

## EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL Y SU APLICABILIDAD INDUSTRIAL

ING. OLIVERIO GARCÍA PALENCIA

[oligar52@yahoo.com](mailto:oligar52@yahoo.com)

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

### Introducción

La tendencia de la Economía Mundial, la globalización de los mercados y el movimiento de capitales aumenta cada año. Como consecuencia las organizaciones se enfrentan a un nuevo entorno de desarrollo y deben adoptar las estrategias más convenientes. El progreso industrial no se reduce sólo a la inversión en nuevas instalaciones de producción y a la transferencia de tecnología extranjera, sino que es prioritario utilizar eficazmente las instalaciones actuales, donde uno de los requisitos importantes es el establecimiento de un servicio sistemático y técnico de mantenimiento eficiente, seguro y económico de los equipos industriales.

Los dos sistemas aplicables de mantenimiento que están dando los resultados más eficaces para el logro de un rápido proceso de optimización industrial son el **TPM** (Mantenimiento Productivo Total), que busca el mejoramiento permanente de la Productividad Industrial con la participación de todos, y el **RCM** (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), que optimiza la implementación del Mantenimiento Preventivo, basado en la determinación de la Confiabilidad de los equipos.

El TPM es un moderno sistema gerencial de soporte al desarrollo de la industria que permite tener equipos de producción siempre listos. Su metodología, soportada por un buen número de técnicas de gestión, establece las estrategias adecuadas para el aumento continuo de la productividad, con miras a lograr afrontar con éxito y competitividad, el proceso de Internacionalización y Apertura de la Economía <sup>[1]</sup>.

El objeto de la presente ponencia es dar a conocer los fundamentos del TPM, que busca coordinar sistemáticamente la aplicación de las teorías administrativas derivada de la Gerencia Moderna, el proceso de Mejoramiento Continuo Japonés y la Gestión Total de Calidad, en la optimización del mantenimiento. Se presentan los principios básicos, los elementos constitutivos, los factores de productividad, y su aplicabilidad para mejorar la efectividad del mantenimiento, con la metodología necesaria para su implementación industrial.

La adecuada utilización de los conceptos planteados, por todos los niveles jerárquicos de la función del mantenimiento industrial, para aplicar los principios elementales en el desarrollo de sus labores, y el despertar la inquietud en los asistentes al congreso, para profundizar en el estudio de las nuevas tecnologías del mantenimiento, constituye el propósito último de la charla.

## Historia del Mantenimiento Productivo

Las empresas industriales día a día han ido reconociendo el importante papel que desempeña el mantenimiento para sostener los niveles de producción. Además de la responsabilidad básica de garantizar el funcionamiento total y permanente de equipos e instalaciones, la gerencia de mantenimiento tiene como reto lograr la optimización de todas sus actividades aplicando los procedimientos y estrategias más convenientes.

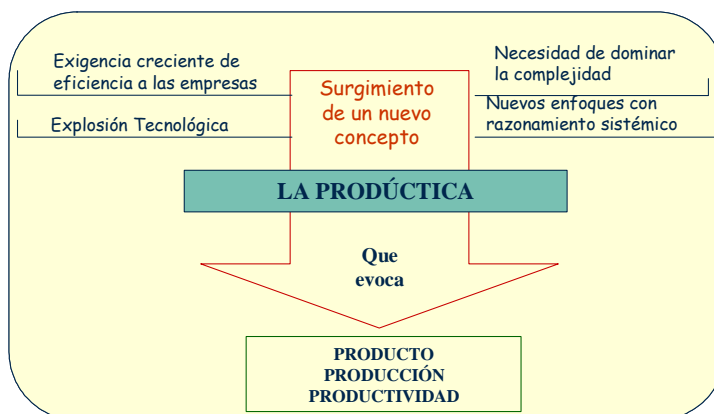
Después de la Segunda Guerra mundial los japoneses se concientizaron de la necesidad de mejorar la calidad de sus productos con el lema “Yo soy responsable de mi propio equipo”, adaptado de técnicas de gestión, fabricación y mantenimiento de los Estados Unidos, logrando excelentes resultados.

Antes de los años 50, el mantenimiento era exclusivamente de averías. En los años 50 el desarrollo del mantenimiento preventivo estableció funciones de prevención de fallas, con tendencia hacia el mantenimiento productivo y mejora de Mantenibilidad. Ya en los años 60 el auge fue para el mantenimiento proactivo, basado en la prevención y en la predicción de averías, Ingeniería de Confiabilidad, de Mantenibilidad y Económica. Pero ya en los años 70 se desarrolló en el Japón el Mantenimiento Productivo Total (TPM) basado en el respeto a las personas y la participación total de los empleados, con la ayuda de las ciencias administrativas y del comportamiento, Ingeniería de Software, Terotecnología, Logística y Ecología [2].

## La Productiva en el Mantenimiento

Un aporte significativo al desarrollo empresarial es la implementación de la Productiva al aparato productivo de cualquier país. El concepto básico de la Productiva se muestra en la Figura 1, el cual tiene como objetivo fundamental incrementar la competitividad de las empresas logrando aumentos considerables de su productividad, mediante la utilización de las herramientas que la Productiva pone al servicio de la industria, mostradas en la Figura 2 [3].

