónico de datos hacia nuevas áreas de la *Gestión del Conocimiento*. Las aplicaciones centrales de los sistemas expertos están enfocadas a la solución de los siguientes problemas ^[39]:

- *Interpretación de datos.* Con base en la recepción de información, con captadores o transductores, permitir la descripción del estado del emisor.
- *Diagnóstico.* Recibiendo, en tiempo real, las señales de hallazgos o los valores de medición de las variables de operación, determinar los errores o fallas en el comportamiento del sistema.
- *Concepción.* Cuando la información define el estado de partida y el estado final, determinar la secuencia de acciones o procedimientos a ejecutar.
- *Diseño.* De acuerdo con las características o exigencias precisadas, establecer grupos de objetos posibles considerando las condiciones marginales.
- *Pronóstico.* Si la información actual determina el estado de partida y las influencias reales, obtener los estados resultantes futuros.
- *Formación.* Con base en las necesidades de capacitación, el sistema determina el nivel de conocimientos por interpretación, analiza los errores y propone el proceso siguiente de formación.

El desarrollo acelerado de la tecnología de los Sistemas Expertos está consiguiendo que los conocimientos del hombre puedan representarse, tratarse y almacenarse más fácilmente. La aplicación de estos sistemas permite unificar las maneras de proceder y mejora en muchos casos la calidad de las decisiones. Los trabajadores poco capacitados aprenden mediante la utilización de los Sistemas Expertos; los más calificados quedan descargados de trabajos rutinarios y pueden dedicarse a tareas más importantes. En general, un Sistema Experto es la herramienta de mayor utilidad para optimizar la toma de decisiones y para mejorar las comunicaciones.

7.4.3 Aplicabilidad de los Sistemas Expertos

La aplicación de los Sistemas Expertos al mantenimiento se ha escogido como el uso específico más destacado de la tecnología de los *Sistemas Inteligentes* (AI) a la actividad industrial; por las razones de efectividad, disponibilidad y productividad, logradas con su utilización.

Los problemas que un Sistema Experto puede ayudar a resolver en el mantenimiento, generalmente son de tres tipos ^[48]:

- *Diagnóstico de Fallas.* El tema típico para los sistemas expertos en el mantenimiento es el apoyo al diagnóstico de fallas (Mantenimiento Predictivo); debido a que el diagnóstico es el que mejor se entiende de todos los temas de expertez, y en todos los casos la resolución de los problemas implica la recolección de información, y el estudio y prueba de varias alternativas.
- *Selección por Catálogos.* Esta aplicación es conocida también como *Sistema de Satisfacción de Restricciones*, y escoge las respuestas más convenientes de una lista de posibles elementos de acuerdo con los criterios establecidos por el usuario. De buena aplicación para la selección de refacciones, herramientas y materiales.
- *Manuales Inteligentes.* Los manuales inteligentes automatizan la toma de decisiones, empleando los mismos hechos y normas que un experto usaría para tomar las mismas determinaciones. Además, en el departamento de mantenimiento siempre existe gran demanda de formación referida a las aplicaciones computarizadas, que puede ser cubierta con apoyo del computador.

Un sistema experto es viable en la medida en que las empresas conozcan bien el historial de operación de planta, que sumado al soporte técnico y de ingeniería, justifique el considerable esfuerzo para su desarrollo. Los sistemas expertos ofrecen alternativas de planificación y de diagnóstico más rápido, al tiempo que facilitan la capacitación de operarios, técnicos e ingenieros poco especializados. Pero básicamente se puede concluir, que sí, es posible aplicar la tecnología desarrollada por la inteligencia artificial a través de los sistemas expertos al mantenimiento para una buena cantidad de actividades prácticas, y que los beneficios de su uso se traducen rápidamente en una mayor productividad.

7.4.4 Sistema Experto de Mantenimiento Predictivo

La gerencia actual consciente de su papel de administrador de recursos, no puede sustraerse de la responsabilidad de utilizar eficientemente los medios,

comprometiendo a todas las unidades de la empresa, y guiando su trabajo a maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, como garantía de una buena gestión.

