

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
FUNDAMENTADO EN EL TPM PARA UNA FÁBRICA DE
LATAS DE ACERO**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
FUNDAMENTADO EN EL TPM PARA UNA FÁBRICA DE
LATAS DE ACERO**

**BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

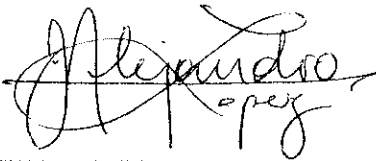
CÉSAR ROBERTO LÓPEZ GARCÍA

Trabajo de graduación presentado para optar al grado académico de Ingeniero Mecánico en el grado de Licenciatura.

Guatemala

2004

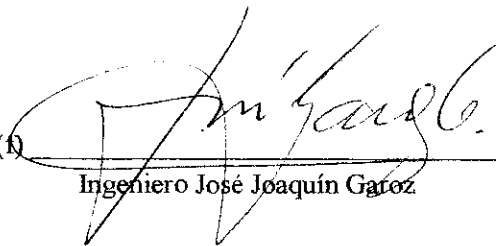
Vo.Bo.:

(f) 

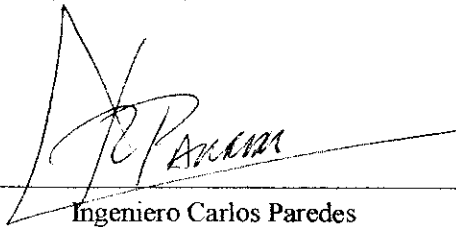
Asesor

Ingeniero Juan Alejandro López

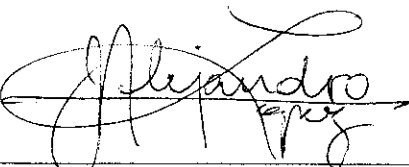
Tribunal:

(f) 

Ingeniero José Joaquín Garoz

(f) 

Ingeniero Carlos Paredes

(f) 

Ingeniero Juan Alejandro López

Fecha de aprobación: 31 de mayo, 2004

ÍNDICE

LISTA DE GRÁFICOS	vi
LISTA DE TABLAS	vii
RESUMEN	viii
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. ANTECEDENTES	4
IV. ENTORNO DE UN SISTEMA TPM	12
V. CONTEXTO Y ALCANCE DEL TRABAJO	20
VI. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UNA FÁBRICA DE LATAS DE ACERO	23
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
VIII. BIBLIOGRAFÍA	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico	Página
1. Cálculo del OEE	11
2. Factores necesarios para un programa de mantenimiento preventivo	24
3. Organigrama propuesto del departamento de mantenimiento	26
4. Listado de maquinaria	29
5. Tarjeta de maquinaria	29
6. Listado de piezas de mantenimiento, reparación y operación	32
7. Orden de trabajo	36
8. Historial del equipo	38
9. Tarjeta de actividades	39
10. Rutina para observar la condición del equipo	55
11. Rutina de inspección visual de desgaste, juegos y alineación	56
12. Rutina de mantenimiento puramente preventivo	56
13. Diagrama de flujo para decisión de estrategias según el RCM	58
14. Lista de verificación de lubricación y apriete	60

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Matriz para ponderación de repuestos según costo y criticidad	33
2. Carga de horas de mantenimiento mensual	41
3. Prioridad de trabajos	46

RESUMEN

El trabajo de graduación que se presenta a continuación propone un plan de mantenimiento para la maquinaria y el equipo de producción de una planta que fabrica latas de acero. Este plan abarca las actividades del departamento de mantenimiento, fundamentando este diseño en el sistema conocido como Mantenimiento Productivo Total (TPM, *Total Productive Maintenance*). El plan de mantenimiento propuesto bajo esta filosofía comprende las actividades necesarias de planificación y de ejecución para establecerlo y para medir su eficacia constantemente, así como los responsables de llevarlas a cabo. La clara delineación de estas actividades y de sus responsables conducirá a una puesta en marcha exitosa del plan de mantenimiento. Se obtendrá así una productividad alta y constante, un producto con calidad, y trabajadores satisfechos que estén altamente involucrados en su trabajo. El trabajo se divide en dos áreas: la primera brinda los antecedentes teóricos básicos acerca del mantenimiento y de la filosofía del TPM; la segunda propone el plan de mantenimiento elaborado para la planta en cuestión.

convencional, sin embargo, se ha comprobado que esa no es la manera óptima de administrar las actividades de mantenimiento.

A principios de la década de los 70 se desarrolló en Japón un tipo de administración o filosofía de administración llamada Mantenimiento Productivo Total. Los resultados que el TPM ha brindado a las empresas que lo han establecido exitosamente han demostrado que es bastante superior a los sistemas convencionales o antiguos, y que es la dirección que deben seguir las industrias, máxime en industrias automatizadas, donde estos resultados muestran aun más las ventajas del TPM.

La razón por la cual este sistema logra resultados tan buenos es porque alcanza a aprovechar prácticamente el esfuerzo y dedicación de todo el recurso humano de una empresa y el potencial allí guardado y lo vuelca en gran medida a la manutención de la maquinaria. Así se crea una fábrica con miembros altamente involucrados en su trabajo, que están constantemente motivados, y que cuidan de su equipo de la mejor manera posible. Los trabajadores son capaces también de atacar problemas de forma más espontánea e inmediata que en los sistemas convencionales, logrando erradicarlos en lugar de solamente evitarlos temporalmente. Todos estos factores, combinados con otros que adicionalmente se obtienen al establecer el TPM -el lugar de trabajo se convierte en un lugar seguro, ordenado y limpio- conllevan a la tan deseada alta productividad y calidad del producto. Se obtiene también algo invaluable y necesario para el éxito de toda empresa: que el trabajador se desenvuelva, por su propio esfuerzo y el de sus compañeros de equipo, en un ambiente agradable que le brinde satisfacción.

II. OBJETIVOS

En concordancia con lo mencionado anteriormente, el siguiente trabajo de graduación propone los siguientes objetivos:

- Objetivos generales
 - Dar a conocer qué es el TPM, el cual está teniendo un auge creciente dentro de las industrias conforme el paso del tiempo por los resultados obtenidos.
 - Exponer las diferencias entre sistemas basados en TPM y los convencionales, para comprender por qué el TPM se hace merecedor de la preferencia de muchas empresas.
- Objetivos específicos
 - Crear un plan de mantenimiento basado en la filosofía del TPM para una planta de producción de latas de acero.
 - Dar los pasos y las recomendaciones para una exitosa implementación de este plan.

III. ANTECEDENTES

A. Historia del mantenimiento

La forma en que el mantenimiento es realizado y administrado ha cambiado y sigue cambiando con el tiempo. Las áreas en las que este cambio sucede son básicamente tres:

- En las expectativas acerca de la función del mantenimiento
- En el entendimiento de la forma en que fallan los equipos, que cada día mejora, es decir, cada día el conocimiento es mayor y más certero.
- En la variedad de técnicas de mantenimiento disponibles, la cual crece continuamente, gracias a la investigación y la tecnología.

El mantenimiento ha pasado por tres generaciones, que se describen a continuación, enfocando las tres áreas mencionadas y cómo han cambiado con el tiempo:

1. Primera generación (aprox.1900-1950). Las expectativas del mantenimiento de primera generación eran simples: únicamente reparar el equipo cuando este fallaba. En cuanto a los modos de falla del equipo, existía un solo tipo de modo. Por último, las técnicas eran nulas, prácticamente no había técnicas. Al fallar el equipo, se inspeccionaba la máquina y hasta entonces se determinaba lo que había que hacer.
2. Segunda generación (aprox.1950-1970). En el área de las expectativas, en esta segunda generación de mantenimiento, se empezó a poner énfasis en aumentar la disponibilidad del equipo para producir, en la reducción de costos y en alargar la vida de la maquinaria y equipo. Se modificó el modo de falla ya existente. En el

área de las técnicas o métodos, surgieron las restauraciones planificadas, el mantenimiento preventivo, los sistemas para planificar y controlar el trabajo y el uso de sistemas computarizados para la administración del mantenimiento.

3. Tercera generación (de 1970 en adelante). En la tercera generación, la expectativa que se tiene del mantenimiento crece aun más, incluyendo ahora incrementar la disponibilidad, la confiabilidad, y la seguridad. Al mantenimiento se le exige también mejorar la calidad del producto, no dañar el medio ambiente, aumentar la efectividad, minimizar sus costos y alargar aun más la vida del equipo. Se descubren varios tipos de falla en vez de solamente uno, ahora son seis. Las técnicas se multiplican de la misma manera: surge la observación y el análisis de la condición del equipo y el mantenimiento basado en la condición de éste (mantenimiento predictivo). También se involucra al diseño de la maquinaria para brindar mayor confiabilidad y facilidad de mantenerla. Se utilizan análisis de modos y efectos de falla, y la participación es cada vez mayor por parte de diferentes áreas de la empresa; el mantenimiento ya no es exclusivamente responsabilidad del departamento de mantenimiento. El uso de las computadoras y de las redes de computación se hace extensivo.

Además, las mayores diferencias entre la segunda y la tercera generación son básicamente el enfoque hacia una mayor disponibilidad, confiabilidad y facilidad de manutención del equipo, un enfoque dirigido a lograr cero paros no programados, y la utilización de herramientas como el TPM y el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM, *Reliability Centered Maintenance*).

B. FUNDAMENTOS DEL TPM

1. Definición de TPM. El TPM es una estrategia de gestión enfocada a la maquinaria, equipo y accesorios productivos que enfatiza las actividades inherentes de de manutención (mantenimiento) de éstos, basado en una filosofía que busca la mejora de éstos para lograr un uso extensivo y a sus máximas capacidades, involucrando prácticamente a todo el personal de la empresa, desde la alta gerencia hasta el personal de planta, en las actividades mencionadas de manutención del equipo, sin menoscabar obviamente, sus demás atribuciones. Estas actividades -descritás a grandes rasgos- son la investigación y mejora continua de la maquinaria, equipo y todos los accesorios (herramientas, estructuras, etc.) para asegurar que puedan ser mantenidos, confiables y seguros, así como establecer los métodos necesarios para garantizar la calidad constante del producto utilizando la maquinaria mencionada. Junto a estas actividades, busca mejorar la eficiencia de la operación y maximizar su duración, y educar a los trabajadores para que tengan la competencia necesaria para cuidar de su equipo e interesarse por él.