Figura 1. Concepto de Productiva

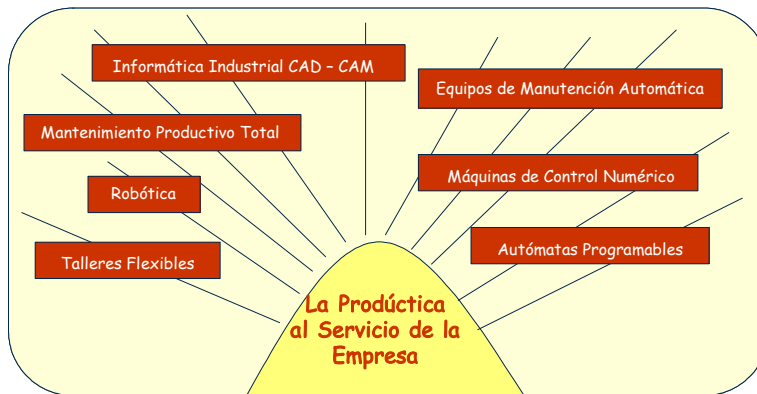


Fuente: Sánchez 1991

## Segundo Congreso Internacional de Ingeniería en Mantenimiento

La productividad es la relación entre el logro obtenido por un sistema de producción o de servicios y los recursos utilizados, es decir el cociente entre el producto y el insumo. Incrementar la productividad significa obtener el más alto volumen de producción, con la condición de lograr la optimización en el uso total de los recursos, con la máxima eficiencia, y eficacia posible.

**Figura 2. Herramientas de la Productiva**



**Fuente: Sánchez 1991**

Producir al máximo tiene sus limitaciones, puesto que en la práctica, esta en función de recursos, los cuales están restringidos por un tope racional de servicio, o disponibilidad, que debe ser controlado en el tiempo, para no sacrificar en un momento dado niveles de producción o de gastos que pueden ser perjudiciales para el futuro. Se puede decir que la productividad no conviene practicarse en forma extrema sino en forma racional, no debe ser instantánea sino permanente y sus objetivos deben entenderse de manera integral.

El concepto de productividad es cada día más complejo, pues implica el uso eficiente de los siguientes recursos [1]:

- La mano de obra
- El tiempo
- La energía
- Las materias primas
- Los equipos
- Los presupuestos
- Las estructuras administrativas
- Las mejoras tecnológicas
- Los sistemas de información.

La relación del mantenimiento con respecto a la productividad varía de acuerdo al tipo de industria. Para las empresas cuya operación depende del estado de su maquinaria, el mantenimiento es la función que más tiene relación con la producción, si se tiene en cuenta que influye representativamente sobre todos sus parámetros. Esta relación será positiva o negativa, dependiendo de la índole, calidad y eficiencia con que se implante el sistema de mantenimiento.

## **Factores de Productividad**

La productividad es fundamentalmente un instrumento comparativo. Es el uso más intensivo, no más intenso, de los recursos. La productividad tiene gran importancia en lo pertinente al mejoramiento de los niveles de vida del personal involucrado, de la entidad, la región y el país, pues es el factor determinante de la competitividad; una baja productividad produce devaluación e inflación, lo que se traduce en desempleo y pobreza con las consiguientes pérdidas económicas. La esencia del mejoramiento de la productividad es trabajar más inteligentemente, no trabajar en forma más dura.

Son múltiples los factores que determinan la productividad en una empresa. Estos se pueden clasificar en dos grandes grupos <sup>[1]</sup>:

- Factores internos
- Factores externos.

A su vez, los factores internos se pueden clasificar en factores duros y factores blandos. Los factores duros o difícilmente modificables más importantes son:

- Los productos
- La planta y equipos
- La tecnología
- Las materias primas
- La energía disponible.

Los principales factores blandos, que son más flexibles son:

- El personal
- La organización y sistemas
- Los métodos de trabajo
- Los tipos de dirección y control.

Los factores externos son de diversa índole y varían con el tipo de empresa, de acuerdo con su relación con el entorno sociocultural o económico, los más importantes son:

- Recursos naturales
- Ajustes estructurales
- Economía Internacional
- Sistemas de administración pública
- Infraestructura social.

Todos estos factores en mayor o menor grado influyen en la productividad de una empresa y deben ser adecuadamente aprovechados o correlacionados para lograr una mayor eficiencia productiva. Pero adicionalmente dentro de toda industria existen elementos, técnicas y áreas esenciales sobre las que se debe trabajar para obtener substanciales mejoras de productividad.

## **Herramientas para Mejorar la Productividad**

Son múltiples las herramientas de que se puede valer el Mantenimiento Productivo Total para mejorar la productividad del mantenimiento. Las seis que tienen mayor influencia directa para el logro de sus objetivos son <sup>[2]</sup>:

### **El método Justo a Tiempo**

El Justo a Tiempo (JIT), o método de eliminación de actividades de desperdicio, es la producción, entrega o consumo, de los elementos necesarios, en la cantidad necesaria y en el momento oportuno.

### **El Estudio y Simplificación del Trabajo**

Comprende la ingeniería de métodos y tiempos, y las técnicas de medición del trabajo. Mediante el estudio de métodos se logra eliminar o reducir movimientos innecesarios y mediante la medición del trabajo se ayuda a eliminar los tiempos improductivos o no utilizados. La Simplificación del Trabajo se logra mediante la capacitación de los trabajadores, que les permita pensar y obrar creativamente para introducir mejoras.

### **La Curva de Aprendizaje**

Muestra la disminución del tiempo de fabricación, con el aumento de la experiencia o de la velocidad de aprendizaje. Donde hay vida puede haber aprendizaje; entre más compleja es la vida mayor es la tasa de aprendizaje. Del análisis de la curva se observa que la mano de obra disminuye al ganar experiencia, que hay un límite al proceso de aprendizaje y que la pendiente de la curva mide la velocidad de aprendizaje.