Las estrategias del mantenimiento moderno deben estar basadas en los sistemas de información que faciliten el conocimiento del historial de la planta, el análisis de fallas, la predicción de la vida útil de los equipos y sus componentes, hasta culminar en *Sistemas Expertos* para responder eficientemente a las necesidades reales.

Para llegar a un *Sistema Experto de Mantenimiento Predictivo* se requiere el cumplimiento de una serie de requisitos para su diseño, construcción y desarrollo. El principal aspecto a considerar es la acumulación de la experiencia. El mantenimiento industrial crea un ambiente apropiado para la adquisición de experiencia, porque se genera una gran cantidad de problemas, en ocasiones repetitivos y en ocasiones muy particulares, y es necesario transmitirlos a la organización para su fortalecimiento y desarrollo^[48].

Los objetivos básicos a lograr con un *Sistema Experto de Mantenimiento Predictivo* son:

- Disminuir los paros imprevistos.
- Aumentar la vida útil de todas las máquinas.
- Incrementar la productividad de la empresa.
- Racionalizar el consumo de repuestos.
- Humanizar el mantenimiento.

Es necesario utilizar todo el conocimiento existente para desarrollar el proceso, hasta obtener la solución completa de los problemas y cerrar el ciclo básico de la expertez. El conocimiento necesario comprende^[48]:

- Las máquinas
- Los problemas
- Las herramientas
- Los métodos
- Las soluciones
- Las correcciones
- Las evaluaciones.

Para obtener el historial del comportamiento de las máquinas objeto del Mantenimiento Predictivo se requiere básicamente de los siguientes elementos:

- Listado de las características
- Estadísticas de operación y mantenimiento
- Potencia instalada
- Producción generada.

Para la detección de los problemas de funcionamiento se utilizan:

- Sistema "On - Line".
- Transductores.
- Sistemas de Monitoreo.
- Control automático.
- Sistemas "Off - Line".
- Mediciones periódicas.
- Pruebas dinámicas.
- Control de comportamiento.

Para el análisis y determinación de los defectos de funcionamiento hay que saber cómo se manifiesta:

- El desalineamiento.
- El desbalanceo.
- Problemas de soporte y montaje.
- Problemas de lubricación.

Adicionalmente se requiere:

- Diagnóstico del comportamiento de la maquinaria para verificar la aparición de problemas especiales o comunes.
- Tener la instrumentación para lograr la información precisa, y la corrección rápida de todos los problemas de funcionamiento.
- Hacer el seguimiento de los defectos encontrados y diagnosticados, y del comportamiento de la maquinaria.
- Realizar la evaluación del diagnóstico, para determinar correcciones más técnicas y especiales para disminuir el potencial de las fallas presentadas.

Una vez que se logra el historial del comportamiento, debe plantearse la reunión de expertos para organizar la automatización del proceso para la toma de decisiones. Este software es de carácter abierto, para que sea interactivo y amigable con el usuario, y su proceso de desarrollo sea cada vez más eficiente. La expertez en cada organización es particular y, aunque utilice maquinaria que pueda considerarse convencional en el proceso de producción, se vuelve casi exclusiva de la empresa.

Los sistemas expertos no son modelos que se comportan como leyes o fórmulas sino todo lo contrario, capturan la experiencia real que no es formulada sino auto-creada. El equipo humano normalmente incluye expertos en mantenimiento, planificación, producción y sistemas. Los expertos deben crear comunidades de conocimiento para presentar la información, aportar nuevas ideas y nuevas experiencias. Después de que el grupo de expertos, coordinado por el especialista en sistemas, organice la experiencia de la compañía, se obtiene el software complementario con el cual se implementa en el sistema computacional, la interacción del nuevo sistema experto.

Cuando se implementa un sistema experto de mantenimiento se eleva el nivel técnico y moral del Talento Humano, y se le incentiva a colaborar en la aplicación de nuevas y más eficientes tecnologías. Finalmente, en todas las organizaciones se deben implantar técnicamente los *Sistemas de Información Gerencial* en el área de mantenimiento, para afrontar con confiabilidad, efectividad y rentabilidad las dificultades venideras.