2. Los cinco pilares del TPM. Para dar una mejor idea, se exponen a continuación cinco puntos, que generalmente se conocen como los cinco pilares del TPM, que constituyen los fundamentos de este sistema:

- Mejorar la efectividad del equipo atacando las pérdidas mayores basándose en resultados. Una de las herramientas claves usadas comúnmente en sistemas TPM para medir la efectividad de la maquinaria es la Efectividad Global del Equipo (OEE, *Overall Equipment Effectiveness*). Tanto las pérdidas mayores como el OEE serán explicados más adelante.
- Involucrar a los operadores en el mantenimiento diario y rutinario del equipo, capacitándolos para que puedan realizar este tipo de tareas e inspeccionar su equipo mientras lo hacen.
- Mejorar la eficacia y la efectividad del mantenimiento, es decir, mejorar todos los aspectos del mantenimiento incluyendo inventario de repuestos, sistemas computarizados de administración del mantenimiento, el mantenimiento

- preventivo, el mantenimiento predictivo, las herramientas utilizadas, los sistemas de asignación de trabajos (órdenes de trabajo), la planificación y calendarización del equipo, y la información histórica de cada equipo.
- Entrenamiento para mejorar las competencias de todos los involucrados. Esto significa entrenamiento en mantenimiento, en operaciones, en liderazgo, en análisis de causa de las pérdidas mayores, en confiabilidad del equipo y otros. Por supuesto, no debe olvidarse el entrenamiento en el TPM mismo, para que todos entiendan qué es y por qué es tan importante para la empresa, este debería ser el primer paso.
 - Gestión del equipo basado en el ciclo de vida entero y diseño preventivo de mantenimiento, que no es lo mismo que el mantenimiento preventivo. Este tipo de diseño preventivo involucra, además del departamento del diseño, a todos los que van a operar y mantener equipos nuevos que se vayan a diseñar, para hacerlos más fácil de operar y mantener desde el inicio.

La experiencia ha demostrado que un sexto factor es vital para que el TPM sea implementado exitosamente, y es el trabajo en equipo, a través de grupos pequeños, enfocado en metas comunes.

3. Comprensión de las pérdidas según el TPM. Como lo menciona el primer pilar del TPM, hay que enfocarse en atacar las pérdidas mayores. Las pérdidas, de las cuales una enorme cantidad suceden en la planta de producción, son causadas tanto por el personal operativo y de mantenimiento, como por otros departamentos. En el TPM, pérdidas de tiempo incluyen paros por falla en la maquinaria, cambios (de producto, de herramientas), pequeños paros, operación a velocidades bajas o menores que las que el equipo puede brindar, y las pérdidas materiales, por ejemplo, son las pérdidas por defectos de calidad o por producciones menores a la capacidad instalada.

Hay varias formas de categorizar las pérdidas, que es conveniente mencionar aquí para enfatizar la importancia que pone el TPM en atacarlas y tratar de eliminarlas. Una forma de agruparlas es dividir las en pérdidas que evitan la función, y en pérdidas que disminuyen o

reducen la función. Las primeras se refieren a las pérdidas que causan un paro total en la producción, que impiden que la maquinaria funcione en absoluto. Las segundas, se refieren a las pérdidas causantes de que la maquinaria funcione ya sea a velocidades bajas, es decir, menores a las que podría funcionar el equipo. Así también se refieren a pérdidas donde el equipo produce con defectos de calidad.

Otra forma de categorización de fallas es la que las agrupa en fallas expuestas y fallas ocultas. Las fallas expuestas son fallas que fácilmente cualquiera identifica como pérdidas, por ejemplo, el tener que botar a la basura una cierta cantidad de producto por defectos. Las fallas ocultas son fallas que no son tan fáciles de identificar y que muchas veces son ignoradas, generalmente, por experiencia y conocimiento escasos del personal involucrado. Estas suceden, por ejemplo, cuando el operador frecuentemente se ve en la necesidad de desatascar piezas que normalmente deberían fluir sin problemas. Como el operador necesita solamente de una acción sencilla y rápida para solucionar el problema -empujar la pieza con una varilla y volver a arrancar la máquina, perdiendo solamente algunos segundos o minutos- es muy probable que esta pérdida sea ignorada y no se le ponga atención, y que sea vista como algo normal, cuando no debe ser así.

4. La relación del OEE con las pérdidas y su importancia en el TPM. En el TPM, la relación entre las pérdidas y la efectividad del equipo o maquinaria están claramente definidas en términos de la calidad del producto y de la disponibilidad del equipo. Al analizar a fondo los factores que disminuyen la efectividad de la maquinaria y el equipo, se distingue lo que son denominadas como las seis grandes pérdidas, las cuales se agrupan en los siguientes tipos:

- Pérdidas por fallo: son causadas por defectos de la maquinaria que requieren reparación de algún tipo. Estas pérdidas, por ejemplo, consisten en tiempo de paro así como la mano de obra y los repuestos requeridos para reparar el equipo; su magnitud se mide mediante el tiempo de paro.
- Pérdidas por preparaciones y ajustes: son causadas por cambios en las condiciones de operación, como el inicio o arranque de un lote de producción, cambios de

turno, cambios de producto y similares. Estas pérdidas consisten entonces, por ejemplo, en tiempo de paro por preparación de una máquina, cambio de molde, troquel, o herramientas en general, arranques y ajustes; su magnitud también se mide mediante el tiempo de paro.

- Pérdidas por pequeños paros: son causadas por situaciones como paro de la máquina, atascos o corridas en vacío. En general, estas pérdidas no pueden ser registradas automáticamente y confiablemente sin instrumentos apropiados. Por eso, el tiempo perdido por estos paros normalmente se calcula mediante una fórmula: se divide la producción real dentro de la teórica, y se multiplica el resultado por el tiempo de operación real. Se denominan pequeños paros porque generalmente duran menos de cinco, o a su máximo diez minutos, y no se requiere generalmente una reparación, sino simplemente un reinicio de operación por parte del operador, y tal vez alguna acción que desatasque alguna pieza.
- Pérdidas de velocidad: son causadas por operación del equipo a velocidades menores a las que podría trabajar, es decir a velocidad baja. Suceden porque al subir la velocidad a un valor en el cual teóricamente la máquina debería poder producir, suceden defectos de calidad o pequeños paros con gran frecuencia, motivando al operador a bajar la velocidad en vez de mejorar el equipo.
- Pérdidas por defectos de calidad y reprocesamiento: son causadas por productos que fueron hechos con defectos o fuera de especificación, durante la producción normal. La pérdida consiste en los materiales que deben ser tirados y por lo tanto desperdiciados, así como la mano de obra y tiempo de máquina necesarios para corregir los productos, en caso se puedan reprocesar para arreglarlos.
- Pérdidas por el proceso de producción: son causadas por materiales desperdiciados o no utilizados. Se dividen en dos subgrupos: el primero, lo componen las pérdidas de material que resultan del método utilizado para producción, del diseño, o por restricciones del equipo; el segundo grupo lo componen las pérdidas que resultan de ajustes o de defectos causados por la estabilización del equipo al inicio del tiraje o después de un cambio de herramienta.

Estas seis categorías de pérdidas se relacionan directamente con los tres factores que componen el OEE, pues los afectan directamente, cada tipo a cada factor. Los factores son:

- Disponibilidad: Lo afectan las pérdidas por fallo y las pérdidas por ajustes y preparaciones, pues se calcula a partir de la fórmula:

$$\frac{\text{Tiempo de trabajo real (tiempo programado - tiempo paros)}}{\text{Tiempo programado}}$$

Tiempo programado

- Rendimiento: Lo afectan las pérdidas por pequeños paros y las pérdidas por velocidad, pues se calcula a partir de la fórmula:

$$\frac{\text{Producción real}}{\text{Producción teórica}}$$

Producción teórica

- Tasa de calidad o producción total: Lo afectan las pérdidas por defectos de calidad y reprocesamiento, así como las pérdidas por el proceso de producción. Se calcula de la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Producción sin defectos}}{\text{Producción real}}$$

Producción real

Para brindar un porcentaje, los tres factores se multiplican entre ellos, y luego por cien. El porcentaje resultante indica el OEE. El Gráfico 1 contiene una ilustración que aclara el concepto.

La importancia de este índice de efectividad es que nos brinda una herramienta poderosa para detectar dónde existen las mayores pérdidas en nuestros procesos y atacarlas sistemáticamente, aparte del hecho que expone todo tipo de fallas, no importa si están ocultas, pudiendo notar, en la tendencia que tenga el OEE, si nuestros planes de acción están brindando los resultados deseados. Con ayuda de otras técnicas de análisis, podemos usar al OEE como uno de los principales indicadores para medir la efectividad del TPM en una empresa, y por ende, de la efectividad del plan de mantenimiento utilizado.

Gráfico 1: Cálculo del OEE



$$OEE = \frac{B}{A} \times \frac{D}{C} \times \frac{F}{E} \times 100$$

DISPONIBILIDAD RENDIMIENTO TASA DE CALIDAD

IV. ENTORNO EN UN SISTEMA TPM

A continuación se describe el entorno en un sistema TPM para ilustrar de mejor manera el papel que interpreta el departamento de mantenimiento en relación con los demás departamentos de la empresa, las actividades principales, y por último la delimitación de las funciones del departamento de mantenimiento.

Como primer punto, el TPM no es un fin, sino un medio para obtener las metas gerenciales de la compañía. Las compañías en general debieran luchar por obtener ganancias y mejorar la calidad de vida laboral de sus trabajadores. Desde el punto de vista del TPM, esto se traduce a mejorar la productividad, la calidad, el costo, el inventario, la seguridad y la moral o motivación.

A. LAS SEIS ACTIVIDADES DEL TPM

Es necesario adaptar el desarrollo del TPM a las condiciones existentes en cada compañía, pues depende de los productos que se fabrican, la configuración de la planta, la organización, la cultura local y otros factores. En general, sin embargo, el TPM consiste de estas seis grandes actividades:

1. Eliminación de las seis grandes pérdidas. En sistemas convencionales la mayoría de estas seis grandes pérdidas generalmente han sido atacadas con técnicas tradicionales o peor aun, han sido ignoradas. En ocasiones, el personal se asusta al existir la posibilidad de que estas pérdidas sean expuestas al medir el OEE. Una respuesta efectiva a este problema es crear equipos organizados apropiadamente usando miembros de los departamentos de producción, mantenimiento e ingeniería de planta. Frecuentemente las actividades de estos equipos son dirigidas por personal de producción. Consisten básicamente

en la eliminación de problemas utilizando enfoques innovadores. Los problemas existentes hasta el momento son eliminados en un tiempo relativamente corto de tres a seis meses. Este enfoque ayuda a eliminar problemas en el piso de planta que restarían tiempo a los operadores en sus futuras actividades de mantenimiento autónomo. Asimismo ayuda a demostrar que pérdidas crónicas persistentes pueden ser eliminadas.