### **Análisis del valor**

El Análisis de Valor es el enfoque organizado y creativo para determinar los costos innecesarios en un producto o servicio. Se utiliza primordialmente para descubrir los costos excesivos, para mejorar el rendimiento a un costo inferior.

### **El Análisis de Pareto**

Es una técnica conocida de aplicación de la gerencia, que concentra la atención en los problemas más importantes. En mantenimiento se puede expresar diciendo que el 20% de las causas de falla, produce el 80% de los efectos, es decir que los problemas más importantes se encuentran localizados en el porcentaje más bajo, y son aquellos que se deben atender prioritariamente.

### **Los Presupuestos en Base Cero**

Técnica empleada para reducir los gastos generales. Indica que se debe hacer primero lo que tenga la máxima prioridad y reporte los mejores beneficios. Implica clasificar las

## Segundo Congreso Internacional de Ingeniería en Mantenimiento

actividades por orden de prioridad y por orden de beneficios decrecientes, para luego determinar su presupuesto.

Finalmente, como complemento a lo anteriormente expuesto, existe un buen número de 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 sus procesos. Entre ellos vale la pena destacar <sup>[1]</sup>:

- El Kaizen
- El Groupware
- El WorkFlow
- La Reingeniería
- El Benchmarking
- El Trabajo Colaborativo
- La Manufactura Esbelta
- La Gestión Total de Calidad
- La Planeación Estratégica
- La Gerencia Participativa
- El Análisis de Confiabilidad
- La Administración por Procesos
- La Planeación de Recursos de Manufactura
- Los Sistemas de Información Gerencial
- Los Círculos de Participación
- Las Técnicas Estadísticas y
- El Análisis de Resultados.

### Elementos Constitutivos del TPM

El Mantenimiento Productivo Total es un nuevo enfoque administrativo de gestión del mantenimiento industrial, que permite establecer estrategias para el mejoramiento continuo de las capacidades y procesos actuales de la organización, para tener equipos de producción siempre listos.

El Mantenimiento Productivo Total es una expresión ideada por la General Electric en los años 50, pero que se descuidó en Norteamérica, hasta cuando algunas empresas Japonesas de avanzada la acogieron, desarrollaron y han obtenido con su aplicación resultados sorprendentes. Actualmente se considera a Seiichi Nakajima como el padre del **TPM** (Total Productive Maintenance), cuyo sistema basado en técnicas japonesas de gestión de mantenimiento ha demostrado ser realmente exitoso.

La filosofía del Mantenimiento Productivo Total hace parte del enfoque Gerencial hacia la Calidad Total. Mientras la Calidad Total pasa de hacer énfasis en la inspección, a hacer énfasis en la prevención, el Mantenimiento Productivo Total pasa del énfasis en la simple reparación al énfasis en la prevención y predicción de las averías y del mantenimiento de las máquinas.

Según Nakajima, los elementos básicos del TPM son cuatro <sup>[4]</sup>:

## Segundo Congreso Internacional de Ingeniería en Mantenimiento

- TPM-AM Mantenimiento Autónomo
- TPM-PM Mantenimiento Preventivo - Predictivo
- TPM-EM Administración del Equipo
- TPM-TEI Participación Total de los Empleados.

Los enfoques actualizados, con base en los desarrollos Japoneses están de acuerdo en que el Mantenimiento Productivo Total para lograr una buena aplicación debe incluir cinco elementos básicos <sup>[5]</sup>:

- Optimizar la Efectividad y Disponibilidad de los equipos.
- Programar mantenimiento Preventivo - Predictivo para toda su vida útil.
- Implementarse multidisciplinariamente por los departamentos interesados.
- Incluir todos los miembros de la organización.
- Fundamentarse en la actividad integrada de pequeños grupos.

La palabra "total" en "Mantenimiento Productivo Total" tiene tres significados que se relacionan con tres importantes características del TPM:

**Eficacia Total:** Implica la búsqueda de eficacia, economía, productividad o rentabilidad.

**Mantenimiento Preventivo - Predictivo Total:** Incluye la prevención del mantenimiento y la mejora en la ejecución del mantenimiento Correctivo, Preventivo y Predictivo.

**Participación Total:** Fundamentada en Mantenimiento Autónomo, por la actividad de operadores o pequeños grupos en cada departamento y a cada nivel.

### Principios Básicos del TPM

Entre los principios fundamentales del TPM podemos enumerar <sup>[4]</sup>:

**Cero Defectos:** Trata de eliminar las seis grandes causas de pérdida que son: Averías, preparación y ajuste, paradas menores y tiempos vacíos, velocidad reducida, defectos de calidad, reducción en rendimiento. Esto por medio de equipos de diagnóstico adecuados, órganos de control y automatización, con énfasis en los logros de la Gestión Total de la Calidad.

**Inventarios Cero:** Basado en la producción "Justo a tiempo", y el aseguramiento de las compras y ventas, eliminando sistemas de bodegaje.

**Rentabilidad Total:** Lo cual requiere desarrollo de sistemas Preventivo, Predictivo, Productivo y Prevención de Mantenimiento, acompañado de actividades de pequeños grupos.

**Productividad:** Esta debe ser maximizada y está dada por la relación de SALIDAS, reflejadas en producción, calidad, bajo costo, entregas, seguridad, entorno moral y costo de vida útil económica, con respecto a las ENTRADAS, representadas por los recursos físicos y humanos, ingeniería y mantenimiento de planta, y control de inventarios.