Referencias bibliográficas

- [1]. ADAM, Everett. HERSHAUER, James. RUCH, W. "Productividad y Calidad". Segunda Edición. Editorial Trillas. México, 1995.
- [2]. AMENDOLA, Luis. (2002). "Modelos Mixtos de Confiabilidad". Publicado por DataStream. www.mantenimientomundial.com.
- [3]. ANDRICA, John. "Como Medir el Desempeño en el Mantenimiento de Plantas". Industrial World. Johnston International Corp. New York. Junio 1983.
- [4]. ARCINIEGAS, Carlos A. "Mantenimiento Productivo Total en Carvajal". ACIEM. Cundinamarca. Novenas Jornadas Nacionales de Mantenimiento. Bogotá, Septiembre de 1990.
- [5]. ARGUELLO P., Alfonso y MOSQUERA T., Hugo. "Control Total de Mantenimiento". ACIEM Cundinamarca. X Jornadas Nacionales de Mantenimiento. Bogotá, Septiembre 1991.
- [6]. ÁVILA ESPINOSA, Rubén. "Fundamentos de Mantenimiento". Primera Edición. Editorial Limusa S. A. México, 1992.
- [7]. BALDIN, FURLANETTE, ROVERSI, TURCO. "Manual de Mantenimiento de Instalaciones Industriales". Segunda Edición. Gustavo Gili S.A. España, Barcelona. 1982.
- [8]. BLANCO RIVERO, Ernesto. "Factores del Mejoramiento de Productividad". Segundas Jornadas de Ingeniería Electromecánica. Escuela de Ingeniería Electromecánica. Paipa, Agosto de 1991.
- [9]. BOTERO B., Ernesto. "La Productividad y el Mantenimiento". ACIEM Cundinamarca. Novenas Jornadas Nacionales de Mantenimiento. Bogotá, Septiembre de 1990.
- [10]. BOTERO B., Ernesto. "Administración del Mantenimiento". Instituto Colombiano de Administración INCOLDA. Bogotá, 1986.

- [11]. BUFFA, Elwood S. "Administración y Dirección Técnica de Producción". Quinta Edición. Editorial LIMUSA. México, 1990.
- [12]. BRUEL y KJAER. "La Medida de las Vibraciones". Monografía BO 0094 11. Primera Edición. Naerum. Dinamarca. 1983.
- [13]. BRUEL y KJAER. "Machine Health Monitoring". Folleto B6-0016. Primera Edición. Naerum. Dinamarca. 1984.
- [14]. CAMARENA M., Pedro. "Manual de Mantenimiento Eléctrico Industrial". Continental, S.A. México, 2003.
- [15]. CARRANZA MORENO, Rafael. "Aprovisionamiento Económico de Repuestos". ACIEM Cundinamarca. Segundas Jornadas Nacionales de Mantenimiento. Bogotá, Septiembre 1983.
- [16]. CARRANZA MORENO, Rafael. "El Mantenimiento Productivo". Primeras Jornadas Nacionales de Mantenimiento. ACIEM Cundinamarca. Bogotá, Septiembre de 1982.
- [17]. CASTLES, John G. "Mantenimiento Preventivo Industrial". Editorial McGraw-Hill. New York, 1971.
- [18]. DOMÍNGUEZ B., Guillermo León. "La Termografía Herramienta de Mantenimiento Predictivo". ACIEM Cundinamarca. Segundas Jornadas Nacionales de Mantenimiento. Bogotá. Septiembre de 1983.
- [19]. DOUNCE V, Enrique. "La Administración en el Mantenimiento". Editorial CECSA. México. 1990.
- [20]. DURÁN, José B. (2000). "¿Qué es Confiabilidad Operacional?". Revista Club Mantenimiento. Año 1. N° 2. Septiembre 2000. Disponible en línea en: www.clubdemantenimiento.com.ar/articulo76.html.
- [21]. GÓMEZ SAAVEDRA, Eduardo. "El Control Total de la Calidad". Primera Edición. RAM Editores S.A. Bogotá, 1996.
- [22]. GUERRERO, Carlos N. "Programa de Optimización de Mantenimiento en el C.I.B.". ACIEM Cundinamarca. VI Jornadas Nacionales de Mantenimiento. Bogotá, Octubre 1987.
- [23]. HARTMANN, Edward H. "How to Successfully Install TPM in Your Plant". International TPM Institute, Inc. TPM Press Incorporated, U.S.A. 1992.
- [24]. HARTOG, J. P. DEN. "Mecánica de las Vibraciones". Novena Edición. Editorial CECSA. México. 1980.