2. **Mantenimiento planificado.** Un sistema de mantenimiento planificado es establecido principalmente por el departamento de mantenimiento. El personal de mantenimiento debe hacer un esfuerzo de manera rápida para poder poner la base a las demás actividades, que se dividen básicamente en cuatro:

- Reducción de la variabilidad de vida de las piezas
- Extensión de la vida de las piezas
- Restauración de las piezas deterioradas periódicamente
- Predicción de la vida de las piezas

En algunas compañías estas cuatro nuevas actividades del mantenimiento planificado se llevan a cabo de manera paralela para que coincidan con las nuevas actividades de los operadores. Luego de maximizar la vida de las partes se puede establecer un mantenimiento periódico. Para equipos críticos, se maneja la vida de las partes observando el estado y reemplazando las piezas antes que fallen. En esta forma se puede aplicar un mantenimiento basado en la condición (predictivo) para extender la vida de los componentes.

3. **Mantenimiento autónomo.** Las actividades del mantenimiento autónomo son llevadas a cabo por los operadores con la asistencia técnica del personal de mantenimiento. Los operadores son entrenados para lograr establecer las condiciones básicas del equipo limpiando, lubricando y apretando correctamente las diversas partes de éste. Así también consiguen aprender a observar el equipo para detectar fallas en su fase inicial, para poder ser restauradas, y realizan mantenimiento de rutina. El mantenimiento autónomo es programado de manera que los operadores complementen las actividades del mantenimiento planificado que hayan sido establecidas y que serán realizadas por el

departamento de mantenimiento. La experiencia ha mostrado que para establecer un plan funcional de mantenimiento autónomo, se necesitan por lo menos tres años. Sin embargo, a pesar de ser un consumo alto de tiempo, los beneficios son significativos.

4. Ingeniería preventiva. Muchos problemas ocurren durante el período de arranque de una línea nueva de producción, los cuales deben ser resueltos. La administración temprana del equipo comprende una secuencia de acciones correctivas gestionadas de manera óptima para transformar las operaciones en producción comercial lo antes posible. Para este fin, las causas de los problemas mencionados deben ser eliminadas, no solamente durante el período de puesta en marcha, sino en un período previo, cuando suceden una serie de actividades de ingeniería. Estas incluyen diseño conceptual, diseño básico, diseño detallado, adquisición y fabricación, instalación, corridas de prueba y entrega a producción. Además, debe estudiarse qué atributos del equipo entran en conflicto a la hora de decidirse por uno o por otro, y llegar a un acuerdo que optimice las funciones. Esta revisión puede comprender temas como la confiabilidad, la facilidad de mantenimiento, la economía, la operabilidad y la seguridad. Esto puede dar como resultado descubrir soluciones a problemas y mejoría de equipo futuro basado en experiencias pasadas.

5. Diseño de producto de fabricación simplificada. A pesar del ciclo corto de vida de los bienes, las necesidades diversas de los consumidores deben ser satisfechas en términos de atractivo del producto, diseño, calidad y precio para mantener la competitividad en el mercado. Como resultado, estos retos de manufactura, que una vez fueron difíciles de resolver mediante el esfuerzo proveniente únicamente del piso de planta, ahora pueden ser eliminados de una manera un poco más sencilla si la etapa de diseño del producto se realiza de manera que la simplicidad de fabricación y la calidad del producto vayan incluidas en éste desde el principio.

6. Educación. No se espera que las actividades mencionadas las lleven a cabo especialistas en TPM externos. A pesar de que las capacidades internas actuales o iniciales pueden no ser suficientes para lograr los objetivos del TPM, todos los trabajadores participantes deben realizar actividades con sus propios medios para dominar el

conocimiento y las técnicas básicas, tomando toda oportunidad de educación que se presente. Esta actividad nunca debe finalizar, la educación debe ser estratégica para el TPM.

B. ACTIVIDADES DE MANUTENCIÓN INHERENTES AL EQUIPO

Uno de los mayores cambios que introduce el TPM en las industrias es la noción de que las actividades de mejora y mantenimiento del equipo nunca deben ser realizadas solamente por el departamento de mantenimiento, a pesar de que éste posee un papel muy importante dentro del sistema. Entre las actividades más importantes en una fábrica se puede mencionar la operación del equipo y su mantenimiento, que forman el corazón del proceso productivo, sin embargo, estas dos funciones generalmente estaban –y frecuentemente están todavía– separadas la una de la otra. Los operadores se concentraban en la producción con escaso conocimiento de la estructura y funciones del equipo. Asimismo, el personal de mantenimiento tenía una actitud indiferente hacia las órdenes de producción o la calidad del producto. Como resultado, los operadores y el personal de mantenimiento seguían sus propios caminos separados, en vez de la mutua cooperación.

Para poder alcanzar los objetivos del TPM, que generalmente se resumen en cero fallas, cero defectos, cero accidentes y costo mínimo, las funciones de los departamentos de producción y de mantenimiento deben ser vistas desde una perspectiva diferente a la convencional. En el TPM, muchas actividades que normalmente eran ejecutadas por los mecánicos del departamento de mantenimiento son adjudicadas a los operadores de las máquinas; como ejemplo podemos citar el mantener las condiciones básicas del equipo, y apearse a utilizarlo de acuerdo a éstas, inspección del equipo para detectar anomalías, mejorar sus habilidades de ajuste, preparación, inspección sin menoscabar por supuesto sus atribuciones de producción. Esto no quiere decir que el departamento de mantenimiento se desentienda por completo de las máquinas. Una de las responsabilidades obvias pasa a ser asistencia técnica en las actividades de mantenimiento por parte de los operadores, que como dijimos, se denomina mantenimiento autónomo.

Aparte, el departamento de mantenimiento, o los encargados de mantenimiento a tiempo completo, en un entorno TPM, se encargan primordialmente de actividades de manutención más sofisticadas, como por ejemplo restaurar partes defectuosas en el equipo, usando técnicas y estrategias como restauración, inspecciones de diagnóstico de maquinaria, observación y análisis de la condición del equipo, identificar y establecer las condiciones básicas del equipo –en contraste con los operadores, quienes una vez establecidas, deben mantenerlas y apegarse a ellas– así como tomar decisiones de cambio de diseño si se llega a detectar una debilidad en éste, por último, mejorar continuamente las habilidades y conocimientos acerca del mantenimiento del equipo y la maquinaria. Como indica parte de la definición dada del TPM, hay actividades inherentes de manutención de la maquinaria y equipo. Para lograr completamente las metas de maximización de la efectividad del equipo, aumentando al máximo la confiabilidad y la facilidad de manutención del equipo, a través de actividades de mantenimiento, se debe realizar todas las actividades a continuación descritas, sin omitir ninguna. En general, ellas pueden agruparse en dos grandes categorías:

1. Actividades para mantener o preservar el equipo. Son actividades que buscan mantener al equipo en su condición básica y funcionando el mayor tiempo posible, esta categoría incluye lo siguiente:

- Mantenimiento preventivo:
 - Mantenimiento de rutina: Mantener las condiciones básicas del equipo y reemplazar partes deterioradas.
 - Mantenimiento periódico (basado en el tiempo): Inspeccionar periódicamente el equipo y restaurar las partes defectuosas.
 - Mantenimiento predictivo (basado en la condición): Corregir el deterioro del equipo a través de la observación y análisis de la condición y el diagnóstico de la maquinaria.
- Mantenimiento post-fallo: Corrección del deterioro del equipo después de ocurrido ya el paro por falla. Este tipo de mantenimiento gradualmente se vuelve innecesario o controlado al implementar el TPM exitosamente.

2. Actividades de mejora o correctivas (no confundir con mantenimiento correctivo). Extienden la vida del equipo, reducen el tiempo necesario para trabajos de mantenimiento, lo cual eventualmente -e idealmente- hacen del mantenimiento *per se* innecesario. Estas incluyen:

- Mejoramiento de la confiabilidad: Evita o previene paros por falla mejorando la confiabilidad de los sistemas que conforman el equipo al máximo.
- Mejoramiento de la facilidad de manutención: Hace de los trabajos de mantenimiento algo más simple y sencillo.

Todas estas actividades, que comprenden las actividades necesarias o inherentes al equipo, pueden clasificarse dentro de tres grupos que son restauración, inspección y prevención del deterioro del equipo. Si alguna de las actividades arriba mencionadas se omite, los objetivos del TPM o de cualquier filosofía de administración que tenga que ver con equipo y maquinaria no se obtendrán, a pesar de que estas actividades difieren entre sí en términos de métodos y efectividad.

C. FUNCIONES DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO EN EL TPM

Después de dar a conocer las actividades completas de mantenimiento del equipo, podemos ahora asignar las adecuadas al departamento de mantenimiento. A continuación se describen las funciones de mantenimiento para el departamento de mantenimiento a tiempo completo, las cuales se enfocan en inspección y prevención de deterioro del equipo:

1. Concernientes a restaurar partes deterioradas

- Reparar fallas repentinas.

2. Concernientes a inspeccionar el deterioro

- Realizar inspecciones periódicas.

- Realizar observaciones y análisis de la condición y diagnósticos de la maquinaria para estimar la vida de partes críticas.

3. Concernientes a prevenir el deterioro

- Realizar restauraciones profesionales de mantenimiento.
- *Planificar y gestionar el trabajo de mantenimiento a ser subcontratado.*
- Mejorar la confiabilidad y facilidad de manutención del equipo.
- Gestionar la información concerniente a la mejora continua y trasladarla al departamento de ingeniería de planta.

A continuación es importante listar las actividades de manutención que, bajo el sistema TPM, son adjudicadas a personal que no pertenece al departamento de mantenimiento, es decir, a los operadores y supervisores de producción.

D. FUNCIONES DE MANUTENCION PARA EL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN

El departamento de producción se enfoca en la prevención del deterioro, encargándose de realizar las siguientes actividades:

1. Concernientes a restaurar partes deterioradas

- Establecer y mantener condiciones básicas del equipo (limpiarlo, lubricarlo y *apretar los elementos de sujeción*).
- Colaborar con el personal de mantenimiento a reparar o mejorar el equipo.

2. Concernientes a inspeccionar el deterioro

- Realizar inspecciones rutinarias.
- Participar en algunas partes de las inspecciones periódicas del departamento de mantenimiento.

