



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS
"CAMILO CIENFUEGOS"
FACULTAD DE INGENIERIAS QUÍMICA – MECANICA.**

MONOGRAFÍA

TIPOS DE MANTENIMIENTO Y SISTEMAS PARA GESTIONARLOS

Dr: José Luis Ybáñez García

Dra: Teresita Rodríguez Nogueira

Departamento de Química e Ingeniería Química.

Noviembre, 2006

Tipos de mantenimiento y sistemas para gestionarlos.

Autores:

Dr: José Luis Ybáñez García

Dra: Teresita Rodríguez Nogueira

Resumen:

En el presente trabajo se realiza un análisis del mantenimiento y de los Sistemas de Gestión de Mantenimientos más usados, lo cual permitió tener una recopilación de dicha información que servirá como base para el estudio y aplicación de los sistemas de Gestión de Mantenimiento con los correspondientes mantenimientos a aplicar según sea el caso.

Introducción:

En nuestras industrias para garantizar el buen trabajo de los equipos debemos conocer a fondo el estado técnico de las máquinas durante su explotación, así como los métodos y medios que aseguran el aprovechamiento máximo de sus capacidades de trabajo con los mínimos gastos posibles, tanto en sus roturas, como en el diagnóstico adecuado del mantenimiento de los equipos; para darle una mayor utilización, durabilidad y capacidad de trabajo del equipamiento.

La explotación racional de los equipos significa trabajar sin reparaciones costosas, averías y otras interrupciones que desorganizan los servicios y la elaboración de productos, por lo que una explotación adecuada a cada máquina o equipo garantiza a las empresas la posibilidad de aumentar la producción y la productividad del trabajo. Lo cual, respaldado por buenos mantenimientos aseguran mucho más el correcto funcionamiento de los equipos durante el mayor tiempo posible y con el menor gasto por concepto de mantenimiento y consumo de energía.

Por ser el mantenimiento un trabajo en el que algunos de sus resultados solo se obtienen a mediano y largo plazo, es fundamental contar con un personal responsable, suficientemente especializado y motivado, para que de esta forma los programas de revisiones y comprobaciones se lleven a cabo tal como se establece en las fichas correspondientes a cada equipo, sin necesidad de llevar a cabo una supervisión estricta.

A lo largo de la historia han aparecido diferentes Sistemas de Mantenimiento, formas de gestionar los recursos, herramientas para la evaluación de la actividad, para su organización y su gestión de forma general; todo ello en su marco histórico es impulsado por la situación socio-económica del lugar donde ha surgido.

La correcta aplicación de estos sistemas de gestión traerá consigo ahorro de portadores energéticos, una correcta organización y planificación de recursos para el mantenimiento, y de las labores de mantenimiento; elementos que generan impactos favorables al medio ambiente.

1- Mantenimiento

El mantenimiento se puede describir como el conjunto de actividades cuya finalidad y objetivo es conservar todo bien capital en condiciones de eficiencia funcional que le permitan el más alto grado de fiabilidad.

El funcionamiento normal de los equipos y las máquinas provoca su desgaste y afecta el rendimiento, lo que trae consigo la generación de productos fuera de especificaciones, fugas, derramamientos, etc. Todo esto genera una contaminación no despreciable.

La consulta bibliográfica ([Borda, 1995], [Heintzelman, 1988], [La Paz, 1994], [Tavares de C., 1994], [Chávez V. L, 2001], [Sánchez, 1999]) permite clasificar los mantenimientos de la siguiente forma:

1. Mantenimiento Correctivo o A la Rotura
2. Mantenimiento Detectivo o Búsqueda de Fallas
3. Mantenimiento Preventivo o Basado en el Tiempo
4. Mantenimiento Predictivo o Basado en la Condición o por Diagnóstico y Pronóstico técnico
5. Mantenimiento Mejorativo o Rediseños
6. Sistema alternativo de Mantenimiento
7. Sistema Autóctono de Mantenimiento
8. Mantenimiento por Contrata

1.1. Mantenimiento Correctivo o A la Rotura, consiste en el reacondicionamiento o sustitución de partes en un equipo una vez que han fallado, es la reparación de la falla (falla funcional), ocurre de urgencia o emergencia.

Consiste en intervenir con una acción de reparación cuándo el fallo se ha producido, restituyéndole la capacidad de trabajo a la máquina. Concibe también acciones de limpieza y lubricación con carácter preventivo y acorde con recomendaciones del fabricante.

El sistema correctivo no requiere de estudios o investigaciones que justifiquen su accionar, ya que éste no es programado sino eventual, en correspondencia con la aparición de los fallos y deterioros.

Como aspectos positivos se le señalan: la no necesidad de un personal de alta calificación, ni detener las máquinas con ninguna frecuencia prevista, como tampoco velar por el cumplimiento de las acciones programadas.

Como aspectos negativos están: La ocurrencia aleatoria del fallo y la estadía correspondiente en momentos indeseados, la menor durabilidad de las máquinas, su menor disponibilidad y la posible ocurrencia de fallos catastróficos, lo que traería consigo daños ambientales provocando impactos negativos. El sistema correctivo era el más utilizado prácticamente hasta mediados del siglo pasado.

1.2 Mantenimiento Detectivo o Búsqueda de Fallas, consiste en la inspección de las funciones ocultas, a intervalos regulares, para ver si han fallado y reacondicionarlas en caso de falla (falla funcional).

1.3 Mantenimiento Preventivo o Basado en el Tiempo, consiste en reacondicionar o sustituir a intervalos regulares un equipo o sus componentes, independientemente de su estado en ese momento.

Concibe la realización de intervenciones con carácter profiláctico según una programación con el objetivo de disminuir la cantidad de fallos aleatorios. No obstante estos no se eliminan totalmente. Con el accionar preventivo se introducen nuevos costos pero se reducen estos en las reparaciones, las cuales disminuyen en cantidad y complejidad.

Son intervenciones típicas de este sistema la limpieza, ajustes, reaprietes, regulaciones, la lubricación, los cambios de elementos, siempre que sean planificadas previamente.

Las acciones de reparación se pueden clasificar en pequeñas, medianas y generales.

Las reparaciones pequeñas se corresponden con trabajos que se realizan sin desmontar la máquina, pudiendo ser ajustes, regulaciones, limpieza, cambio de piezas de fácil acceso, etc, siempre que se exija una pequeña laboriosidad.

Las reparaciones medias exigen el desmontaje parcial de la máquina, reparando o cambiando piezas deterioradas y ejecutando otras acciones de las mencionadas para reparaciones pequeñas, pero con una laboriosidad mayor.