- [25]. HAY, Edward J. "Justo a Tiempo". Primera edición. Editorial Norma S.A. Bogotá, Colombia. 1989.
- [26]. HEINZELMAN, John E. "El Manual Completo de la Administración de Mantenimiento". Lineal Publishing Co. New York. 1987.
- [27]. HOLDERBANK. "Seminario de Mantenimiento". CEMENTOS BOYACÁ. Bogotá, Agosto de 1989. Lecciones 5, 6, 7 y 8.
- [28]. HUERTA, Rosendo. "Confiabilidad Operacional: Técnicas y Herramientas de Aplicación". Seminario Customer Care, DataStream. Bogotá. Colombia. Febrero 2004.
- [29]. HUTTE, Association. "Manual del Ingeniero de Taller". Tercera Edición. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona, España. 1978.
- [30]. INMAN, Daniel J. "Vibration with Control". John Wiley & Sons Editions. USA. New Jersey. 2006.
- [31]. ISHIKAWA, Kaouro. "Qué es el Control Total de la Calidad". Editorial Norma S.A. Bogotá, 2001.
- [32]. JENSSEN, Jen. "Curso de Actualización en Vibraciones". Capacitación y Consultorías Industriales Ltda. Bogotá. 1989.
- [33]. LARIS CASILLAS, Francisco J. "Administración Integral". 6ª. Edición. Editorial CECSA. México, 1998.
- [34]. LONDOÑO A., Gustavo A. "Análisis de Rodamientos por Impulsos de Choque". Revista Ingeniería de Mantenimiento No. 4. Soporte y Cía. Ltda. Medellín, 1991.
- [35]. MARIÑO, Hernando. "Gerencia de la Calidad Total". Tercera Edición. Tercer Mundo Ediciones. Bogotá. Colombia. Julio 1990.
- [36]. MASAACKI, Imai. "El Kaizen. La Clave de la Ventaja Competitiva Japonesa". Editorial CECSA. México. 1989.
- [37]. MEJÍA, Fernando y Otros. "Curso de Actualización en Mantenimiento Industrial". AIMUN Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Bogotá, Mayo 1984.
- [38]. MORA GUTIÉRREZ, Luis A. ARISTIZABAL R., Sergio y RODRÍGUEZ, Carlos Arturo. "Dirección y Sistematización del Mantenimiento". Escuela de Administración, Finanzas y Tecnologías. Universidad EAFIT. Medellín. 1898.
- [39]. MOMPIN POBLET, José. "Inteligencia Artificial". Boixareu Editores. Barcelona, España, 1989.