3. Concernientes a prevenir el deterioro

- Realizar reparaciones menores (reemplazos simples o fáciles de partes).
- *Registrar información de fallos, pequeños paros y defectos de calidad.*
- Reportar al departamento de mantenimiento acerca de ocurrencias de fallas y defectos de calidad
- Asistir al departamento de mantenimiento en reparaciones del equipo

Se puede notar la diferencia entre el enfoque que el TPM le da a las actividades de mantenimiento y el enfoque convencional. Es importante notar esto, pues solamente haciendo estos cambios de asignación es posible para la empresa restaurar todas y cada una de las piezas deterioradas en el equipo fielmente. Esto es así, pues ahora el personal de producción prácticamente se encarga de mantener el equipo en sus condiciones básicas. Esto, obviamente, con asistencia del personal de mantenimiento, pero con la responsabilidad acerca de la tarea, algo que en sistemas convencionales no es así.

Esto le permite al personal de mantenimiento, como ya mencionamos, encargarse de niveles de mantenimiento más elevados y sofisticados para mejoras, observación y análisis de la condición, diagnósticos de maquinaria, y gestión del riesgo, para mencionar algunos tipos. Así también le permite reportar información más detallada y completa al departamento de ingeniería de planta acerca de debilidades en el diseño descubiertas en el equipo existente. Gracias al reducido número de fallas repentinas que se logra mediante la participación de los operadores, los miembros del departamento de mantenimiento pueden realizar varias tareas de rutina que antes no podían, aun cuando su intención era hacerlo.

V. CONTEXTO Y ALCANCE DEL TRABAJO

El propósito de este trabajo es dar una propuesta de un plan de mantenimiento para el departamento de mantenimiento en una empresa que produzca latas de acero fundamentado en el TPM. Se abarca solamente el departamento de mantenimiento, donde el enfoque de este departamento y del plan será basado en un enfoque piramidal que va construyendo niveles de factores necesarios para crear un plan moderno y efectivo. Únicamente se abarca el diseño y la propuesta del plan, pues el establecimiento de un plan entero de TPM dura aproximadamente cuatro años.

A. Importancia del plan de mantenimiento basado en TPM

La importancia de este plan basado en el TPM para la empresa en cuestión radica en varios factores, mencionados a continuación:

- La empresa cuenta con máquinas que convierten al proceso en uno altamente automatizado, se podría decir que alcanza un 90% de automatización, por lo que los resultados que se pueden obtener por medio de este sistema hacen que valga la pena el esfuerzo requerido para conseguir una alta productividad y convertirse en una empresa altamente competitiva.
- La alta gerencia de la empresa tiene un alto compromiso con la mejora continua, y está involucrada con la calidad del producto.
- Existe un sistema que ya mide la efectividad del equipo (OEE) y genera planes de acción, con lo que ya se tiene un buen avance para establecer el TPM.
- Si bien ya existe este sistema, uno de los objetivos de la empresa es subir las eficiencias de las líneas, los cuales oscilan de un 60% a un 75%.

- Existen algunos clientes que ya están en etapas avanzadas de TPM, y ha habido recomendaciones de ellos de seguir un sistema de este tipo, para el mutuo desarrollo de las partes involucradas en el negocio.
- Por ser el producto casi en un 80% para la exportación, la empresa debe, con mayor énfasis, continuar fortaleciendo su competitividad día a día, permanentemente.

B. Procesos para producir latas de acero

Una vez expuestos los factores que hacen valedero el plan de mantenimiento basado en TPM, se da a conocer brevemente la materia prima utilizada y los procesos utilizados para la producción de las latas de acero:

1. **Materia prima.** Para producir las latas de acero se usan láminas de acero de espesores menores a los 0.2 mm. Las láminas son rectangulares y alcanzan un tamaño, en promedio, de 1 m x 0.9 m. Además, tienen una fina capa de estaño que las recubre y protege contra oxidación. La forma en que son utilizadas es en paquetes denominados fardos, que contienen de 1000 a 1500 láminas.
2. **Preparación.** En la preparación, se le aplica un recubrimiento a las láminas que brinda una superficie apropiada para su posterior decoración o impresión. Esta base puede ser blanca, dorada o transparente.
3. **Impresión.** Una vez preparadas las láminas, son decoradas en impresoras que pueden colocar dos colores a la vez. En este proceso se le imprimen las imágenes, códigos de barra y los textos a las láminas.

F. Barnizado final. El barnizado final consiste en aplicarle a las láminas ya impresas una capa de barniz transparente que le brinda una superficie más brillante y atractiva a la impresión, así como una protección contra el rayado y las peladuras.

G. Troquelado y embutición (poca profundidad). Las láminas que ya tienen barniz final están listas para pasar al proceso de troquelado y embutición. Este se logra en una sola operación, pues los troqueles cortan, embuten y forman de un solo golpe las latas. En este punto es importante mencionar que las latas se componen de dos partes, la tapa y el fondo. Si es tapa, ésta sale directamente a empaque luego de haber pasado por el troquelado y la embutición. Si es fondo, necesita un proceso más, que veremos a continuación.

H. Doblado y rebordeado. El doblado y el rebordeado le dan al fondo de la lata una apariencia característica, y se logran en una sola máquina. Ambos forman el borde enrollado del fondo, y es un enrollado hacia adentro.

I. Empaque. Por último, son empacados en cajas de cartón. Las cajas vienen cerradas de las líneas de producción, pero aun pasan por una verificación del peso para asegurar la cantidad correcta, y es aquí donde la caja se sella finalmente con cinta adhesiva y es identificada con tinta indeleble.

VI. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UNA FÁBRICA DE LATAS DE ACERO

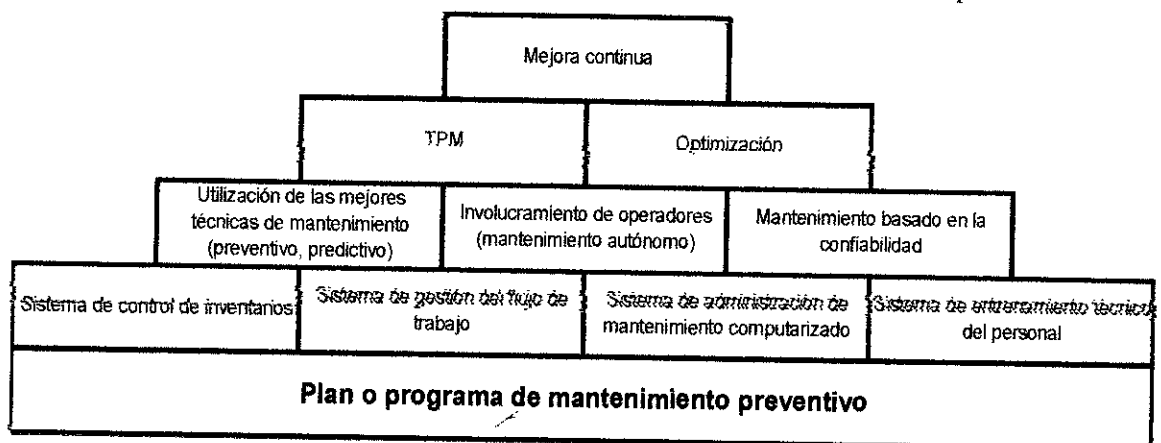
A. FUNDAMENTOS DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO

Después de haber dado una descripción de lo que es el TPM, qué actividades comprende, y de haber especificado la esencia de las funciones del departamento de mantenimiento en un entorno TPM, se puede entonces pasar al siguiente punto, que es el tema de este trabajo: crear un plan de mantenimiento que encaje de manera adecuada en un sistema TPM.

Es necesario entonces definir primero claramente qué factores son necesarios para conformar un plan de mantenimiento moderno, robusto y efectivo que cumpla con las actividades de mantenimiento que se enfoquen a la inspección y la prevención del deterioro en la maquinaria y equipo que requiere el TPM.

El gráfico 2 presenta los factores –representados por bloques en una pirámide– que actualmente se considera debe poseer o crear una empresa para su plan o programa de mantenimiento preventivo, para pasar de un estado convencional con aspectos mayoritariamente reactivos, a uno que no solamente encaje con el TPM, sino que además busque la excelencia, es decir, que luche por alcanzar las mejores prácticas en mantenimiento, maximizando la disponibilidad, la confiabilidad y la mantenibilidad del equipo.

Gráfico 2: Factores necesarios para un programa de mantenimiento preventivo



El plan de mantenimiento preventivo es el núcleo o corazón del TPM y de toda estrategia de mantenimiento. Es importante aquí resaltar que en este contexto, el plan de mantenimiento preventivo se usa como sinónimo de todas las actividades dentro del departamento de mantenimiento, y no en el sentido más reducido con que se conoce la técnica llamada mantenimiento basado en el trabajo o tiempo de trabajo, que busca predecir la vida de las partes para reemplazarlas antes de que fallen, pero sin una observación de la condición. La razón por la cual hay que hacer esta distinción es porque la frase “plan o programa de mantenimiento preventivo”, a pesar de que nació del mantenimiento basado en el trabajo o tiempo de trabajo del equipo, quedó tan enraizado en las esferas de mantenimiento, que a la fecha se usa para describir el mantenimiento entero como tal, es decir, todas las actividades, técnicas y estrategias usadas para mantener equipos, sean estas reactivas, preventivas o predictivas.

Como el Gráfico 2 muestra, el plan de mantenimiento debe contar con ciertos bloques o factores fundamentales para lograr tanto funcionar en un entorno TPM como mejorar continuamente. El plan se presenta a partir del inciso B. de este capítulo.

B. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PARA UNA FÁBRICA DE LATAS DE ACERO

Los factores mencionados anteriormente, así como las más recientes teorías de administración de sistemas de mantenimiento se tomarán como guía, para proponer y describir el plan de mantenimiento para la fábrica de latas de acero de interés.

1. **Requisitos.** Como primer punto, al tener en mente un proyecto de creación, modificación o mejora del plan de mantenimiento, debe tenerse en cuenta que *para que el proyecto sea exitoso debe contar con el total conocimiento, apoyo y respectiva prioridad correspondiente por parte de la alta gerencia.* Generalmente, este requisito se cumple automáticamente al poner en marcha el proyecto de TPM, pues éste lo exige de igual manera.

Asimismo, debe existir un dueño del proyecto, quien se encarga de definir y planificar los pasos a seguir, las etapas de las que consta la planeación, implementación y seguimiento del plan o programa de mantenimiento. En todos los casos, el Jefe de Mantenimiento debe estar directamente involucrado, y de no ser éste el dueño del programa, necesariamente debe estar al tanto de todo lo correspondiente al proyecto. Se pueden utilizar consultores o asesores especializados en la materia para ahorrar tiempo.