## Segundo Congreso Internacional de Ingeniería en Mantenimiento

**Participación Total:** Es necesario la participación de todos y cada uno de los empleados de la empresa en forma consciente. Combina la fijación de metas “arriba - abajo” por parte de la alta dirección, con actividades de mejora y mantenimiento de los pequeños grupos, o círculos TPM.

**Mejora de la Eficacia:** Pretende que los equipos estén libres de mantenimiento y que el costo del ciclo de su vida útil sea económico.

**Logística y Terotecología:** La logística es la ciencia que se encarga de los productos, las materias primas, los sistemas, los programas y los equipos. La Terotecología, que es la Ingeniería de Mantenimiento, es quien se encarga del diseño, ingeniería, montaje y mantenimiento de equipos. Es así como el TPM hace parte de la Terotecología, y ésta a su vez de la logística y entre más estén interrelacionados, existirán más equipos libres de fallas.

**Mejoramiento de los Lugares de Trabajo:** Aplicación del Sistema de administración Japonés de las 5S: SEIRI (Organización), SEITON (Orden), SEIKETSU (Pureza), SEISO (Limpieza), SHITSUKE (Disciplina).

### Estructura Moderna del TPM

La moderna teoría del Mantenimiento Productivo Total plantea que el TPM se basa en el desarrollo de siete pilares (Figura 3), que son los fundamentales dentro de su nueva filosofía para optimizar la productividad de la organización, con acciones puramente prácticas:

- 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 Aumento de la OEE
- Mantenimiento Planeado Proactivo
- Mantenimiento Preventivo y Predictivo.

En relación con el RCM (cuarto pilar) el libro de Tokutaru Suzuki: “TPM in Process Industries”, publicado por el JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance) en el año 2000, menciona en forma muy clara que para hacer correctamente el TPM se requiere aplicar técnicas de RCM como metodología para definir de manera precisa las estrategias de mantenimiento. La mayoría de teóricos del RCM no están de acuerdo con el planteamiento anterior, pero a su vez y en contraposición, plantean que dentro de la implementación de un sistema de Confiabilidad Operacional es fundamental incluir técnicas de aplicación del TPM, lo que ha dado origen a las nuevas teorías de Modelos Mixtos de Confiabilidad.

### ¿Qué Significan las Cinco Eses?

Las Cinco Eses Japonesas son las siguientes [2]:

**SEIRI:** (Clasificar). Eliminación de todo lo innecesario para mejorar la organización.

**SEITON:** (Ordenar). Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar. Es un principio de funcionalidad. Todo objeto que se utiliza en alguna labor, debe volver luego a su sitio.

**SEISO:** (Limpiar). Limpieza completa del sitio de trabajo y de las máquinas que se emplean en el proceso de producción. Debe hacerse al final de la jornada y en tiempo laboral.

**SEIKETSU:** (Estandarizar). Mantener altos niveles de organización y limpieza. Es una labor constante que no debe practicarse solo cuando hay visitas ilustres o cuando a los directivos se les ocurre darse una pasada por la fábrica o las oficinas.

**SHITSUKE:** (Autocontrolar). Capacitar a la gente para que de manera autónoma pueda realizar con disciplina sus tareas. Se cita de último pero debe ser el primero.

Figura 3. Estructura Moderna del TPM



Fuente: TPMonline.com

### Adiestramiento para mejorar las habilidades operativas

Las habilidades de los operadores y del personal de mantenimiento deben mejorarse si se quiere tener éxito con el Mantenimiento Autónomo, Preventivo, Predictivo y la Mantenibilidad. La formación y adiestramiento en las habilidades operativas y de mantenimiento son vitales. Para implantar el TPM, una compañía debe estar dispuesta a invertir en el adiestramiento de sus empleados en el manejo de los activos.

### Mantenimiento Autónomo por Operadores

El Mantenimiento Autónomo es una de las características innovadoras del TPM. Se tarda de uno a tres años en cambiar la cultura corporativa, dependiendo del tamaño de la

## Segundo Congreso Internacional de Ingeniería en Mantenimiento

compañía. Los operadores que están acostumbrados a pensar "yo opero, tu arreglas" tendrán dificultades para aprender "yo soy responsable de mi propio equipo". Todos los empleados deben estar de acuerdo en que los operarios de producción son responsables del mantenimiento de su equipo, para lo cual los mismos operadores deben ser adiestrados según las exigencias del programa de Mantenimiento Autónomo.

### Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

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:

- Identificar los principales sistemas de la planta y definir sus funciones.
- Identificar los modos de falla que puedan producir cualquier falla funcional.
- Jerarquizar las necesidades funcionales de los equipos usando 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 preventivas u otras acciones que conserven la función del sistema.

El **RCM** es un enfoque sistémico para diseñar programas que aumenten la Confiabilidad de los equipos con un mínimo costo y riesgo; para ello combina aplicaciones técnicas de Mantenimiento Autónomo, Preventivo, Predictivo y Proactivo, mediante estrategias justificadas técnica y económicamente. La información almacenada en las hojas de trabajo de RCM minimiza los efectos de rotación de personal y de falta de experiencia.

### Proyectos de Gestión Temprana de Equipos

La eficacia es la medida del valor añadido a la producción a través del equipo. La eficacia del equipo se puede maximizar aumentando la disponibilidad total del equipo en un período dado de tiempo, o reduciendo el número de productos defectuosos, mejorando la calidad. El objetivo del TPM es aumentar la eficacia de los equipos, las personas y las máquinas, para funcionar en condiciones de cero averías.