Durante las reparaciones generales se desmonta y desarma toda la máquina, reparando y cambiando las partes necesarias, así como devolviendo la capacidad de trabajo a un nivel lo más cercano al nominal con costos racionales.

Este sistema requiere de un personal de mayor nivel para ejecutar las investigaciones y estudios que justifiquen las acciones que se programan, su periodicidad y su realización.

El mantenimiento preventivo logra una mayor vida útil de las máquinas y les incrementa su eficiencia y calidad en el trabajo que realizan. Incrementa la disponibilidad, la seguridad operacional y el cuidado del medio ambiente. También garantiza la planificación de los recursos para la ejecución de las operaciones.

Como aspectos negativos se le señalan el costo del accionar obligatorio del plan, las afectaciones en mecanismos y sistemas que se deterioran por los continuos desmontajes para garantizar las operaciones profilácticas y la limitación de la vida útil de elementos que se cambian con antelación a su estado límite, generando residuos que provocan impactos negativos al medio ambiente (Delmar, 1990; Fernández, 1988; Heintzelman, 1988; Morrow, 1991; y Sánchez, 1999).

1.4. Mantenimiento Predictivo o Basado en la Condición o por diagnóstico y pronóstico técnico: Se realiza basándose en un profundo conocimiento del estado real de las máquinas y sus componentes, analizando el comportamiento de ellas mediante controles sistemáticos, periódicos o continuos y actuando solo cuando en los parámetros observados se detectan condiciones anormales. Tiene como objetivo principal evitar reparaciones innecesarias, disminuyendo de esta forma los costos que devienen de los mismos.

Se trata de un mantenimiento profiláctico, pero que no descansa en el cumplimiento de una programación rígida de acciones como las mencionadas en el preventivo. Aquí lo que se programa y se cumple con obligación son las inspecciones, cuyo objetivo es detectar el estado técnico del sistema y la indicación sobre la conveniencia o no de realizar alguna acción correctora. También indica el recurso remanente que le queda al sistema para llegar a su estado límite. (Sánchez, 1999).

Las inspecciones pueden estar programadas y ser cumplidas con cierta periodicidad (monitoreo discreto) o ejecutarse de forma constante con aparatos situados permanentemente sobre la máquina (monitoreo continuo). Este último tiene la ventaja de indicar la acción correctora lo más cercana al estado límite. Sin embargo, no siempre es posible técnica y económicamente establecer el monitoreo continuo. (Memorias XXV Congreso Nacional de Control de la Calidad, 1997; Portuondo, 1989; y Ruiz-Falcó2000).

Los objetivos de este tipo de mantenimiento son:

1. Disminución de averías.
2. Elevar la confiabilidad y seguridad del trabajo de los equipos industriales.
3. Disminución del consumo de piezas de repuesto.
4. Evitar el desmontaje innecesario de agregados o partes del equipo; disminuyendo el factor de riesgo de error humano.
5. Disminución de los gastos laborales en el mantenimiento y reparación de equipos debido fundamentalmente a la disminución de las reparaciones.
6. Ahorro en tiempo en la realización de servicios técnicos, y de hecho en el tiempo de estadía para estos fines, lo que implica una mayor explotación del equipo.

7. Optimizar el ciclo de mantenimiento de los equipos.
8. Alargar la vida útil de los equipos y de los elementos que lo conforman.

Este sistema es el que garantiza el mejor cumplimiento de las exigencias al Mantenimiento en los últimos años pues logra las menores estadías, la mayor calidad y eficiencia en las máquinas, garantiza la seguridad y protección del medio ambiente, reduce el tiempo de las acciones de mantenimiento al indicar las que son realmente necesarias.

Como aspectos negativos se señalan: la necesidad de un personal más calificado, elevado costo de los equipos para el monitoreo.

Un buen diagnóstico técnico es la base fundamental para llevar a cabo el mantenimiento predictivo

Diagnóstico técnico: Es el proceso mediante el cual se determina el estado técnico de un objeto y el estado de sus variaciones por medio de los parámetros o indicadores de diagnóstico previamente establecidos.

En su tesis doctoral (Muñoz, 1996) hace un análisis de algunas técnicas a tener en cuenta para el diagnóstico, muy empleadas en los últimos tiempos, que se detallan a continuación:

1.- La detección de anomalías es la encargada de determinar la presencia de faltas en los componentes que integran el proceso. Se puede definir el término de falta o anomalía en un componente como el estado caracterizado por su inesperada incapacidad, ya sea total o parcial, para llevar a cabo la tarea que tenía encomendada (Pau, 1981).

2.- El aislamiento de anomalías, encargado de determinar el conjunto de componentes del proceso que se han visto afectados por las anomalías detectadas. El proceso industrial ha debido previamente ser descompuesto en un conjunto jerarquizado de componentes, que serán considerados como las unidades funcionales sobre las que se aplican las tareas de diagnóstico.

3.- La identificación de anomalías: que trata de determinar las causas concretas de las anomalías detectadas.

4.- La corrección de anomalías: que trata de corregir en la medida de lo posible las anomalías identificadas, bien mediante la reconfiguración del proceso, bien mediante la emisión de mensajes al usuario.

Los métodos de detección de anomalías que es el que más interesa para el presente trabajo, pueden dividirse según sus principios de operación en cuatro grandes categorías: el alcance de umbrales, los métodos basados en redundancia física, los métodos basados en redundancia analítica, y los métodos basados en criterios estadísticos. A continuación se describe cada uno de ellos, según (Muñoz, 1996)

- **Alcance de umbrales**

La solución más extendida consiste simplemente en comprobar la permanencia de variables individuales dentro de unos límites preestablecidos o umbrales. En caso de sobrepaso de estos límites se activan de forma automática las alarmas correspondientes, quedando en manos del personal encargado la interpretación de las mismas.

- **Redundancia física**

Este método consiste en duplicar físicamente componentes del proceso (como por ejemplo utilizar múltiples sensores para la misma medida, preferiblemente basados en principios distintos), con el fin de poder comprobar la consistencia de los elementos redundantes, y de esta forma realizar la detección de anomalías. El elevado coste que suele acarrear la duplicación física de componentes suele limitar sus campos de aplicación a sistemas críticos de seguridad.

- **Redundancia analítica**

La mayor parte de los trabajos que se están llevando a cabo en estos momentos en el área de detección de anomalías están basados en el principio de redundancia analítica, y son también conocidos bajo el nombre de métodos basados en modelos. Estos algoritmos constan básicamente de dos etapas la generación de residuos, y su posterior interpretación por la lógica de detección. Los residuos son cantidades que miden la inconsistencia entre los valores actuales de las variables y sus valores predichos por los modelos matemáticos de funcionamiento normal. Se calculan a partir de las variables medidas y son idealmente nulos en ausencia de anomalías. La lógica de detección es la encargada de analizar estadísticamente el grado de significación de estos residuos para decretar el estado de anomalía. Como generador de residuos suele utilizarse un modelo dinámico de funcionamiento normal que predice la evolución de una de las variables medidas (salida) en función de la evolución de otras variables medidas (entradas). El error de estimación puede entonces ser utilizado como residuo.