El dueño del proyecto se encarga entonces primero de la recopilación de información, tanto de investigación para conocer y estar actualizado en los temas como el TPM, administración de sistemas de mantenimiento, y técnicas de mantenimiento, así como de recabar información de la empresa para la cual se propondrá el plan.

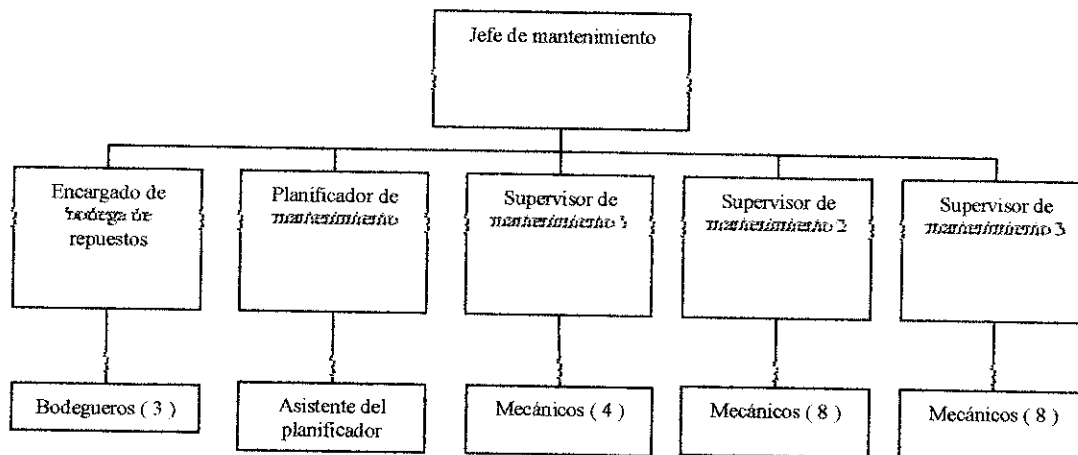
2. **Visión del proyecto.** La visión del proyecto básicamente comprende el o los objetivos globales de éste, y puede también incluir estrategias y políticas, así como la filosofía o política que se seguirá. Esta es muy importante, pues nos ayuda a tener clara la meta y a guiarnos para decidir las acciones a seguir. Para este proyecto, la visión del

plan o programa de mantenimiento, y por lo tanto del departamento de mantenimiento, es la siguiente:

A través del plan o programa de mantenimiento, se busca aumentar al máximo la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos de producción, así como reducir al mínimo los costos de las actividades de mantenimiento. Para ello siempre se buscarán los mejores métodos y estrategias. Adoptamos los preceptos del TPM, buscando la máxima utilización del equipo, tomando en cuenta que éste le asigna al departamento de mantenimiento –esto es, mantenimiento a tiempo completo– las funciones de inspección y prevención del deterioro del equipo como tareas primordiales.

3. Estructura del departamento de mantenimiento. En este punto es conveniente proponer la estructura del departamento de mantenimiento, utilizando el Gráfico 3 que muestra el organigrama sugerido, seguido de una descripción breve de las funciones primordiales de cada puesto, para tener una idea de los responsables de las actividades que describirá el plan posteriormente:

Gráfico 3: Organigrama propuesto del departamento de mantenimiento



– Jefe de mantenimiento:

Es el líder máximo del departamento de mantenimiento. Él debe:

- Difundir la visión y los objetivos de la empresa y ser el primer colaborador en *crear los propios del departamento*.
- Debe asegurarse que el personal a su cargo conozca sus funciones.
- Debe darle seguimiento continuo al sistema y al plan de mantenimiento, para poder cumplir con la función de líder y guiar al departamento entero hacia la consecución de los objetivos.

– Encargado de bodega de repuestos:

Será el encargado de que el sistema de control de inventarios sea efectivo. Debe:

- Promover los objetivos planteados para la bodega de repuestos y el sistema de control de inventarios establecidos.
- Asegurarse que los bodegueros tengan claras sus funciones, objetivos y actividades que deben realizar y como realizarlas.

– Planificador de Mantenimiento:

Es el dueño del sistema de gestión del flujo del trabajo. Debe:

- Mantener estrecha relación con los supervisores de mantenimiento y el encargado de bodega de repuestos.
- Informar periódicamente al jefe de mantenimiento del estado de las variables principales del sistema de trabajo.
- Mantener la información del sistema ordenada, exacta y al día.

– Asistente del Planificador de Mantenimiento:

La carga de trabajo de planificación es alta, en especial al inicio. El asistente debe absorber el porcentaje de carga de trabajo que requiera documentación y otras actividades similares, para liberar tiempo suficiente del planificador para la planeación en sí.

– Supervisor de Mantenimiento 1, 2 y 3

Los supervisores de mantenimiento tendrán a su cargo las actividades de mantenimiento de las áreas de preparación e impresión, prensas troqueladoras y segundas operaciones (doblado y rebordeado). Estas personas deben:

- Ser el nexo entre el planificador y los mecánicos.
- Coordinar las actividades de los grupos que realizarán las actividades.
- *Informar al Jefe de Mantenimiento periódicamente del avance y estado de sus actividades.*

– Mecánicos (20)

Actualmente, existen veinte mecánicos en la fábrica de latas, distribuidos como se muestra en el Gráfico 3. Ellos deben:

- Llevar a cabo las acciones y actividades planificadas y asignadas al grupo, son quienes hacen realidad el programa de mantenimiento.
- Llevar a cabo las actividades asignadas en el tiempo establecido, y según las instrucciones existentes.
- Conocer el funcionamiento de la maquinaria a su cargo (son ellos quienes con mayor énfasis deberían poseer esos conocimientos).

4. Determinación de los equipos que se incluirán en el plan. Este paso es de gran importancia, pues delimita qué equipos y maquinaria cubrirá el plan, de la misma manera en que una aseguradora delimita qué tipo de póliza desea el asegurado. En este paso, se aconseja crear un listado que incluya la maquinaria mencionada, y crear a su vez una nomenclatura con códigos para cada equipo acorde a las necesidades del plan.

Por ejemplo, puede utilizarse un código alfanumérico de tres partes como el siguiente: 01-BZ-01. El primer bloque describe el área, el segundo bloque el tipo de máquina, y el tercero, un identificador correlativo único. Este código entonces significaría la máquina del área de preparación (01), la cual es una barnizadora (BZ) y es la número 1 (01). El listado entonces se aprecia en el Gráfico 4:

Gráfico 4: Listado de maquinaria

LISTADO DE MAQUINARIA INCLUIDA EN EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	
Código	Descripción
01 - BZ - 01	Barnizadora LTG
02 - IM - 01	Impresora Crabtree Marquess simple
02 - IM - 02	Impresora Crabtree Marquess doble
03 - TQ - 01	Prensa troqueladora P15
03 - TQ - 02	Prensa troqueladora P15
...	...

Cada máquina en ese listado maestro debe poseer también su propia tarjeta con sus datos y especificaciones. Se muestra la tarjeta individual en el Gráfico 5:

Gráfico 5: Tarjeta de maquinaria

TARJETA DE MAQUINARIA	
Código de máquina	
Nombre de la máquina	
Estado (activa - no activa)	
Factor crítico	
Fabricante	
Modelo	
Número de serie	
Fecha de adquisición	
Costo	

Se propone que la lista, una vez creada, sirva para crear identificadores de cada equipo, por ejemplo, placas o calcomanías que deben permanecer fijadas de alguna manera al equipo, en un lugar donde puedan leerse fácilmente y que no sufran daño por la operación del mismo. Este paso es básico para que la identificación de cada maquinaria sea única e inequívoca, de manera que no haya ambigüedades al momento de asignar tareas al equipo, y es indispensable para alimentar bases de datos que deben crearse para la gestión del mantenimiento.

Debe crearse también un procedimiento de actualización del listado y de las tarjetas, donde se asigne a un responsable de actualizar los datos del listado y las tarjetas cada vez que ingrese una máquina adicional, para asegurar que sea cargada con todos sus datos al listado y a su respectiva tarjeta, y que cuando alguna máquina sea retirada de producción, sea retirada del listado o identificada como obsoleta o fuera de uso, según se acuerde en el procedimiento.

5. Sistema de control de inventarios. Generalmente, el primer paso se da con el sistema de flujo de trabajo, sin embargo, como veremos a continuación, el *empezar desde cero con una base de datos que mencionaremos a continuación -la cual sirve tanto para el control de inventario como para el flujo de trabajo y la elección de técnicas-* nos da una ventaja desde el comienzo hacia un sólido programa de mantenimiento. Además, el sistema de flujo de trabajo puede trabajarse paralelamente al sistema de inventario.

Como ya se estableció qué equipos son los que se incluirán dentro del plan, se debe determinar qué repuestos, piezas e insumos son necesarios para mantener al equipo, cuáles estarán en la bodega de repuestos y cuáles no. Debe utilizarse toda la información disponible de manuales de maquinaria y de equipos auxiliares, experiencia del personal que actualmente opera y mantiene la maquinaria, información de estándares y normas internacionalmente aceptadas, conocimientos del dueño del proyecto y la nomenclatura creada en el listado de máquinas.

Hay varias formas de unificar esta información, pero la que se sugiere es crear una base de datos que poseen las industrias de clase mundial: consiste de lo que en inglés se conoce como lista de piezas (*bill of materials, BOM*). Una lista de piezas es básicamente el listado de todos y cada uno de los elementos que conforman los equipos o maquinarias a utilizar.

En mantenimiento, existen tres tipos de estas listas de piezas. La primera es la lista de piezas del fabricante original, que generalmente viene en los manuales, aunque frecuentemente no es exhaustiva. La segunda es el tipo de listado que se utiliza en los sistemas comunes de órdenes de trabajo, los cuales se explicarán más adelante. La tercera, que es la que debemos crear en este paso, es conocida como la lista de piezas de mantenimiento, reparación y operación, o lista de piezas MRO. Esta lista de piezas MRO se define como la lista de componentes que el dueño del equipo ha determinado componen el equipo y que son necesarios para mantenerlo. Esta comprende tanto las piezas que estarán disponibles en inventario del almacén de bodega de repuestos, como las que no se tendrán en el almacén pero que de igual manera son necesarias.

Se ha determinado que los líderes mundiales en la industria y en el área de mantenimiento tienen listas de piezas MRO, un procedimiento y un responsable o responsables para mantenerlas actualizadas y debidamente interconectadas a inventarios, órdenes de trabajo, costos, y a cualquier otra base de datos de maquinaria que pueda existir en la empresa.