El Ciclo de Vida de una pieza de equipo comienza en el diseño, que tiene como objetivo la máxima reducción posible del mantenimiento. A continuación, se fabrica, se instala y se prueba el equipo antes de disponerlo para la operación normal. Una vez pasado el período inicial de fallos, los datos de operación se devuelven a la fase de diseño libre de mantenimiento. Estos datos pueden utilizarse para diseñar futuros equipos libres de mantenimiento. La Prevención del Mantenimiento con el fin de minimizarlo, es el objetivo del ciclo diseño - instalación - operación, incluyendo el mantenimiento y la puesta en marcha de los equipos.

### Mantenimiento Planificado

El Mantenimiento Planificado, que debe incluir la planeación y programación eficaz de las actividades de mantenimiento para toda la vida útil de los equipos, debe funcionar al

## Segundo Congreso Internacional de Ingeniería en Mantenimiento

unísono con el Mantenimiento Autónomo. La primera responsabilidad del departamento de es responder con rapidez y eficacia a las peticiones de los operadores.

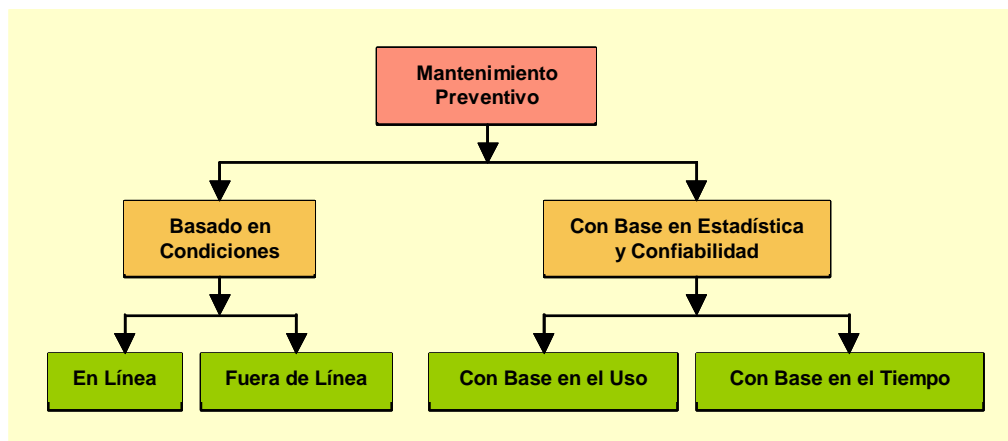
El personal de mantenimiento debe así mismo eliminar el deterioro que resulta de una lubricación y limpieza inadecuadas; debe analizar cada avería para descubrir los puntos débiles en el equipo, y modificarlo para mejorar su mantenimiento, alargando su vida útil. Para mantener un bajo costo del Mantenimiento Planificado se deben emplear técnicas de análisis y de diagnóstico, para supervisar la condición de los equipos, y así estimular el cambio hacia el Mantenimiento Basado en Condición.

### Mantenimiento Preventivo

El objetivo del mantenimiento Preventivo es aumentar al máximo la Disponibilidad y Confiabilidad de los equipos llevando a cabo un programa de mantenimiento eficaz. Una de las características fundamentales de un equipo que ha sido bien diseñado, es que puede mantenerse o repararse correctamente durante el tiempo especificado para ello.

El mantenimiento Preventivo puede estar basado en las condiciones reales del equipo, 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, y el segundo sistema ha dado origen a una nueva tecnología de mantenimiento denominada **PMO**, que es la sigla en inglés de Optimización de Mantenimiento Preventivo. La Figura 4, muestra una clasificación grafica del Mantenimiento Preventivo actual. Consta de dos categorías, estas tienen una base estadística de Confiabilidad o de condiciones reales. La primera categoría se basa en datos obtenidos de los registros históricos del equipo. La segunda categoría se basa en el funcionamiento y las condiciones del equipo <sup>[6]</sup>.

Figura 4. Categorías del Mantenimiento Preventivo



Fuente: Duffuaa 2002

El Mantenimiento Preventivo con base en el uso, toma como parámetro principal los datos históricos de fallas de los equipos para determinar la distribución estadística que más se ajuste a su comportamiento real.

## Metas del TPM

El TPM es el sistema de mantenimiento productivo realizado por todos los empleados de la compañía a través de actividades de pequeños grupos. El TPM incluye las seis metas siguientes [2]:

- Crear una Misión corporativa para mejorar la Eficacia de los Equipos.
- Usar en enfoque centrado en productividad y Mantenimiento Autónomo por los operadores.
- Involucrar a todos los departamentos y todo el Talento Humano de la organización en la implementación del TPM.
- Planeación óptima del mantenimiento, administrado por el departamento de mantenimiento.
- Implementar las actividades de pequeños grupos basada en capacitación y adiestramiento.
- Un programa de Gestión de Equipos inicial para prevenir problemas que puedan surgir durante la puesta en marcha de una nueva planta o un nuevo equipo.

## Cálculo de la Eficacia del Equipo

La eficacia se puede medir mediante la determinación de la OEE (Efectividad Global del Equipo), que está definida por el producto de tres factores: disponibilidad, eficiencia de desempeño y porcentaje de productos de calidad. Las condiciones ideales a obtener deben ser del siguiente orden [4]:

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

De donde, la eficiencia total mínima a lograr debe ser:

$$\text{Eficiencia total} = 0.9 \times 0.95 \times 0.99 = 0.85$$

Es decir igual o superior a un ochenta y cinco por ciento. El TPM eleva el nivel de la eficacia del equipo mejorando los factores dados:

**La Disponibilidad Operativa:** Se mejora con la eliminación de averías, pérdidas en la preparación, ajuste y otros.

## Segundo Congreso Internacional de Ingeniería en Mantenimiento

**El Rendimiento:** Puede ser mejorado con la eliminación de las pérdidas de velocidad, paradas menores y tiempos muertos.