En el caso general de procesos dinámicos no lineales pueden distinguirse básicamente dos tipos de modelos de funcionamiento normal: los modelos físicos y los modelos de caja negra. Los primeros aplican leyes físicas para ligar las variables que intervienen en el proceso. Los parámetros que intervienen en dichas ecuaciones tienen un significado físico, de tal forma que el conocimiento queda explícitamente reflejado en ellas. Sin embargo la obtención y utilización de estos modelos no siempre es posible. En primer lugar la complejidad de los procesos que hay que modelar hace que su modelado físico sea muy costoso e incluso una vez obtenido el modelo, el tiempo de cálculo necesario para su evaluación puede hacerlos inutilizables para una aplicación en tiempo real como es el diagnóstico. Por otro lado los modelos físicos requieren datos de diseño que conlleva a dos problemas. En primer lugar resulta difícil y en ocasiones imposible extraer todos los datos necesarios de la documentación de diseño. En segundo lugar la experiencia demuestra que el comportamiento real de los componentes dista mucho de lo predicho por los datos de diseño.

Los modelos de caja negra están basados en criterios estadísticos capaces de modelar las relaciones existentes entre un conjunto de entradas y otro de salidas. Estas variables externas son variables físicas, pero el resto de variables y parámetros envueltos en el modelo puede no tener significado físico. Los parámetros del modelo se ajustan a partir de un conjunto de medidas reales que caracterizan el comportamiento del proceso en condiciones de normalidad. Los modelos de caja negra basados en criterios estadísticos clásicos presuponen un comportamiento lineal del proceso, y se limitan a ajustar los parámetros de modelos lineales para dar forma a la relación de entrada y salida.

Esta limitación plantea la necesidad de establecer una metodología clara de modelado que permita generar de forma automática una relación funcional, en general no lineal, que se adapte al conjunto de medidas representativo del comportamiento normal del proceso.

El resurgimiento de las técnicas conexionistas, y en concreto el de las Redes Neuronales Artificiales (RNA) supervisadas, trajo consigo el desarrollo de nuevos aproximadores funcionales no lineales con extraordinarias capacidades de representación y adaptación. Estas nuevas herramientas han servido como base para la extensión de la teoría clásica de identificación de sistemas al campo no lineal.

Se puede decir que las RNA se presentan como una herramienta de aproximación funcional a tener en cuenta en todo problema de identificación de sistemas con

características no lineales. Estas características han multiplicado el número de aplicaciones de RNA a la detección y aislamiento de anomalías basados en modelos.

Métodos basados en criterios estadísticos

Además de los métodos de detección de anomalías basados en modelos estadísticos de caja negra, existen otras filosofías de detección de anomalías, que analizan de forma estadística los datos recogidos en continuo. Entre ellas cabe destacar:

- **El análisis de tendencias**

Este método trata de detectar tendencias sistemáticas crecientes o decrecientes que alejan el comportamiento actual de determinadas variables características de su comportamiento esperado en condiciones de funcionamiento normal.

- **Reconocimiento de patrones**

Los sistemas basados en reconocimiento de patrones tratan la detección de anomalías como un problema de clasificación de los vectores de características que definen el estado y la evolución del proceso, en el espacio de posibles faltas (“situación normal/situación anómala del tipo x”). De esta forma comparan la evolución presente del proceso con la evolución que típicamente muestran algunos tipos de fallos, con el objetivo de averiguar las posibles semejanzas y de ahí advertir de la posible anomalía. Estos métodos son especialmente recomendables cuando se puede construir, ya sea mediante simulación o mediante acceso a un registro histórico, un diccionario de fallos donde queden reflejados los síntomas típicos de determinados fallos. Existen varios métodos clásicos de clasificación, como el clasificador de Bayes (Fukunaga, 1972) o el de los k-ésimos vecinos más próximos (Dasarathy, 1991]), pero el método de reconocimiento de patrones que actualmente está siendo más investigado en el campo del diagnóstico es el basado en Redes Neuronales Artificiales (Hoskins & Himmelblau, 1988), (Watanabe, 1989), (Ebron., 1990), (Leonard & Kramer, 1991-1993). La mayoría de las aplicaciones de RNA al diagnóstico publicadas hasta la fecha siguen esta filosofía. Sin embargo estos métodos están dando paso a los métodos basados en modelos conexionistas de funcionamiento normal, debido fundamentalmente a la dificultad encontrada a la hora de construir el diccionario de fallos, y a los avances realizados en la identificación de sistemas no lineales.

- **Métodos de control de calidad**

Estos métodos caracterizan de forma estadística el funcionamiento normal del proceso, y utilizan técnicas de control de calidad (Duncan, 1974), (Motgomery, 1985) como los

cuadros de control de la media y de rangos para detectar desviaciones significativas (Sanz Bobi, 1994-2).

De todos estos métodos de diagnóstico en este trabajo se hace uso de los métodos basados en criterios estadísticos: descripción estadística de las variables y análisis de la tendencia de la misma en su comportamiento.

En la actualidad se está utilizando mucho el diagnóstico a través de aplicar redes neuronales artificiales por lo que se hace referencia a ello a continuación.

Las redes neuronales y el mantenimiento predictivo

Las redes neuronales artificiales son una representación del cerebro humano que intenta simular su proceso de aprendizaje. El término artificial indica que las redes neuronales se implementan en un ordenador capaz de realizar el gran número de operaciones que conlleva el proceso de aprendizaje.

Componentes de una red neuronal artificial.

Aunque hay una gran variedad de redes neuronales, todas ellas tienen una estructura común. Al igual que en el cerebro humano, una red neuronal está formada por neuronas y las conexiones entre ellas. Las neuronas intercambian información entre ellas a través de las conexiones que las unen. Estas conexiones están caracterizadas por un parámetro llamado peso y que sirve para dar más importancia a unas conexiones frente a otras.