La lista de materiales MRO básicamente tiene la siguiente estructura:

- Equipo o máquina
 - Componentes
 - Subcomponente 1
 - Identificador del registro de la lista de piezas MRO del componente
 - Descripción de la pieza o artículo
 - Número identificador de la lista de piezas MRO
 - Número de parte del fabricante original
 - Número de referencia de la pieza, y de dibujos relacionados

costo, que comprenden de un 20% a un 30 % del total de repuestos, y que representan de un 20% a un 30% del costo total. Y los clase C serán el 60% a 80% de los repuestos restantes cuyo costo representan de un 10% a un 20 % del total.

Luego, se debe asignar un factor de cuán crítico es el repuesto en cuestión, donde se le asigna un factor alto C_a a las piezas que son absolutamente indispensables y esenciales para la operación del equipo. Un factor medio C_b se le asigna a las piezas que tienen un efecto ligero o moderado en la operación del equipo en caso no se encuentren disponibles. Por último, se le asigna un factor bajo C_c a las piezas que no son esenciales en lo absoluto para la operación de la máquina. Al obtener la clase –de acuerdo al costo– y el factor de cuán crítico es un repuesto, se le asigna un valor para estrategias de pedidos e inventario. Los valores se asignan según la matriz que muestra la Tabla 1:

Tabla 1: Matriz para ponderación de repuestos según costo y criticidad

	C_a	C_b	C_c
A	1	1	2
B	1	2	2
C	3	3	3

Si al repuesto le corresponde un 1, la estrategia es mantener una cantidad de piezas. Al ocurrir una falla, pedir el reemplazo para el que fue usado, y es común tener una pieza más de seguridad.

Si al repuesto le corresponde la clase 2, se puede usar el modelo conocido como cantidad más económica de pedido (*economic order quantity, EOQ*), así como mantenerse un inventario de seguridad de acuerdo a experiencia, historial y demanda de trabajo del equipo que lo utiliza.

La estrategia de los repuestos catalogados como 3, depende de si las piezas pueden ser mantenidas en el almacén sin que se venzan o que sufran daños, si están disponibles en el mercado local o si el tiempo de entrega es largo, y del factor de cuán crítico es el repuesto o

pieza. Generalmente, por ser estas de bajo costo, se mantienen inventarios grandes y suficientes para periodos largos como un semestre o un año.

Actualmente, la diversidad y cantidad de repuestos que requieren las máquinas automatizadas obligatoriamente requieren de un sistema computarizado que administre todos los aspectos del control de inventarios y la bodega de repuestos. Este puede ser un sistema aislado, aunque se recomienda que las bases de datos estén interconectadas, o totalmente integrado con el programa de administración del mantenimiento.

6. Sistema de gestión del flujo del trabajo. Esta parte del plan es fundamental para poder empezar a medir el mantenimiento. Si algo no se puede medir, en realidad no se puede administrar, pues no se puede decir hacia dónde se dirigen los esfuerzos, no hay cómo saber si se mejora o no, entonces, este factor es fundamental para administrar el mantenimiento. Se debe crear un sistema que permita:

- Llevar un registro de las tareas y trabajos realizados.
- Permitir la recuperación de información para análisis.
- Identificar la demanda de mantenimiento.
- Identificar y asignar los recursos de mantenimiento.
- Planificar y calendarizar las tareas de mantenimiento.

a. Órdenes de trabajo. El primer paso es crear un sistema de órdenes de trabajo.

Éste se encarga de registrar todo el trabajo que se hace en mantenimiento, de donde deriva la razón de su importancia, pues permite saber donde se están utilizando los recursos, y para qué fines. Debe ser creado si no existe, o mejorado si tiene fallas. Para la planta en cuestión, se propone lo siguiente:

Crear un formato estándar para las órdenes de trabajo. En ella debe aparecer la información escrita y detallada de la tarea o tareas que se realizarán, y debe ser llenada para todas las tareas. Este primer paso puede presentar dificultades, pero es necesario pues ayuda a la disciplina requerida en fases más avanzadas del proyecto.

La orden de trabajo creada para la planta productora de latas de acero tiene como propósitos principales:

- Solicitar por escrito todo trabajo realizado por el departamento, para que exista registro de éste.
- Asignar a los trabajadores adecuados para la tarea.
- Brindar la capacidad de planificar y calendarizar las actividades.
- Controlar el trabajo de mantenimiento, esto es vital para su gestión y mejora
- Recolectar información para mejora continua.

Es necesario contar, para que este sistema funcione, con una persona designada con la tarea de administrar las órdenes de trabajo. Si bien puede ser que, dependiendo del tamaño y presupuesto de la compañía, esta persona haga otras actividades, se recomienda que exista una que se encargue exclusivamente de esta tarea, pues la carga de trabajo, especialmente al inicio, es alta. Se le conoce como planificador de mantenimiento. Esta persona debe crear las órdenes de trabajo y el sistema que las utilizará tomando en cuenta que sean prácticos, relativamente simples de usar, y que incluyan desde el inicio toda la información considerada necesaria para planificar efectivamente el mantenimiento.

La orden de trabajo debe contener la siguiente información:

- Código de la orden de trabajo, para identificarla inequívocamente
- Fecha de realización de la tarea
- Descripción de la tarea
- Si existe, tiempo estándar de la tarea, de no ser así, tiempo esperado de la tarea. Sea que exista o no el tiempo estándar, debe existir espacio para anotar la hora real de inicio y la hora real de finalización.
- Persona responsable de la tarea, y listado de quién o quienes realizarán la tarea, así como la competencia necesaria de cada uno, o nivel de cada quien.
- Persona o departamento que solicitó la tarea, es decir, quién originó la actual orden de trabajo
- Detalle de la tarea, estándares esperados de calidad y seguridad
- Repuestos, equipo y herramientas a utilizarse

- El planificador recibe la solicitud y analiza su procedencia así como su viabilidad, de ser necesario, investigará ya sea él mismo o con ayuda de los encargados de mantenimiento cualquier información adicional necesaria para el trabajo.
- El planificador registra, completa, planifica y calendariza la orden de trabajo.
- El planificador crea un original, y tres copias. Entrega dos copias al encargado de mantenimiento relacionado con el área, y una a quien originó la solicitud.
- El encargado de mantenimiento entrega una copia al responsable de realizar la tarea.
- El mecánico o mecánicos asignados llevan a cabo el trabajo y completan la información necesaria en la orden, regresándola llena al encargado.
- El encargado, aparte de supervisar el trabajo, revisa la información, y entrega ambas copias al planificador.
- El planificador llena en limpio la información necesaria en la orden original, y envía una copia llena al solicitante como confirmación de terminada.
- La otra copia puede enviarse al departamento de contabilidad para informar de costos.
- La información del trabajo relacionado con la orden se carga en el histórico o historial de la máquina o equipo.
- Las órdenes se archivan por un tiempo mínimo de un año, según lo estipulado por el sistema de gestión de calidad vigente en la empresa.

b. **Historial del equipo.** En el paso 10 se mencionó el historial de cada equipo. Este expediente es necesario para tener documentada y en un solo lugar toda la información acerca de todos los trabajos realizados al equipo. Este permite también la recuperación de información para analizarla según convenga. En este expediente debe registrarse la siguiente información, como lo muestra el Gráfico 8:

- Código y descripción del equipo
- Localización del equipo y sus especificaciones
- Reparaciones realizadas (sean de emergencia o planificadas)
- Servicios realizados

Gráfico 9: Tarjeta de actividades

TARJETA DE REGISTRO DE ACTIVIDADES

Código del trabajador						
Nombre del trabajador						
Semana			Turno	diurno		
Supervisor				nocturno		
Fecha	tarea realizada (si es O.T. colocar el código)	código MRO	restricción	hora inicio	hora fin	tiempo total
		de piezas usadas				
		si es O.T. no llenar estas casillas				

7. Control del mantenimiento. Con el sistema de órdenes de trabajo creado, se deben controlar las actividades de mantenimiento, entonces se siguen los siguientes pasos:

a. Coordinación y planificación de las órdenes de trabajo. Este paso se ocupa de satisfacer la demanda de trabajo de mantenimiento al mismo tiempo que cumple los requerimientos de producción y la capacidad de los recursos de mantenimiento. Es decir, es aquí donde se coordina y planifica basándose en disponibilidad de recursos, prioridades de producción y de mantenimiento, y restricciones varias. Generalmente, la coordinación de las órdenes pertenecerá a alguno de los siguientes tipos:

- Planificación de mantenimiento preventivo: Éstas supervisan el plan de actividades para prevención del deterioro de la maquinaria y generan las órdenes de trabajo *acordes al plan establecido. Deben regirse por producción, restricciones de capacidad de mantenimiento y operacionales.*
- Clasificación de mantenimiento correctivo: Esta clasificación básicamente divide las actividades en dos grupos: actividades de emergencia, o actividades que deben

ser ejecutadas pero que no afectan la producción por lo que se pueden posponer y sirven como suavizador de los valles y picos de la demanda de mantenimiento.

- Aceptación de mantenimiento adaptativo: En esta categoría están las actividades que pueden adelantarse o posponerse y que hacen más pareja la demanda de mantenimiento. La cantidad de estas actividades generalmente dictará si son realizadas internamente, o si se busca ayuda mediante la subcontratación de mantenimiento en caso haya un exceso de trabajo.
- Ajuste de capacidad de mantenimiento: Esta es una función que se necesita para evaluar si los recursos actuales de mantenimiento son acordes a la demanda. Se evalúa también si se subcontrata o no.

b. Procesamiento de las órdenes de trabajo. Consiste de tres factores:

- *Decisión de cuántas órdenes se escogen para llevar a cabo por lapso de tiempo.*
- *Calendarización de las órdenes, dónde se asignan las órdenes y el tiempo necesario para ejecutarlas. El calendario entonces muestra los recursos que se utilizarán, y permite tener una idea de cuándo se terminarán los trabajos. Sin embargo, por ser el mantenimiento, máxime al inicio, altamente impredecible, a pesar de modelos creados, en muchos casos deberá de corregirse y ajustarse la calendarización de trabajos. Éstos se incluirán o insertarán en los vacíos (órdenes del tipo adaptativas).*
- *Por último, debe haber una forma de entrega y de enterar a cada miembro del departamento de sus funciones planificadas, en las que se ve involucrado para llevar a la realidad el calendario. Es importante contar con procedimientos claros y sistemas y canales de comunicación formales.*

c. *Acciones correctivas de acuerdo a retroalimentación. La retroalimentación es vital para tomar acciones que corrijan problemas o deficiencias del sistema. Esta recoge el estado de las órdenes, disponibilidad del sistema, órdenes de trabajo pendientes o en cola (conocidas como *backlog*), y calidad del trabajo llevado a cabo, para luego ser analizada y mejorar la calidad del trabajo, el costo del mantenimiento y el OEE de la fábrica.*

8. Predicción de la carga y de la capacidad de mantenimiento. Para poder llevar a cabo las actividades de control listadas anteriormente, debe estimarse tanto la carga de mantenimiento para un período futuro, como la capacidad con que se cuenta para responder a la demanda de trabajos.