**La Calidad:** Se mejora con la eliminación de defectos de calidad en el proceso y durante la puesta en marcha.

La implementación del TPM requiere del máximo apoyo de todos los sectores, mediante la efectiva participación de todos los empleados, y de los operadores de los equipos, que deben desarrollar un programa de Mantenimiento Autónomo que incluya porciones cada vez mayores de mantenimiento preventivo de rutina, como limpieza y lubricación; para lo cual es preciso que haya un fuerte componente de capacitación, motivación y desarrollo.

### Las Seis Grandes Pérdidas

#### **Pérdidas por Averías**

Las averías causan dos problemas: Pérdidas de tiempo, cuando se reduce la producción, y pérdidas de cantidad, causadas por productos defectuosos. Las averías esporádicas, fallos repentinos, drásticos o inesperados del equipo, son normalmente obvias y fáciles de corregir. Las averías menores de tipo crónico son a menudo ignoradas o descuidadas después de repetidos intentos fallidos de remediarlas.

#### **Pérdidas de Preparación y Ajustes**

Cuando finaliza la producción de un elemento y el equipo se ajusta para atender los requerimientos de un nuevo producto, se producen pérdidas durante la preparación y ajuste, al aparecer tiempos muertos y productos defectuosos como consecuencia del cambio.

#### **Inactividad y Pérdidas por Paradas Menores**

Una parada menor surge cuando la producción se interrumpe por una falla temporal o cuando la máquina está inactiva. Puede suceder que alguna pieza bloquee una parte de un transportador, causando inactividad en el equipo; otras veces, los sensores alertados por productos defectuosos paran los equipos. Estos tipos de paradas temporales difieren claramente de las averías. La producción normal es restituida moviendo las piezas que obstaculizan la marcha y reajustando el equipo.

#### **Pérdidas de Velocidad Reducida**

Las pérdidas de velocidad reducida se refieren a la diferencia entre la velocidad de diseño del equipo y la velocidad real operativa. Es típico que en la operación del equipo la pérdida de velocidad sea pasada por alto, aunque constituye un gran obstáculo para su eficacia. La meta debe ser eliminar la diferencia entre la velocidad de diseño y la velocidad real.

## Defectos de Calidad y Repetición de Trabajos

Los defectos de calidad y la repetición de trabajos son pérdidas de calidad causadas por el mal funcionamiento del equipo de producción. En general, los defectos esporádicos se corrigen fácil y rápidamente al normalizarse las condiciones de trabajo del equipo. La reducción de los defectos y averías crónicas, requieren de un análisis más cuidadoso, siguiendo el proceso establecido por la ruta de la calidad, para remediarlos mediante acciones innovadoras.

## Pérdidas de Puesta en Marcha

Las pérdidas de puesta en marcha son pérdidas de rendimiento que se ocasionan en la fase inicial de producción, desde el arranque hasta la estabilización de la máquina. El volumen de pérdidas varía con el grado de estabilidad de las condiciones del proceso, el nivel de mantenimiento del equipo, la habilidad técnica del operador, etc. Este tipo de pérdidas está latente, y la posibilidad de eliminarlas es a menudo obstaculizada por la falta de sentido crítico, que las acepta como inevitables <sup>[7]</sup>.

## Pérdidas Crónicas y Defectos Ocultos

Las pérdidas crónicas son causadas por defectos en maquinaria, equipos y métodos. Si deben mejorarse las condiciones fundamentales del sistema de fabricación, es necesario eliminar completamente las pérdidas crónicas y los defectos ocultos. Hasta ahora, se ha centrado el mantenimiento en los problemas esporádicos de fácil detección. Por el contrario, las pérdidas crónicas son sutiles y mucho más difíciles de detectar.

Estas pérdidas pueden reducirse y a menudo eliminarse, aumentando la Confiabilidad del equipo, restableciendo las condiciones operativas originales, identificando cuales son las condiciones operativas óptimas, y eliminando los pequeños defectos que a menudo se pasan por alto <sup>[7]</sup>.

La Confiabilidad es la probabilidad de que el equipo realice satisfactoriamente las funciones requeridas, bajo las condiciones especificadas, durante un período de tiempo dado. Las condiciones óptimas son aquellas que son esenciales para el funcionamiento y mantenimiento óptimo de las capacidades del equipo. Cuando se opera un equipo sin comprender cuáles son las condiciones óptimas, la rectificación de averías y defectos es lenta.

Un objetivo importante cuando se analizan los defectos pequeños del equipo es prevenir el efecto potencialmente dramático que producen acumulativamente. Cada defecto debe ser tratado con gran cuidado y paciencia, porque el efecto sobre el conjunto es a menudo superior a la suma de los defectos particulares. Aunque los factores individuales sean extremadamente pequeños, pueden desencadenar otros factores mayores al solaparse con otros, magnificando el efecto, o al combinarse entre sí, para causar una reacción en cadena.

## **El Análisis Fenómeno - Máquina**

El Análisis FM (Fenómeno – Máquina) es una técnica Japonesa que desarrolla métodos para la eliminación a conciencia y sistemática de defectos ocultos que contribuyen a las pérdidas crónicas. A través de este análisis todos los factores de falla son identificados y eliminados.