A continuación se puede ver, en la Figura 1.1, un esquema de una red neuronal (Match, 2001):

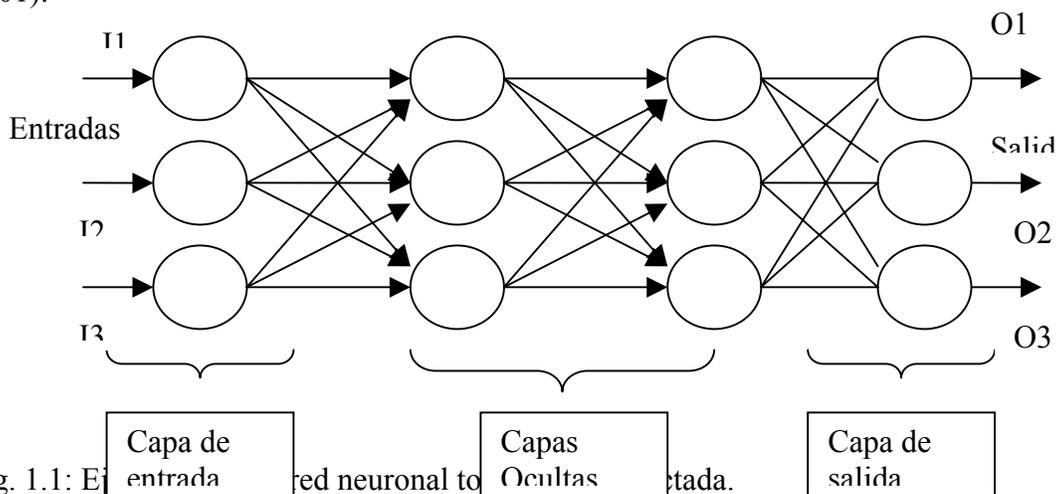


Fig. 1.1: Esquema de una red neuronal artificial.

La información le llega a la neurona a través de las entradas después de ser procesada mediante los pesos. Estas entradas son sumadas y el resultado procesado por una

función de activación. Esta función de activación puede tomar diversas formas, la función lineal y las funciones sigmoides son las más habituales. El valor resultante de la función de activación es la salida de la neurona y es enviada a todas las neuronas a las que su salida está conectada.

En una red neuronal las neuronas están agrupadas en capas. Generalmente cada neurona está conectada a todas las neuronas de la capa siguiente. La información enviada a una red es propagada capa a capa desde la capa de entrada hasta la de salida. Puede haber conexiones que conduzcan la información hacia atrás. Las conexiones entre capas también están afectadas por pesos. El proceso de aprendizaje de una red consiste en la adaptación de los valores de los pesos al problema en cuestión. Esto se hace mediante el llamado algoritmo de entrenamiento.

Usos de las redes neuronales (Matich, 2001)

- Asociación de patrones
- Clasificación de patrones
- Detección de regularidades
- Procesamiento de imágenes
- Análisis del habla
- Problemas de optimización
- Guía de robots
- Predicción de series temporales
- Modelado y simulación

Existe una gran variedad de redes neuronales, y cada una se adapta mejor a un tipo de problema u otro. Puede decirse que son un sistema muy flexible para resolver problemas. Una característica destacable es la tolerancia a errores. Esto quiere decir que si una red neuronal ha sido entrenada para un determinado problema, puede proporcionar una solución correcta aunque las entradas sean diferentes de las que se usaron en el entrenamiento.

En el campo del mantenimiento predictivo las redes neuronales pueden ser empleadas de diversos modos. Pueden usarse para modelar el sistema en cuestión, de modo que pueda hacerse una comparación entre las salidas del sistema y las de la red neuronal. Las discrepancias pueden ser un indicativo de un funcionamiento anómalo del sistema. También puede usarse su capacidad para discernir la pertenencia a una clase u otra de los datos que llegan a la red. Otra manera de emplear las redes neuronales es predecir las salidas futuras de una señal determinada, de manera que sea posible anticiparse a los fenómenos que pudieran ocurrir en el sistema.

Ejemplo de aplicación de las técnicas de redes neuronales con el fin de mantenimiento se pueden mencionar los trabajos siguientes: Aplicación de técnicas de inteligencia artificial en el mantenimiento de aerogeneradores (García, 2002), Mantenimiento y monitoreo inteligente en plantas de energía, de colectivo de autores de la universidad de Patras (Kalles, 2001), Desarrollo de sistemas inteligente híbridos para el monitoreo en línea de la operación de plantas de energía nuclear , de colectivo de autores del Instituto Tecnológico de Cambridge, USA (Yildiz, 2002), Mantenimiento predictivo basado en condición de sistemas de energía industrial (Azam M, 2002), Técnicas avanzadas para el diagnóstico on line de procesos industriales (Díaz, 2002).

1.5.Mantenimiento Mejorativo o Rediseños, consiste en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o instalación. No es tarea de mantenimiento propiamente dicho, aunque lo realiza el personal de mantenimiento.

1.6. Sistema alterno de Mantenimiento: No es un nuevo sistema, sino la aplicación de los anteriores en una misma industria y hasta en una misma máquina. Este sistema trata de materializar todas las ventajas de los sistemas correctivo, preventivo y predictivo y eliminar en lo posible sus desventajas, aumentando la efectividad del mantenimiento. El sistema alterno es uno de los métodos de mantenimiento más complejos y dinámicos, ya que es el que más características del equipo comprende ([Portuondo, 1989], [Portuondo, 1994], [Sánchez, 1999] y [Tavares de C., 1994]).

1.7.Sistema Autóctono de Mantenimiento: Es un tipo de mantenimiento al que en la actualidad se le está concediendo importancia en los países desarrollados, ya que la mayoría de las roturas (60%) son provocadas por malas operaciones; por lo que educar a los operarios en este sentido es una forma de evitar posibilidades de fallos, pues nadie

conoce mejor un equipo, que su propio operario; además, la aplicación al equipo de una reparación pequeña por parte del operador (esto con la previa información al jefe de mantenimiento para que el mismo tenga conocimiento que se le hizo) aliviaría el trabajo al personal de mantenimiento, el cual podría cumplimentar otras tareas de mayor envergadura e importancia.

1.8.Mantenimiento por Contrata: Se basa en el empleo de personal externo a la empresa, para ciertos trabajos de mantenimiento o en períodos de fuertes cargas de trabajo; así como, para los cometidos que requieren equipos y técnicas especiales durante cortos períodos de tiempo. La utilización de una u otra fórmula se valora de acuerdo a las necesidades que se presentan. Para que estas fórmulas tengan éxito, es preciso contratar a aquellas empresas que además de ofrecer una buena técnica, tengan la posibilidad del servicio en cuanto se le demande. Este servicio, si es bien fiscalizado y revisado, trae mejoras considerables en el funcionamiento del equipo y ahorros por concepto de personal, el cual puede emplearse en otras tareas; además disminuye los costos de mantenimiento y el *stock* de piezas de repuesto en almacenes, y por tanto los costos de inventario.