Primero, es importante mencionar que la carga de mantenimiento, como se mencionó anteriormente, es altamente variable, sobre todo al inicio de un programa que pasa de ser mayormente reactivo a uno proactivo. Entonces, puede tratarse de escoger un modelo que prediga con cierta probabilidad la carga de mantenimiento. Un primer paso, que se adapta bastante adecuadamente a la fábrica de latas en cuestión es el modelo cuantitativo de promedios simples, o puede utilizarse el de promedios ponderados.

Para la planta afectada, la Tabla 2 muestra la carga de horas de mantenimiento mensual en los últimos doce meses:

Tabla 2: Carga de horas de mantenimiento mensual

mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Carga de mantenimiento (horas)	250	312	284	400	240	315	267	289	500	214	295	304

Podemos predecir la carga de mantenimiento para el mes que viene, es decir, para el décimo tercer mes, usando la fórmula de promedios simples. Se utilizan los tres últimos datos, se suman y se dividen:

$$(214 + 295 + 304) / 3 = 271 \text{ horas} = \text{carga para el mes 13}$$

Así, se puede predecir el siguiente mes, tomando el último dato calculado, por ejemplo para el catorceavo mes, sería:

$$(295 + 304 + 271) / 3 = 290 \text{ horas}$$

La otra forma sencilla de poner en marcha un sistema de predicción de carga es usando factores de peso diferentes para un mes u otro, lo cual nos ayuda si podemos observar una tendencia o si, por experiencia y tipo de programación de producción, podemos esperar que la fábrica tienda a comportarse más similarmente a un mes o a otro, como una probabilidad, por ejemplo:

Si escogemos que el último mes tenga un peso 1.5 veces mayor a los dos anteriores, por la experiencia, entonces:

$$w_{12} + w_{11} + w_{10} = 1 \quad \text{de donde} \quad w_{12} = 2 \quad w_{10} = 2 \quad w_{11} = 2w$$

entonces $4w = 1$ por lo tanto $w = 1/4$ y se obtiene

$$w_{10} = w_{11} = 0.25 \quad \text{mientras que} \quad w_{12} = 0.5$$

Al calcular con este factor de peso se tiene la predicción para el mes 13 de esta forma:

$$0.25(214) + 0.25(295) + 0.5(304) = 53.5 + 73.75 + 152 = 279 \text{ horas}$$

Existen modelos más complejos, pero estos dos presentados aquí dan una buena forma de iniciar. Obviamente, la predicción debe compararse con la carga real al final del período, para ver si el modelo es adecuado o no a nuestro proceso.

De la misma manera, debemos intentar calcular la capacidad de respuesta en horas-hombre que posee el departamento de mantenimiento. Actualmente, el departamento cuenta con 20 mecánicos distribuidos en las áreas de preparación de lámina, impresión, troquelado – embutido y doblado– rebordeado. Estos están distribuidos en dos turnos, es decir, existen diez mecánicos por turno. Se trabaja normalmente de lunes a jueves, en turnos de 12 horas, menos una y media de almuerzo y refacción, tenemos 10.5 horas efectivas de trabajo. Cuando la producción lo requiere, se trabaja viernes e incluso sábado. Domingo

prácticamente no se trabaja desde hace dos años. Esto nos da un promedio por semana de 8 a 9 turnos por semana. Para calcular las horas-hombre resultantes tenemos:

$$10 \text{ mecánicos} * 9 \text{ turnos/semana} * 10.5 \text{ horas/turno} * 4 \text{ semanas/mes} = \\ 3780 \text{ horas-hombre al mes.}$$

En teoría, el actual departamento de mantenimiento debería ser capaz de cubrir la demanda. Sin embargo, debemos tomar en cuenta qué debemos programar para no afectar la producción. Esto nos deja solamente los fines de semana, y algunos viernes del mes. Tomando como base tres turnos distribuidos entre viernes, sábado y probablemente domingo, contamos con:

$$3 \text{ turnos/semana} * 10.5 \text{ horas/turno} * 4 \text{ semanas/mes} = 126 \text{ horas al mes para efectuar} \\ \text{mantenimientos que requieran parar la maquinaria. Si los 10 mecánicos aprovecharan} \\ \text{las 126 horas cada uno, podríamos cubrir solamente 1260 horas al mes.}$$

Esto da un panorama inicial para saber como invertir la fuerza laboral de mantenimiento, y puntos de mejora. Podemos intentar reducir el número de horas-hombre a la semana mediante programación intercalada, asimismo, a largo o mediano plazo, mucho tiempo se invertirá en inspección sin paro de maquinaria, lo que aumentará probablemente la carga de mantenimiento, pero la reducirá en lo que a paros de emergencia se refiere. Una vez estimado el inicio, debe seguirse el camino de la optimización de recursos, prediciendo, midiendo la realidad, y actuando de acuerdo a la retroalimentación.

9. *Planificación y calendarización.* El último paso para completar el sistema de gestión del flujo de trabajo es la planificación, y la respectiva calendarización. Estas están estrechamente ligadas. La planificación determina, previo a que el trabajo se haga, los elementos requeridos para realizarlo. La calendarización trata con los tiempos específicos y la alternación de cuando se realizarán las tareas. Una buena planificación es un prerequisite necesario para la calendarización. Al mismo tiempo, para poder planificar bien, se necesita de la retroalimentación de información de la calendarización.

Debe tomarse en cuenta que la planificación y la calendarización de mantenimiento tienen características particulares, diferentes de otros tipos de planificación. Por ejemplo, diferente de la planificación de producción, pues la demanda de mantenimiento tiende a ser más variable que la de producción, los trabajos son más variados o diversificados. Algunas características son similares a otros tipos de planificación, pues requiere de coordinación multidepartamental.

El poseer una buena planificación y calendarización contribuye a:

- Reducir los costos de mantenimiento.
- Optimizar la utilización de la fuerza laboral de mantenimiento, reduciendo retrasos e interrupciones.
- Mejorar y simplificar la supervisión.
- Mejorar la calidad del trabajo de mantenimiento, mediante asignación óptima de recursos y elección de los mejores métodos disponibles.

Además, los objetivos principales de planear y calendarizar son:

- Minimizar el tiempo ocioso de los mecánicos.
- Hacer lo más eficiente posible el uso de los recursos.
- Mantener el equipo en un nivel de producción acorde a la demanda, siempre maximizando la disponibilidad.
- Llegar a lograr planificar y calendarizar todo trabajo de mantenimiento.

El trabajo, para propósitos de planeación, usualmente se clasifica en:

- Mantenimiento rutinario y de prevención: incluye mantenimientos periódicos como lubricación, inspecciones, trabajos repetitivos menores. Este tipo de trabajos es el que más se adapta a la planificación y calendarización.
- Mantenimiento de emergencia: es el que repara tan pronto como sea posible una falla. Estos generalmente causan una interrupción en el flujo de trabajo planificado.

- Modificación de diseño: es el que intenta eliminar la recurrencia de fallos repetitivos en un componente del equipo mediante un cambio en el diseño de alguna o varias piezas.
- Restauración (*overhaul*) calendarizado que involucra paro de la planta: es aquel que requiere que la planta esté totalmente parada.
- Otras reparaciones y restauraciones que no pertenezcan a las anteriores categorías.

Al tener un mejor panorama de las actividades que pueden darse, la planificación debe entonces comprender todas las funciones relacionadas a la preparación de la orden de trabajo, referencia a las listas de piezas MRO involucradas, órdenes de compra que deben hacerse, planos de referencia, procedimientos a utilizarse, equipo y prácticas de seguridad industrial necesarios. Para ser una planeación eficaz, debe incluir:

- Determinación del contenido de la tarea
- Desarrollo de un plan de trabajo.
- Establecimiento del tamaño del equipo que hará la tarea.
- Planificación y pedido de repuestos e insumos necesarios que no haya en inventario.
- Asegurar disponibilidad de equipo y herramientas especiales necesarias
- Asignación de trabajadores con competencia adecuada.
- Revisión de procedimientos de seguridad industrial.
- Poner prioridades a las tareas.
- Asignar centros de costo.
- Completar la orden de trabajo.
- Revisar las órdenes en cola y desarrollar planes para atacarlas
- Predecir la carga de mantenimiento periódicamente.

Para que la calendarización sea efectiva, debe:

- Asignar prioridades de los trabajos que reflejen la urgencia y cuan crítico es un trabajo.
- Asegurarse que todos los repuestos e insumos necesarios estén disponibles en la planta previo a comenzar el trabajo
- Colaborar y coordinar estrechamente con el departamento de producción

- Predecir de manera realista los escenarios que puedan suceder.
- Poseer un grado de flexibilidad medio o alto.

El planificador debe utilizar métodos como el método de la ruta crítica (CPM, *critical path method*) y la técnica de evaluación y revisión del programa (PERT, *program evaluation and review technique*).

La Tabla 3 muestra una forma de darle prioridades a los trabajos:

Tabla 3: Prioridad de trabajos

Prioridad		Lapso de tiempo cuando debiera empezar	Tipo de trabajo
código	nombre		
1	Emergencia	El trabajo debe ser hecho inmediatamente	Trabajo que tiene un efecto adverso inmediato sobre la seguridad, el medio ambiente, la calidad, o que cesará la operación
2	Urgente	El trabajo debe empezar dentro de las siguientes 24 horas	El trabajo tiene alta probabilidad de impactar negativamente la seguridad, el medio ambiente, la calidad, o de cesar la operación
3	Normal	El trabajo debe comenzar dentro de las siguientes 48 horas	El trabajo afectará la producción en un lapso de una semana
4	Calendarizado	Según calendario	Mantenimiento preventivo, rutinario, todo trabajo programado
5	Se puede posponer	El trabajo debería empezar cuando los recursos estén disponibles o en un periodo de paro programado	Trabajos que no tienen un impacto inmediato en la seguridad, salud, medio ambiente, o el proceso productivo

C. Sistema computarizado de administración del mantenimiento

Si bien éste no es indispensable como tal –existen compañías japonesas con sistemas tanto de calidad total como de mantenimiento productivo total que utilizan sistemas manuales para administrar sus actividades de mantenimiento– es recomendable, si se establece un buen

sistema de inventarios y un buen sistema de flujo de trabajo previamente, actualizar estos a ser computarizados, pues brinda facilidades que no se tienen en sistemas manuales convencionales, como búsqueda de información y análisis de información en segundos, así como capacidad de almacenaje prácticamente ilimitado y sin ocupar espacio en anaqueles, archivos, y demás lugares típicos para resguardar documentos.