- [40]. MORA, Enrique. "TPM: Mantenimiento Productivo Total". TPM en Español. Presentación básica del TPM. TPMonline.com. 2004. Disponible en línea: www.leanexpertise.com/TPMONLINE/presents/pdfs/Tpmesp4pdf.pdf.
- [41]. MORROW, L. C. "Manual de Mantenimiento Industrial", Tomo I. Decimocuarta Edición. Editorial CECSA. México, 1986.
- [42]. MOUBRAY, John. "Reliability Centered Maintenance II". Butterworth - Heinemann, Oxford, USA, 1997.
- [43]. MURILLO, William M. "Modelo de Confiabilidad basado en el Análisis de Fallas". ACIEM – ECOPETROL. V Congreso Internacional de Mantenimiento Industrial. Bogotá, 2003.
- [44]. NAKAJIMA, Seiichi. "Total Productive Maintenance". Productivity Press. Cambridge, Massachusetts. 1984.
- [45]. NAKAJIMA, Seiichi. "Introducción al TPM". Japan Institute for Plant Maintenance. Tecnología de Gerencia y Producción S. A. Madrid, 1991.
- [46]. NAKAJIMA, Seiichi. "El TPM Tenkai". Japan Institute for Plant Maintenance. Tecnología de Gerencia y Producción S. A. Madrid, 1997.
- [47]. NEWBROUGH, E. T. "Administración del Mantenimiento Industrial". Editorial Diana S.A. México, 1981.
- [48]. NIÑO B., Jesús A. "Sistemas Expertos Sobre Mantenimiento Predictivo". ACIEM - Cundinamarca. Octavas Jornadas Nacionales de Mantenimiento. Bogotá, Septiembre 1989.
- [49]. NIÑO TOVAR, Sigifredo. "Los Microcomputadores y el Mantenimiento Industrial". ACIEM Cundinamarca. Quintas Jornadas Nacionales de Mantenimiento. Bogotá, Octubre 1986.
- [50]. OGATA, Katsuhiko. "Ingeniería de Control Moderna". Cuarta Edición. PEARSON - Prentice Hall. ISBN: 84-205-3678. México, 2003.
- [51]. OGLIASTRI, Enrique. "Gerencia Japonesa y Círculos de Participación". Primera Edición. Editorial Norma S.A. Bogotá. Colombia. 1991.
- [52]. O'GRADY, P. J. Just In Time. "Una Estrategia Fundamental para los Jefes de Producción". Editorial McGraw-Hill. Madrid España, 1992.
- [53]. PÉREZ JARAMILLO, Carlos Mario. "Gestión y Control de Mantenimiento Industrial". Seminario INCOLDA - EAFIT. Medellín, Julio 1987.

- [54]. PÉREZ JARAMILLO, Carlos Mario. "Condiciones para la Instalación de un Programa de Mantenimiento Predictivo". Revista Ingeniería de Mantenimiento. No. 1. Soporte y Cía. Ltda. Medellín, Diciembre de 1990.
- [55]. PÉREZ JARAMILLO, Carlos Mario. "Gerencia de Mantenimiento y Sistemas de Información". Soporte y Cía. Ltda. Medellín. 1991.
- [56]. ROSALER P. E., Robert C. "Manual de Mantenimiento Industrial". Primera Edición. McGraw-Hill. Tomos IV y V. México. 1.985.
- [57]. SÁNCHEZ B., Luis G. "La paradoja de las Nuevas Tecnologías". Revista Escuela Colombiana de Ingeniería. Año 1. No.3. Vol.1. Bogotá, Febrero de 1.991.
- [58]. SÁNCHEZ C, Edgar Nelson. "Mantenimiento Predictivo". Programa de Educación Continuada. Postgrado en Potencia Eléctrica. UIS. Bucaramanga. Diciembre 1.989.
- [59]. SCHONBERGER, Richard J. "Manufactura de Categoría Mundial". Primera Edición. Editorial Norma S.A. Bogotá, Colombia, 1989.
- [60]. TASCÓN P., Juan Pedro. "Manufactura de Clase Mundial". Congreso Electro porcelana Gamma. Medellín. Agosto 1993.
- [61]. TURNER, Steve. OMCS. "PMO Optimization Programs. Maintenance Analysis for Results". Melbourne, Australia, 2001. Disponible en línea en: www.pmoptimization.com.au.
- [62]. TURNER, Steve. "PM Optimization. Maintenance Analysis of the Future". Paper first presented at the International Conference of Maintenance Societies. Melbourne, Australia, 2001. Disponible en línea en: www.pmoptimisation.com.au/downloads/comparison_rcm_pmo.pdf.
- [63]. SOTUYO B., Santiago. "Gestión de Activos y Ciclo de Vida". Ellmann, Sueiro y Asociados. Montevideo, Uruguay, 2002. Disponible en línea en: www.confiableidad.net.
- [64]. WOODHOUSE, John. "Managing Industrial Risk". First Edition. Chapman & Hall. London, 1993.

Bibliografía complementaria

ÁLVAREZ, 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.

AMENDOLA, Luis José. (2002). "Modelos Mixtos de Confiabilidad". Publicado por DataStream. www.mantenimientomundial.com.

AMENDOLA, Luis José. PhD. (2007). "Organización del Mantenimiento". El Mantenimiento como negocio: Balanced Scorecard. Ediciones PPM Institute for Learning. Valencia, España.