Cuando las condiciones de las instalaciones industriales en cuanto a instrumentación, operación, control y adquisición de datos están dadas o requieren de una inversión posible a implementarse, el mantenimiento más adecuado y saludable para cualquier equipo es el predictivo, pues es el que se le brinda al equipamiento cuando realmente lo necesita, lo que hace que la operación sea más eficiente.

2- Los Sistemas de Gestión de mantenimiento

En función de los tipos de mantenimiento se han desarrollado en el mundo diferentes formas de gestión del mismo, según (Arencibia, 1990; Borda, 1995; García, 1992; Hill, 1990; Kroner, 1994; Nakajima, 1991; Nakajima, 1989; Sánchez, 1999; y Tavares, 1994), estas son: (las siglas en inglés)

- Mantenimiento productivo total (TPM).
- Calidad total (TQM).
- Mantenimiento basado en el riesgo (RBM).
- Justo a tiempo (Just in Time Maintenance) (JTM).

2.1. Mantenimiento Productivo Total.

TPM o Mantenimiento Productivo Total es realizado por todos los empleados a través de actividades de pequeños grupos, cuyas metas son: cero demora, cero defectos, cero pérdidas por baja velocidad y mínimo costo de ciclo de vida (Campos, 1998; Morrow, 1991; y Sánchez, 1999).

El apoyo que da el TPM a la Administración por valor agregado es:

- En el proceso, apoya a JIT (Justo a Tiempo), asegurando el funcionamiento óptimo del equipo.
- En los trabajadores incrementa la motivación y las habilidades; involucra apropiadamente todos los niveles, se vale de grupos pequeños interfuncionales.
- En la calidad, provee estrategias para lograr cero defectos.
- En el equipo, incrementa la disponibilidad y el desempeño, reduce costos mediante mejores diseños, aumenta el ciclo de vida y mejora la administración de las áreas de mantenimiento.

La ventaja del TPM se ve al minimizar el costo y maximizar la efectividad del equipo a través de la prevención de las pérdidas, el incremento de la contribución de los empleados en la detección de problemas, la solución de los mismos, así como la mejora de los equipos y la administración del ciclo total de vida.

En el TPM se reconocen seis grandes pérdidas agrupadas en tres criterios:

| | |
|------------------------------|--|
| PÉRDIDAS POR PAROS | 1. Fallas de equipo. |
| | 2. Arranques y ajustes. |
| Pérdidas por velocidad | 3. Paros menores y equipos ociosos. |
| | 4. Reducción de velocidad. |
| PÉRDIDAS POR DEFECTOS | 5. Defectos en el proceso. |
| | 6. Reducción de rendimiento. |

Identificando las seis Grandes Pérdidas, la efectividad del equipo mide el valor agregado a la producción por el equipamiento, a través de dos tipos de mejoras:

- Cuantitativas: Aumenta la disponibilidad total del equipo.
- Cualitativas: Reduce el número de defectos, mejorando la calidad del producto.

El último alcance de TPM es aumentar la efectividad del dispositivo en cada pieza del equipo a su máximo potencial y mantenerse en ese nivel. La maquinaria debe funcionar constantemente bajo condiciones óptimas, basadas en sus límites (desempeño de diseño) con cero fallas y cero defectos.

Aún cuando llegar a cero fallas es difícil, luchar por la meta y creer que se puede alcanzar produce grandes beneficios.

Estas son sugerencias de metas de mejoramiento para los seis tipos de pérdidas:

| TIPO DE PÉRDIDA | META | OBSERVACIÓN |
|---|-------------|---|
| 1. Pérdidas por falla. | 0 | Reducir a cero para todo el equipamiento. |
| 2. Pérdidas de ajuste y arreglo. | Minimizar | Reducir ajustes a menos de 10 minutos. |
| 3. Reducción de velocidad | 0 | Llevar la velocidad actual de operación a la de diseño y luego hacer mejoras para superar la de diseño. |
| 4. Pérdida por ocio y paros menores. | 0 | Reducir a cero en todo el equipamiento. |
| 5. Defectos de calidad y pérdidas de reproceso. | 0 | Ocurrencias extremadamente pequeñas, aceptables. |
| 6. Pérdidas de rendimiento. | Minimizar | |

Algunos factores claves para la exitosa implementación del TPM

- Empeño Administrativo
- Administrador TPM (dedicado).
- Un proceso de implementación bien definido.

- Un acercamiento como equipo.
- Tareas identificadas en el nivel más bajo (no dedicadas a la administración).
- Entrenamiento desarrollado por operadores y personal de mantenimiento.
- Un plan administrativo para reconocer y reforzar comportamiento y resultados.

2.2 .Calidad Total

Al igual que otros aspectos de la empresa, la calidad debe ser objeto de gestión. Diversos autores han insistido en que la calidad puede y debe ser planificada siguiendo pautas, principios o programas. (Bonetto, 1994; Flores,.,2000; IMECCA,.,1998; y Memorias XXV Congreso Nacional de Control de Calidad, 1997)

Principales aportaciones efectuadas por teóricos de la calidad.

- Trilogía de la calidad (Joseph M. Juran)
- Ciclo Peca o Ciclo Deming (W. Edwards Deming)
- Cero defectos (Philip Crosby)
- Círculos de calidad (Karou Ishikawa)
- Cinco "s" de Kaizen (Instituto Kaizen)

Herramientas y técnicas cualitativas y no cuantitativas para la solución de problemas.

1. Recolección de datos.
2. Lluvia/Tormenta de ideas (Brainstorming).
3. Diagrama de Pareto.
4. Diagrama de Ishikawa.
5. Diagrama de Gantt.
6. Entrevistas.

La experiencia de los especialistas en la aplicación de estas herramientas señala que bien utilizadas y aplicadas, con la firme idea de estandarizar la solución de problemas, los equipos pueden ser capaces de resolver hasta el 95% de los problemas.

2.3 Mantenimiento basado en el riesgo

La mayoría de las operaciones industriales y empresariales giran en torno al riesgo. Casi todo lo que se hace involucra probabilidades y consecuencias. El futuro nunca es predecible en un 100%, y hay muchos factores que contribuyen con esta incertidumbre. El riesgo debe ser evaluado y debe estar controlado con niveles de aceptación.

Método Hazop

El método Hazop (Hazards and Operability), cuestiona en forma metódica y sistemática la operabilidad de los componentes de un sistema, presuponiendo que dichos componentes están diseñados para operar en forma correcta y que los riesgos sobrevienen cuando la intención de diseño de los mismos no se cumple.