El procedimiento aplicado por esta técnica incluye los siguientes pasos <sup>[2]</sup>:

- Esclarecer el problema, investigarlo cuidadosamente y compararlo con el de equipos similares.
- Llevar a cabo un análisis físico del problema. Considerar el fenómeno observado a la luz de las leyes físicas.
- Listar cada condición potencial relacionada con el problema, es decir considerar qué condiciones están presentes para que el fenómeno se produzca.
- Evaluar el equipo, materiales y métodos.
- Planificar la investigación detalladamente. Para cada factor se debe planear su alcance y dirección.
- Investigar las posibles disfunciones, teniendo en cuenta las condiciones óptimas y la influencia de los pequeños defectos.
- Formular planes de mejoramiento, es decir planificar estrategias de mejora para cada factor y su implementación.

## **Implementación del TPM**

La meta del TPM es efectuar mejoras substanciales dentro de la empresa optimizando la utilización de sus recursos físicos y humanos. Para eliminar las pérdidas debemos cambiar primero las actitudes del personal e incrementar sus capacidades; aumentar su motivación y competencia, mejora la efectividad del mantenimiento y operación de los equipos. Los doce pasos de implementación y desarrollo del TPM, recomendados por Seiichi Nakajima en su libro Introducción al TPM, se resumen a continuación <sup>[4]</sup>.

### **1. Anuncio de la Alta Dirección de la Introducción del TPM**

La alta dirección debe informar a sus empleados de su decisión, e infundir entusiasmo por el proyecto. La preparación para la implantación implica crear un entorno propicio para un cambio efectivo. Se requiere, el persistente apoyo y el firme liderazgo de la alta dirección, aunque el programa dependa de la participación total de los miembros de la organización.

## **2. Lanzamiento de una Campaña Educativa**

El segundo paso es el entrenamiento y promoción del programa, que debe empezar tan pronto como sea posible, después de introducir el proyecto. El objetivo no es solamente explicar el TPM, sino elevar la moral y romper la resistencia al cambio. Los operarios de producción creen que el TPM incrementa la carga de trabajo, mientras el personal de mantenimiento es escéptico sobre la capacidad de los operarios para practicar las actividades preventivas. Un buen sistema logrado en Japón es organizar jornadas de entrenamiento por niveles jerárquicos.

## **3. Crear Organizaciones para Promover el TPM**

La estructura promocional del TPM se basa en una matriz organizacional, conformada por grupos horizontales, tales como comités y grupos de proyectos en cada nivel de la organización. Se recomienda formar círculos de participación en los niveles táctico y estratégico, establecer una oficina central y asignar el personal necesario. Aunque tradicionalmente los comités de mejoramiento se organizan aparte, pueden utilizarse eficientemente para promover las actividades de desarrollo del TPM.

## **4. Establecer Políticas y Metas para el TPM**

Aunque las políticas estén constituidas por proposiciones verbales o escritas abstractas, las metas deben ser claras, cuantitativas y precisas, especificando el objetivo (qué), la cantidad (cuánto), y el lapso de tiempo (cuándo). Para fijar una meta alcanzable debe medirse y comprenderse el nivel actual, las características de las averías, y las tasas de defectos del proceso por pieza o equipo. El análisis de las condiciones reales existentes y el establecimiento de metas razonables permiten predecir el éxito del proceso.

## **5. Formular un Plan Maestro para Desarrollo del TPM**

Este plan maestro debe incluir el programa diario de promoción del TPM, empezando por la fase de preparación anterior a la implementación y el programa de capacitación. El plan se debe basar en las cinco actividades básicas del TPM:

- Mejoramiento de la Efectividad del Equipo
- Establecimiento del Mantenimiento Autónomo
- Aseguramiento de la Calidad de los Productos
- Programa de Mantenimiento Planificado
- Plan de Entrenamiento y Capacitación.

## **6. El Disparo de Salida del TPM**

Este es el primer paso para la implantación propiamente dicha. A partir de este punto, los trabajadores deben cambiar sus rutinas de trabajo diarias tradicionales y empezar a practicar el TPM. El "Disparo de Salida" debe ayudar a cultivar una atmósfera que incremente la moral y dedicación de los trabajadores.

## **7. Mejorar la Efectividad del Equipo**

Los ingenieros de producción, división técnica y mantenimiento, los supervisores de línea y los miembros de pequeños grupos, se organizan en equipos de proyectos que implementen mejoras para eliminar las pérdidas. La determinación de la efectividad global de los equipos y el análisis de las causas de baja efectividad permiten proponer estrategias para su mejoramiento.

## **8. Establecer el Programa de Mantenimiento Autónomo**

El Mantenimiento Autónomo por los operarios es una característica única del TPM. En la promoción del TPM, cada persona desde la dirección hasta el último operario, debe creer que es factible que los operarios realicen el mantenimiento y que los trabajadores deben ser responsables de su propio equipo.

## **9. Establecer un Programa de Auto-mantenimiento**

El volumen de trabajo de mantenimiento disminuye cuando la inspección general pasa a ser parte de la rutina de los operarios. El número de averías decrece ampliamente y también se reducen las actividades globales de mantenimiento. En esta etapa del proceso, el departamento de mantenimiento debe centrarse en su propia organización y establecer un programa de auto-mantenimiento.