ARREDONDO POLAR, Alberto. (2009). "Responsabilidad Social Empresarial: Una Síntesis de Ideas y Casos". Resumen de RSE preparado para la Red Iberoamericana de Universidades por la RSE, foro junio de 2009. Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.

BAENA PAZ, Guillermina (Cor.). (2005). "Seguridad Humana e Infraestructura Emocional". Primera Edición. Proyecto PAPIME. Editorial Metadata. UNAM, México D.F.

BAENA PAZ, Guillermina (Editora). (2006). "Seguridad Humana y Capital Emocional". Editorial Metadata. Proyecto PAPIME. Laboratorio de Estudios del Futuro DGPA-UNAM. Disponible en línea en el sitio: <http://www.osun.org/capitalemocional-pdf.html>.

BESTRATÉN, Manuel y ARENAS, Bárbara. (2007). NTP 745: "Nueva cultura de empresa y condiciones de trabajo". INSHT, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Madrid, España.

BLANCHARD, Ken, RANDOLF, Alan, GRAZIER, Peter. (2006). "Trabajo en equipo" Go Team! Tres pasos para conseguir grandes resultados. DEUSTO Recursos Humanos. Barcelona, España.

BORRELL, Francesc. (2004). "Como Trabajar en Equipo" y crear relaciones de calidad con jefes y compañeros. Gestión 2000. Planeta de DeAgostini Profesional y Formación S.L. España.

BUENO, Campos E. (1999): "La Gestión del Conocimiento, el Aprendizaje y el Capital intelectual", Boletín Club Intellect, nº 1, Enero 1999. Barcelona, España.

CÁCERES, Beatriz. (2004). "Cómo incrementar la competitividad del negocio mediante estrategias para gerenciar mantenimiento". VI Congreso Internacional de Mantenimiento. ACIEM. Bogotá. Colombia.

DANIELS, Aubrey C. (1993). "Gerencia del Desempeño". Tercera Edición. Editorial McGraw Hill. Bogotá, Colombia.

DÍAZ NAVARRO, Juan. (2010). "Técnicas de Mantenimiento Industrial". 2ª Edición Revisada. Calpe Institute of Technology. Valencia, España.

DUFFUAA, S. RAOUF, A. DIXON, J. (2008). "Sistemas de mantenimiento. Planeación y control". 2ª Edición. Editorial Limusa Wiley, México.

ELONKA, S. (1986). "Equipos Industriales. Guía práctica para reparación y mantenimiento". Mc Graw Hill Editores. Bogotá, 1.986.

FERNÁNDEZ J, Miguel Ángel. (2004). "La Gestión de Calidad mediante los Recursos Humanos". Artículo del Magazine de RHM, Grupo de Comunicación. Madrid, España. Disponible en línea en: <http://www.rrhhmagazine.com>.

FERNÁNDEZ L., Javier. (2005). "Gestión por Competencias". Un modelo estratégico para la dirección de Recursos Humanos. Editorial FT Prentice Hall. Madrid, España.

FUKUYAMA, Francis (1996). "Confianza, las virtudes sociales y la capacidad para generar prosperidad". Editorial Atlántida. Buenos Aires - México.

GOLEMAN, Daniel. (1999). "La Inteligencia Emocional en la Empresa". Editorial Vergara. Buenos Aires, Argentina.

HUERTA, Rosendo. (2004). "Curso Confiabilidad Operacional: Uso de Técnicas y Herramientas de Aplicación". Seminario Customer Care, DataStream. Bogotá. Colombia. Febrero de 2004.

JOYANES A. Luis. (2001). "La Gestión del Conocimiento: Retos, desafíos, oportunidades de la ingeniería de software del siglo XXI". Simposio Iberoamericano de Sistemas de Información en la Sociedad de Conocimiento. Bogotá, Colombia.

KAPLAN, R. y NORTON, D. (1997): "Cuadro de Mando Integral". (The Balanced Scorecard). Gestión 2000. Barcelona. España.

KAPLAN R. y NORTON D. (2006), "Alignment: Using the Balanced Scorecard to Create Corporate Synergies". Boston: Harvard Business School Press.