El Hazop, a su vez, requiere de la interacción de un grupo interdisciplinario, que a través de su conocimiento de la planta y del proceso, así como de los fenómenos físicos y químicos involucrados, revelará las entrañas del proceso y su comportamiento bajo diferentes circunstancias. El Grupo de Análisis de Hazop selecciona el sistema y le aplica una serie de “palabras guías”, que representan fallas de intención de diseño de las partes del sistema, identifica posibles causas de dichas fallas y determina sus consecuencias como un evento de riesgo. Ocasionalmente no se puede resolver ningún punto de inmediato, en cuyo caso el Grupo de Análisis se dedica a investigar la cuestión para volver a atacarlo con más información.

El Hazop, es un método que analiza de arriba hacia abajo todo el proceso, iniciando con un examen de las desviaciones de los parámetros que pueden ser causadas por fallas o errores de operación, debido a que el Hazop se lleva a cabo por medio de un trabajo de equipo, su profundidad y objetividad dependerá de la habilidad del líder del grupo de análisis para mantener la independencia y objetividad de sus miembros.

Este método se aplica mediante la interacción de un grupo interdisciplinario de análisis, integrado esencialmente por personas experimentadas en el proceso en las siguientes áreas de la planta:

| | |
|----------------------|---|
| Ingeniería | Proyectos, cambios de diseño o modificaciones de planta. |
| Producción | Procedimientos y condiciones de operación. Experiencias en el proceso. |
| Mantenimiento | Inspección de equipos y sistemas, pruebas y mantenimiento. |
| Ing. Procesos | Detalles técnicos de procesos y equipos, |
| Seguridad Industrial | Seguridad, prevención de pérdidas, seguridad en procesos y salud ocupacional. |

Usualmente se programarán dos sesiones, de tres horas cada una, por semana, en las que el Grupo de Análisis aplicará metódicamente la técnica de “tormenta mental”, cuestionando la intención de diseño de cada parte o componente de un sistema previamente seleccionado, con el propósito de identificar riesgos que no han sido reconocidos con anterioridad. En la aplicación del método no se permiten “atajos”, ya que el éxito del mismo depende de la revisión sistemática de cada una de las partes o componentes del sistema estudiado. Esto convierte al Hazop en un método más pesado, que requiere de una mayor dedicación de parte de los miembros. (Duran,2000; y Hazop,1991).

2.4 .Mantenimiento justo a tiempo.

El objetivo del Just in Time es el stok cero con un 100 % de calidad, se trata de una sincronización entre el proveedor y el sistema de producción del cliente, para que los excesos de stoks sean innecesarios.

La puesta en marcha efectiva del JIT debe dar lugar a tiempos y a stocks reducidos, con un incremento de la calidad, productividad y adaptabilidad a los cambios. Este trae cambios fundamentales en la práctica de compra de las empresas y en las formas, sistemas y organización de los servicios de mantenimiento que prestan las empresas, lo mismo a clientes externos como a clientes internos.

Algunas ventajas son: Control estricto de la calidad, entrega frecuente y fiable, patrones de producción estables, aprovisionamiento único, relación estrecha entre los proveedores y sus clientes industriales, etc.

Todas estas técnicas tienen conceptos comunes, que sin duda son la base del éxito de su aplicación, y sus diferencias radican fundamentalmente, en la forma de desarrollar los mismos. (Arencibia, 1990). Entre ellos tenemos los siguientes:

1. Participación.
2. Integración.
3. Focalización de esfuerzos.
4. Simplicidad.
5. Mejoramiento continuo.

Participación: Este concepto es de gran importancia, y tiene que ver con la activa participación de todos los niveles de organización como único camino para lograr eficiencia y resultados exitosos. En el caso del mantenimiento, la participación debe darse, por ejemplo, en los procesos de mejoramiento continuo y uso de herramientas como la computación. En especial se debe integrar, también, al proceso de mantenimiento al operador de equipos, como diagnosticador y como mantenedor (efectuando actividades de mantenimiento de baja especialización), este último se conoce con el nombre de mantenimiento autónomo.

Integración: Aquí cada área tiene sus propios recursos para el mantenimiento (descentralizado) y la jefatura de cada proceso es responsable del mismo, así como de la operación de los equipos (integración mantenimiento-operación).

Focalización de los esfuerzos: Se trata de destinar los recursos y, en general los esfuerzos, a los pocos problemas que provocan la mayor parte de las pérdidas. Este proceso requiere de un constante análisis de información para poder detectar cuáles son los focos críticos. La información a rescatar y a analizar por la organización, debe orientarse a medir las pérdidas y controlar sus causas, para conocer permanentemente las eficiencias logradas y poder tomar decisiones oportunas para mantenerlas a los niveles deseados.

Simplicidad: Es sabido que los procesos simples son los que más fácilmente perduran en el tiempo, y a través de los cuales se logran los mayores beneficios. Luego, en todo análisis o recomendación es necesario buscar la simplicidad, evitando implementar procesos engorrosos o sofisticados, cuyos beneficios son marginales.

Mejoramiento continuo: Al mejoramiento continuo de equipos le corresponde la tarea de analizar las pérdidas y definir soluciones técnicas para disminuirlas; entre las que podemos encontrar modificaciones a la instalación buscando mejoras técnicas y energéticas, cambio de materiales y calidades de repuestos; modificaciones de períodos o tipos de mantenimiento. Para que este proceso sea realmente continuo, es necesario destinarle atención y recursos permanentes. Debe constituir una función formalizada y presente, en todo momento, en la organización; y no debe realizarse sólo en forma esporádica. El mejoramiento continuo es una estrategia ampliamente probada en el mantenimiento moderno, comprobándose que los recursos destinados a este proceso son los que producen los mayores beneficios.

Potencialidades de mejora: En términos prácticos la entrega de una capacidad productiva significa la entrega de tiempo disponible para operar a capacidad nominal los equipos o instalaciones. Luego, para mejorar la efectividad, es necesario controlar las pérdidas de este tiempo disponible. En este sentido podemos citar las siguientes:

- a) Pérdidas por intervenciones para un mantenimiento.
- b) Pérdidas por ajuste de equipos para cambio de producto.
- c) Pérdidas por la necesidad de reprocesar o sustituir productos defectuosos.
- d) Pérdidas por trabajo de los equipos por debajo de sus condiciones nominales. (Ejemplo baja velocidad).
- e) Pérdidas por detecciones menores, típicamente de corta duración, alta frecuencia y solucionadas por el operador.

En la medida en que el personal de mantenimiento logre controlar estas pérdidas, obtendrá por consecuencia, efectividad y eficacia en su labor. Las potencialidades de mejora llevan, en definitiva, a disminuir las definidas y los costos, logrando así efectividad y eficiencia en el mantenimiento. (Nakajima, 1991; y Sánchez, 2001).

Dichas potencialidades de mejora son las listadas a continuación:

- 1) Preparación de mantenedores y operadores.
- 2) Sistema de información.
- 3) Mejoramiento continuo.
- 4) Mantenimiento autónomo.
- 5) Descentralización e integración organizacional.
- 6) Políticas de mantenimiento.
- 7) Control de existencias de repuestos.
- 8) Ahorro de energía.