## **10. Conducir el Entrenamiento para Mejorar las Habilidades**

La educación técnica y el entrenamiento para la formación de habilidades de operación y mantenimiento, deben ajustarse a los requerimientos particulares de la planta. La capacitación es una inversión en el personal que rinde múltiples beneficios. La empresa que implanta el TPM debe invertir en entrenamiento para permitir a sus trabajadores gestionar apropiadamente sus equipos y afirmar sus habilidades en operación normal.

## **11. Desarrollo Temprano de un Programa de Gestión de Equipos**

Cuando se instala un equipo nuevo, a menudo aparecen problemas durante el arranque, aunque en las etapas de diseño, fabricación y montaje todo parezca marchar bien. Se necesitan inspecciones y revisiones en el período inicial; ajustes, reparaciones, limpieza y lubricación para evitar el deterioro. La Gestión Temprana de equipos se debe realizar por el personal de mantenimiento y producción como parte de un enfoque de prevención de mantenimiento y diseño libre de mantenimiento.

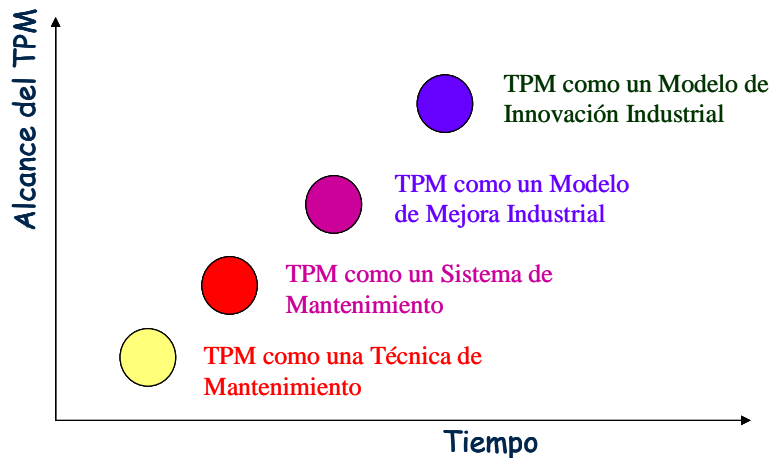
## **12. Implantación Plena del TPM**

El paso final en el programa de desarrollo del TPM es perfeccionar la implantación y fijar metas futuras más elevadas. Durante este período de estabilización, cada uno trabaja continuamente para mejorar los resultados, lo cual marca el comienzo real del programa de mejoramiento continuo empresarial.

## Alcance del TPM

El Alcance del TPM ha evolucionado ampliamente desde la década de los años setenta hasta el día de hoy, al punto que se le considera actualmente como un sistema de Innovación Empresarial, como se muestra en la Figura 5, sobrepasando los modelos de mejoramiento industrial del final del siglo pasado.

Figura 5. Evolución del Alcance del TPM



Fuente: Nakajima 2001.

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 trabaja para llevar al equipo a su condición de diseño.
- El TPM busca la gestión del equipo y la prevención de averías y pérdidas.
- El TPM requiere que el mantenimiento se lleva a cabo en cooperación activa con el personal de producción.
- 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 operación.

## Referencias Bibliográficas

- [1]. GARCÍA P., Oliverio. “Administración y Gerencia de Mantenimiento Industrial”. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Duitama, 1.992.
- [2]. GARCÍA P., Oliverio. “La Esencia del TPM”. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Duitama, 1.998.

## Segundo Congreso Internacional de Ingeniería en Mantenimiento

- [3]. 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.
- [4]. NAKAJIMA, Seiichi. “Introducción al TPM”. Japan Institute for Plant Maintenance. Tecnología de Gerencia y Producción S. A. Madrid, 1991.
- [5]. HARTMANN, Edward H. “How to Successfully Install TPM in Your Plant”. Internacional TPM Institute, Inc. USA. 1.991.
- [6]. DUFFUAA, Salih. RAOUF, A. CAMPBELL, John. “Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control”. Limusa Wiley. México.2002.
- [7]. NAKAJIMA, Seiichi. “TPM - Development Program Implementing Total Productive Maintenance”. Primera Edición. Productivity Press. Cambridge. Massachussets. 1989.

### El Autor

**Oliverio García Palencia** es Ingeniero Colombiano, graduado en Ingeniería Mecánica en la UIS (Universidad Industrial de Santander); con títulos de Especialista en Mantenimiento Industrial del Incolda. Especialista en Administración de Sistemas de Información de la UNAL (Universidad Nacional de Colombia); Especialista en Ingeniería de Software de la UIS (Universidad Industrial de Santander); Magíster (MSc) en Ingeniería Mecánica de la Universidad de los Andes, con línea de investigación en Vibraciones y Mantenimiento Industrial, y Candidato a Magíster (MSc) en Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad de los Andes, con línea de investigación en Ingeniería de Software para Educación Virtual.

Actualmente, y desde hace 23 años, es profesor de Ingeniería Electromecánica y de postgrados de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en la Seccional de Duitama (Boyacá), donde se ha desempeñado en las áreas administrativa, docente, de investigación, de extensión y de consultoría industrial.

Es el representante actual de las Universidades Oficiales Colombianas, en el Consejo Profesional Nacional de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y Profesiones Afines. Su amplia experiencia, industrial y docente, le ha permitido participar en una gran cantidad de congresos y seminarios, realizar diversas investigaciones y publicaciones docentes y escribir diversos artículos relacionados con la Gestión de Mantenimiento y la Educación Superior. Sus áreas de interés especial son el Mantenimiento Industrial, y la Capacitación Virtual.