KAPLAN, R. y NORTON, D. (2001): "Como utilizar el Cuadro de Mando Integral, para implementar y gestionar su estrategia". (The Strategy-Focused Organization). Gestión 2000. Barcelona. España.

KAPLAN R. y NORTON D. (2008), "The Execution Premium. Integrando la Estrategia y las Operaciones para lograr Ventaja Competitiva". Ediciones Deusto. Barcelona, España.

MARTÍNEZ R., Luis. (2007). "Organización y Planificación de Sistemas de Mantenimiento". Centro de Altos Estudios Gerenciales, Instituto Superior de Investigación y Desarrollo. Caracas, Venezuela. Disponible en línea en: <http://es.scribd.com/doc/36552506/ORGANIZACION-Y-PLANIFICACION-DE-MANTENIMIENTO-2007>.

MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. (2005). "Mantenimiento Estratégico para Empresas de Servicios y/o Industriales". Ingeniería y Operaciones Afines. Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.

MORA, Enrique. (2004). "TPM: Mantenimiento Productivo Total". TPM en Español. Presentación básica del TPM. TPMonline.com. <http://www.leanexpertise.com/TPMONLINE/presents/pdfs/Tpmesp4pdf.pdf>

MOUBRAY, John. (1997). "Reliability Centered Maintenance II" (RCM II). Edit: Butterworth – Heinemann. Oxford, USA.

MURILLO, William M. (2003). "Modelo de Confiabilidad basado en el Análisis de Fallas". ACIEM – ECOPETROL. V Congreso Internacional de Mantenimiento Industrial. Bogotá.

NAKAJIMA, Seiichi. (1991). "Introducción al TPM". Japan Institute for Plant Maintenance (JIPM). Tecnología de Gerencia y Producción S. A. Madrid.

NAKAJIMA, Seiichi. (1997). "El TPM Tenkai". JIPM (Japan Institute for Plant Maintenance). Tecnología de Gerencia y Producción S. A. Madrid.

PASCUAL J., Rodrigo. (2002). "Gestión Moderna del Mantenimiento". 2ª. Edición. Dpto. Ing. Mecánica, U. de Chile. Beauchef 850, Santiago de Chile.

PUTNAM, R. (2003). "El Declive del Capital Social". Un estudio internacional sobre las sociedades y el sentido comunitario. Editorial Círculo de Lectores. Galaxia de Gutenberg. Barcelona, España.

SENGE, Peter. (1993). "La Quinta Disciplina, el arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje". Ediciones Granica. Barcelona, España.

SERRA, Jordi. (2006). "El blues del eslabón perdido. Una visión evolucionaria de la Inteligencia Emocional". Capítulo del libro: "Seguridad Humana y Capital Emocional". Primera Edición. Editorial Metadata. México D.F.

SERRANO FLORES, Raúl. (2007). Reformulación del Fenómeno del Liderazgo. Univ. Santiago de Chile. Disponible en línea en: <http://www.arearh.com/psicologia/reformulacion.htm>.

SILVA ARDILA, Pedro Eliseo. (2007). "El Mantenimiento en la Práctica". Como aplicar las teorías modernas de mantenimiento y lograr resultados. Ediciones de la U. Bogotá, Colombia.

SOTUYO B., Santiago. (2001). "*OIM: Optimización Integral de Mantenimiento*". Ellmann, Sueiro S. A. www.ellmann.net.

SOTUYO B., Santiago. (2002). "Gestión de Activos y Ciclo de Vida". Ellmann, Sueiro y Asociados. www.confiableidad.net.

TURNER Steve L. (2001). "Reliability is a Culture - Not a Department". En: PMO2000 Training Course Notes. Australia. Disponible en línea en: <http://www.pmo2000.com/downloads>.

TURNER, Steve. (2001). "PM Optimization. Maintenance Analysis of the Future". Paper first presented at the International Conference of Maintenance Societies, Melbourne 2001. Disponible en línea en: www.pmooptimisation.com.au/downloads/comparison_rcm_pmo.pdf.

ULRICH, Dave. (2006). "Recursos Humanos Champions". Quinta Reimpresión, Mayo 2006. Ediciones Granica S.A. Buenos Aires, Argentina.