- 9) Mantenimiento por contrata.
- 10) Mantenimiento asistido por computadora.
- 11) Análisis permanente de los indicadores de costo.

Estas potencialidades son las que están siempre presentes, suficientes para lograr el éxito en cualquier tipo de empresa. La relevancia que ha adquirido el mantenimiento en las últimas décadas ha puesto esta función en la mira del nivel ejecutivo de las empresas, viéndolas como una potencialidad de mejora para lograr mayor competitividad. Dentro de este escenario, la inquietud de los mantenedores se ha centralizado en conocer su situación actual y cómo esta puede ser mejorada. La herramienta que permite resolver dicha interrogante es la realización del diagnóstico de mantenimiento.

2. 5. Sistema de Gestión por computadoras. Macwin.

En Cuba se conoce el Macwin (Navarrete, 1998), el cual parte de la idea de automatizar todas las funciones que comprenden la gestión del mantenimiento de una empresa cualquiera, ya sea su tamaño o su ámbito de actuación; esto se logra con una base de datos estándar que contempla en detalles el accionar de cada zona, departamento, taller, etc, dentro del área de mantenimiento; con un manejo optimizado y flexible de la información de entrada y salida. La capacidad de obtener una visión técnico-económica global a partir de la información procesada en las distintas opciones, es una herramienta de suma importancia, concebida para ayudar en la resolución de problemas técnicos y de gestión de mantenimiento. En conjunto, es un método de Gestión del Mantenimiento Asistido por Computadora, simple y sistemático para organizar, estructurar y analizar la información; y contribuir, desde el mantenimiento, a una mejora continuada.

2.6. Sistema de Gestión Mantenimiento Productivo Integral.

En Cuba no es aplicable cualquier Sistema de Gestión del Mantenimiento, por las características de la economía de este país, las relaciones con los proveedores, el ambiente externo marcado por el bloqueo económico y la falta de conciencia en algunos directivos de la importancia del mantenimiento. Es por ello que el Grupo de Investigación de Mantenimiento y Ahorro de Energía de la Universidad de Matanzas se dio a la tarea, en el año 1995 de diseñar un Sistema de Gestión del Mantenimiento que

integrara armónicamente todas las técnicas y experiencias positivas que permitieran una elevación cualitativa de la gestión de mantenimiento adaptadas a las condiciones del país. Su aplicación se ha llevado a cabo en diferentes instalaciones hoteleras, donde a pesar de los esfuerzos realizados, la tecnología que poseen las mismas, y los recursos que se disponen para mantenerlas en buen estado, presentaban el grave problema del mantenimiento; el cual, a su vez, confrontaba la situación de la falta de materiales, poca experiencia en la planificación, control y gestión; trayendo como consecuencia, que se eleven los costos por este concepto; además, no reflejan vínculo alguno con los sistemas de gestión ambiental, y por la importancia que la dirección de la nación le ha dado, en los últimos años a la misma, debido al desarrollo acelerado que ha logrado, y el interés por parte de la Dirección de estas instalaciones, de darle al Departamento de Mantenimiento el lugar que le corresponde, como eslabón principal para lograr la máxima disponibilidad de todos sus servicios. A este Sistema de Gestión se le ha denominado Mantenimiento Productivo Integral (Sánchez y Valentín, 2002).

Para el diseño de este sistema de mantenimiento se ha trabajado en tres niveles fundamentales:

- Alta dirección.
- Dirección de mantenimiento
- Sistema Físico.

Alta Dirección.

En él se establecen las estrategias y políticas básicas de la Empresa en función de las oportunidades del mercado sin olvidar la vocación y la competencia. Las decisiones estratégicas elaboradas en este nivel son a plazo medio-largo.

Apuntando hacia el Subsistema de Mantenimiento se hallan algunas de esas Decisiones Corporativas, influenciadas por la comprensión de la importancia del Mantenimiento y las tecnologías disponibles. Los planes de Mantenimiento a largo plazo se establecen, a partir de la estimación de las necesidades y oportunidades del producto, en función de la evolución del entorno, de la vocación de la organización, de los productos-mercados fijados como objetivos en la Política Comercial, del Presupuesto otorgado y de la disponibilidad de tiempo y medios para realizar el mantenimiento.

Un buen plan de mantenimiento empieza por conocer qué instalaciones y máquinas son clave para el objetivo de la organización. Luego hay que conocer el estado de dichas instalaciones, a continuación se diseña el plan, adaptando el Departamento de

Mantenimiento a esta táctica. La táctica precede a la estrategia. Todo esto es consecuencia de las directrices marcadas por la dirección de la empresa. Es la alta esfera directiva quien debe transmitir esta necesidad, dando los medios adecuados para que el personal participe en la implantación de la misma.

La competitividad de la empresa en términos de mantenimiento se traduce en reducir gastos, a la vez que se aumenta la disponibilidad de los equipos y su vida útil. (Ruano, F.1997).

Dirección de Mantenimiento.

En este nivel se encuentran las decisiones relacionadas con el funcionamiento y control del sistema. Se planifican de las operaciones, se elaboran los Planes de Mantenimiento, es necesario, en primer lugar, definir las políticas de Mantenimiento a seguir con el equipamiento, para ello el Mantenimiento Productivo Integral, utiliza el **Sistema de Mantenimiento Alterno.**

. Sistema de Mantenimiento Alterno.

Este sistema trata de materializar todas las ventajas de los sistemas de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo para eliminar en lo posible sus desventajas, aumentando la efectividad del mantenimiento.,

El sistema alternativo es uno de los métodos de mantenimiento más complejos y dinámicos, ya que es el que más características del equipo comprende (Portuondo, 1989; Sánchez, 1999; y Tavares, 1994). Este sistema se basa en el grado particular de importancia que posee cada máquina en la instalación donde se explota, y por ello los equipos se pueden clasificar a través del Método de Diferenciación en:

1. Principales o fundamentales: Son los equipos que requieren de una atención esmerada por ser máquinas complejas y de alto consumo de energía, y cuya interrupción puede causar serios problemas en el funcionamiento o servicio de la instalación. Generalmente coinciden en que son los equipos más costosos.
2. Secundarios o convencionales: Son los equipos que poseen un menor grado de importancia con respecto a los principales, sirven de respaldo a los servicios o la producción, y no influyen directamente en estos si sufren alguna rotura o interrupción, pero que si ésta se repite con frecuencia, o sale de servicio mucho tiempo producto de la avería, puede repercutir en las ofertas, la producción, o

afecta directa o indirectamente a los huéspedes. Económicamente le sigue en costos de inversión y funcionamiento a los equipos fundamentales.

3. Auxiliares: Son los equipos de menor grado de importancia, menor índice de roturas, además su rotura no provoca problemas graves al servicio, y, sólo a veces, ligeras molestias a los huéspedes. Son los equipos menos costosos, sus averías son fáciles de resolver. En ocasiones se hace más factible sustituirlas por un elemento o equipo nuevo, que repararlas.

Atendiendo a las clasificaciones de los equipos para la selección del sistema alternativo de mantenimiento existen diferentes métodos (Marín, 1994), entre ellos tenemos:

- a) Método según las características del equipo.
- b) Método de diferenciación de las máquinas.
- c) Método productivo total, a partir del principio de Pareto.
- d) Método del modelo de decisión.

Sistema Físico.

En el nivel más bajo del esquema se encuentran las operaciones, el funcionamiento día a día, la transformación de las entradas en salidas, acompañado de las decisiones de control.

Es aquí donde los recursos humanos, materiales y energéticos se emplean para ejecutar las acciones encaminadas a mantener los equipos e instalaciones disponibles para su uso. Como consecuencia de estas actividades se obtienen los llamados desperdicios que van a parar al ambiente; es aquí donde el mantenimiento juega un papel fundamental en la repercusión positiva sobre el medio ambiente; es donde el hombre, materiales, la disponibilidad en los servicios y el uso racional de la energía permitirán lograr un mantenimiento sostenible.

Conclusiones:

En el presente trabajo se exponen los diferentes tipos de mantenimiento, se describen las características de los mantenimientos clásicos correctivos, preventivos y predictivos y del sistema alternativo de mantenimiento que se basa en la combinación de los anteriores en una misma empresa y hasta en una misma máquina.

Se exponen también los diferentes sistemas de gestión de mantenimiento que más se están utilizando en el mundo para proporcionar las vías para hacer más óptimo el mantenimiento.

Bibliografía:

Acape, A.E. 1994. Administración del Mantenimiento Productivo total (M.P.T). México. Edit. Halm.

Aurrecoechea, A., 1995. Innovación Tecnológica en Mantenimiento Predictivo, SEDA. Revista El Papel, pp 50 a 56, julio – agosto.

Arencibia, I. 1990. Las actuales técnicas de Mantenimiento. Siderurgia latinoamericana (Argentina) 16 (4), pp 47-50.

Azam M, 2002. Mantenimiento predictivo basado en condición de sistemas de energía industrial.

Basco Ricart, F. 1991. Mantenimiento contratado. Mantenimiento (España) No 52, pp 5- a 7, Noviembre- Diciembre.

Chávez V. L, 2001, “Diseño y Aplicación del Sistema de Mantenimiento Productivo Integral”. Tesis de Maestría. UMCC.

Durán, J. B. Mantenimiento, Gerencia de Riesgo [en línea] 2000. Disponible en: [www.ictnet.es\subcrips\tprod](http://www.ictnet.es/subcrips/tprod). [Consulta: Marzo 2001]

Fernández, J. R. 1988. Sistema de mantenimiento preventivo planificado. Edit. Pueblo y Educación.

García P, O. 1992. El Mantenimiento Productivo Total, necesidad inminente de la Industria Nacional. Revista Gotera Científica (Scientific Leak) #2. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Seccional Duitama.

González, 2002. Metodología Para Seleccionar Sistemas de Mantenimiento. Revista N°8, Marzo 2002. www.mantenimientomundial.com

Heintzelman, J. E. 1988. Manual de la Administración del Mantenimiento. Florida .Edit. Lineal Publishing Company, Fort Lauderdale. 150 pp.

Marín, J.1994. Selección de criterios de Mantenimiento. Revista de Mantenimiento #16. Chile. Enero, Febrero, Marzo.

Martínez Fernández, Pablo y Miguel Hernández, 1996, “Las técnicas modernas del mantenimiento predictivo aplicado a la industria azucarera”. Memorias del II Taller Internacional de Mantenimiento Industrial TIMANTE'96, publicado en conjunto con la Universidad Industrial de Santander, Colombia. Universidad de Matanzas, 28 y 29 de junio de 1996.

Memorias XXV Congreso Nacional de Control de Calidad. 1997. Guadalajara, Jalisco, México, 1 – 4 Octubre de 1997.

Muñoz San Roque Antonio, 1996, "Aplicación de técnicas de redes Neuronales artificiales al diagnóstico de Procesos industriales", Tesis doctoral, Madrid

Morrow C,L. 1991. Manual de mantenimiento industrial. Edit. Continental S.A. México.

Nakajima S. 1991. Introducción al mantenimiento productivo total. Japón. Edit. Institute for plant maintenance. 127 p.

Navarrete Pérez, E. y otros 1998. Manual de Usuario del MacWin. Edit. ISPJAE.

Paz, E. 1994. Tecnología para la implantación de un sistema alternativo de mantenimiento. Ingeniería industrial (CU) Vol. XV, No. 1, pp. 15 a 19.

Parjomenkov R . P., 1969, “Sobre el diagnóstico técnico”. Edit Znanie Leningrado, pp. 38 a 55.

Primera Marín E, 2002. “El Mantenimiento Predictivo como Parte de la Confiabilidad Operacional”. Revista N°8. Marzo. Revista electrónica Mantenimiento en WWW.mantenimientomundial.com

Portuondo Pichardo, F. 1989. Sistema Alternativo de Mantenimiento. Fundamentos y Perspectivas. IPSJAE.

Rodríguez, C., 1990, “Aplicación del diagnóstico y pronóstico del estado técnico al mantenimiento de generadores de vapor en la CTE Antonio Guiteras”. Tesis doctoral, ISPJAE.

Ruano, F. y otros. 1997. ¿Qué pasa con el Mantenimiento? Manutención y Almacenaje. No 319, pp 48-58, Octubre.

Sánchez A. J. L, 1999, “Desarrollo y aplicación del diagnóstico y pronóstico técnico al mantenimiento de los sistemas centralizados de aire acondicionado”, Tesis doctoral, Universidad de Matanzas.

Sánchez Ávila, J. L. 1997. Mantenimiento Productivo Total. Trabajo de diploma (en opción al título de Master en termoenergética) Universidad de Matanzas, 110 pp.

Sánchez Ávila, J. L y Valentín García, J. 2001. Aplicación del Mantenimiento Productivo Integral en instalaciones turísticas. Retos Turísticos. (CU)Vol1 No 0, pp 28 -32.

Tavares Lourival, A. Administración Moderna del Mantenimiento. [en línea] 2001.
Disponible en: [http:// www.datastream.net](http://www.datastream.net).