El sistema en cuestión se refiere a un software o programa de computación que permita, mediante bases de datos, entrelazar y administrar las tareas de mantenimiento a través de órdenes de trabajo generadas por el programa, calendarización por medio de éste, registro de costos de horas-hombre, repuestos, insumos. En el mercado existe una oferta muy grande de estos programas, y de precios muy variados. Para los fines de la fábrica en cuestión, se considera que si es necesario contar con uno de estos programas.

Las razones que justifican el uso de este programa son:

- La cantidad de información que se acumula al poner en marcha un plan de mantenimiento como el propuesto es gigantesca.
- El tiempo de respuesta para analizar y recuperar información en un sistema computarizado es muchísimo menor que en un sistema manual.
- Permite, si se tiene un buen sistema y codificación o nomenclatura previo, procesar con relativa simplicidad y con ahorro de tiempo las órdenes de trabajo, así como hacer eficiente el proceso de planeación y calendarización.

El describir un sistema de administración de software podría reunir suficiente información para otro trabajo de graduación, por lo que en el presente, nos limitaremos a observar lo siguiente:

Prácticamente todos los programas que ofrece el mercado poseen capacidad de manejo de órdenes de trabajo, una base de datos de tareas, otra de costos, una para ingresar los equipos o maquinaria, y otra para control del recurso humano.

Sin embargo, para esta fábrica de latas de acero, debe tomarse en cuenta que el sistema debe soportar la creación de listas de piezas MRO, que son fundamentales para el inventario y las órdenes de trabajo, y debe soportar el control de inventarios de repuestos, herramientas e insumos. Existe la posibilidad de no comprar un paquete de software ya hecho, sino de contratar un programador.

El paso imperativo antes de decidirse por un paquete o de comenzar la tarea de programar uno hecho a la medida, es cimentar muy bien los sistemas de gestión de flujo de trabajo y el sistema de listas de piezas MRO. Es indispensable tener claro todos los detalles de estos sistemas antes de incursionar en el programa, pues de lo contrario, habrá retrasos, confusión, y terminará sucediendo algo que es muy frecuente en las empresas: que el potencial del programa no es utilizado en su totalidad.

D. Sistema de entrenamiento técnico del personal

Existen estudios que predicen que el 80% de las habilidades y conocimientos de los trabajadores actuales en los EE.UU. serán obsoletos en un lapso de tres a cinco años. Esto puede variar en otros países, pero lo importante es que un sistema que asegure la competencia de los empleados para realizar sus tareas correctamente y con seguridad, es clave para lograr los objetivos de cualquier compañía, independiente de su estrategia.

En la planta en cuestión, ya hay un avance significativo respecto a este factor. El departamento de recursos humanos está establecido un sistema de gestión de recurso humano por medio de competencias laborales. Este es un sistema el cual, así como el TPM, está cobrando auge en las empresas en el área de gestión de recursos humanos, pues enfoca las habilidades, conocimientos y destrezas de una manera nueva.

Convencionalmente, un perfil de un puesto se elaboraba sencillamente por conocimientos comprobables mediante diplomas, cuestionarios y pruebas. El enfoque de acuerdo a las competencias laborales, sin embargo, define una competencia laboral como la capacidad de resolver un problema en una situación dada, lo que significa decir que la

medida se basa fundamentalmente en resultados. Otra definición es la capacidad productiva de un individuo, que se mide en términos de desempeño y no solamente de conocimientos, es decir, la competencia integra el saber, el saber hacer y el saber ser.

Un buen sistema de entrenamiento debería contar con:

- Un registro de las competencias, habilidades, destrezas, así como de cursos que el personal posee
- Una forma de crear un "inventario" de competencias y conocimientos del personal, para identificar la brecha del estado actual al ideal o esperado
- Identificación de posibles fuentes y tipos de capacitación: interna, externa, general, específica.
- Una planificación de capacitación para disminuir esa brecha
- Seguimiento de la capacitación y de sus resultados

Se considera que no podía haber mejor plataforma para un sistema de entrenamiento que la forma de administración del recurso humano que ya está creándose en la fábrica de latas de acero, pues este sistema precisamente exige, en el momento de crear de nuevo los perfiles o descriptores de puestos, tanto un inventario de las funciones que cada elemento realizará, como una ponderación de estas, y las competencias necesarias para poder realizarlas de acuerdo a lo que la empresa espera, tomando en cuenta: conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes, las últimas juegan un papel importante que antes no se le daba importancia. Asimismo, exige un plan anual de capacitación a los empleados que se note les falta alguna competencia de las establecidas para el perfil del puesto, y le da seguimiento trimestral, lo cual asegura la competencia de todo empleado.

Lo que hace falta sugerir que no se olvide incluir en las capacitaciones, dentro de este sistema ya existente, es:

- Incluir en el plan de capacitación, la capacitación interna o externa que instruya a los miembros del equipo de mantenimiento.
- Todos los temas relacionados con el TPM: qué es el TPM *per se*, cual es su importancia, cuales son los pilares del TPM, qué son las seis grandes pérdidas, cómo

nace el OEE de ellas y qué significa exactamente el índice de OEE de un equipo, qué es mantenimiento autónomo, etc.

- Competencia en el funcionamiento completo de todas las funciones y componentes de la maquinaria con la que se ve involucrado.
- Competencia en lo relacionado a análisis de causas raíz y otros tipos de análisis de ataque y solución de problemas.
- Competencia en nuevas técnicas de mantenimiento.

Una revisión de los perfiles de puesto debe ser hecha periódicamente para mantenerlos actualizados. La ventaja es que este sistema también incorpora esa revisión, por lo menos anual, de cada perfil.

Un último punto importante que se propone insertar al sistema de capacitación actualmente montado, para añadirle valor, es una técnica que utiliza las llamadas lecciones de puntos individuales o *single-point-lessons*, que son un tipo de capacitación corta integrada a los entornos TPM, y que da muy buenos resultados por su simplicidad y alta concentración de enfoque sobre un tema. Éstas se pueden definir como capacitaciones breves, no mayores de 20 a 30 minutos, donde se exponen total y completamente fallas detectadas o temas de interés, así como procedimientos e instrucciones. Si es una falla, se presenta el análisis que se le realizó a la falla, y la forma en que fue solucionado, ayudándose de diagramas, bosquejos o planos. Generalmente, se le da a un grupo pequeño de personas que son las involucradas con la maquinaria en cuestión. Una lección puede, por ejemplo, tratar el tema de cómo alinear un par de poleas mediante una escuadra de precisión o relojes comparadores, en caso no se cuente con un sistema más sofisticado de láser o algún tipo de luz. Podría comprender una breve descripción de equipos que normalmente necesitan alineación, los efectos de una mala alineación, luego podría pasar a describir el equipo en si que se va a alinear, demostrar como lo hará mediante dibujos o figuras, y por último, llevar la actividad a la realidad.

E. Técnicas de mantenimiento y mantenimiento centrado en la confiabilidad

En este punto, se deciden las técnicas a utilizar para mantener al equipo, es decir, su inspección y la prevención del deterioro. Todos los bloques anteriores de alguna manera u otra apuntan a éste factor. Dependiendo de qué técnicas se utilicen, surgen las estrategias de mantenimiento a utilizar. De acuerdo a las estrategias usadas, surgen programas establecidos con responsables, duración de las inspecciones y actividades de prevención del deterioro, y su frecuencia.

Antes de seguir, podemos mencionar aquí que básicamente existen dos grandes áreas donde las técnicas de mantenimiento se desenvuelven: el campo de la medición del tiempo de trabajo o utilización, que da paso a una estrategia de mantenimiento comúnmente conocida como mantenimiento preventivo, y el campo de la observación de la condición del equipo, que conlleva a un mantenimiento predictivo.

Ayudados por las listas de piezas MRO, tenemos una idea muy clara de cómo están conformados los equipos. Esto nos brinda información acerca de qué tipo de funciones debe cumplir el componente. La función del componente nos da una idea de si podemos observar su condición o su uso. Existen ya formas establecidas que conforman las técnicas generalmente aceptadas de mantenimiento para distintos componentes. A continuación, describimos cuáles componentes se clasifican dentro de qué categorías, para explicar cómo llegar a un programa de actividades rutinarias y de prevención establecido.

1. Mantenimiento preventivo (medición del tiempo de utilización). Aquí se encuentran piezas o insumos de los siguientes grupos:

- Filtros de aire
- Filtros de aceite
- Fajas
- Lubricantes (grasa, aceite)
- Lámparas, fusibles

- Empaques, sellos
- Elementos neumáticos (cilindros sellados, válvulas, sellos de cilindros reparables)

Dependiendo de si se tiene el equipo o el servicio disponible necesario para diagnosticarlo o no, incluso algunos de estos pueden pasar a formar parte de la observación y análisis de la condición, como el lubricante o los sellos (detección de fugas). Sin embargo, básicamente y como sugiere el título, esta estrategia se basa en la técnica de cambiar el elemento por uno nuevo, sin importar condición, solamente cuánto tiempo ha sido utilizado en la máquina.

2. Mantenimiento predictivo (observación y análisis de la condición). Existen varias maneras para observar y el analizar la condición:

a. Análisis de la vibración. Partes rotativas o recíprocantes generan vibraciones específicas que pueden medirse mediante aparatos adecuados. Los equipos que en la actualidad normalmente están bajo el régimen de observación y análisis de la condición mediante análisis de vibración son:

- Cajas reductoras
- Trenes de engranajes
- Motores de todo tipo
- Bombas
- Ventiladores
- Turbinas
- Transmisiones de cadenas o fajas
- Compresores
- Generadores
- Bandas transportadoras
- Todo tipo de cojinetes o componentes que los usen

- b. **Análisis del aceite.** Como su nombre lo indica, una muestra del aceite en uso de la máquina se analiza para observar la composición química actual, y la presencia de materia que no sea aceite. Varias técnicas como ferrografía, detección magnética de virutas, espectrometría, o cromatografía delatan si el aceite ha perdido sus propiedades y si contiene material que provenga de desgaste de piezas debido a sobrecargas o mala lubricación. Obviamente, en esta categoría sólo aplican los aceites, generalmente de cajas reductoras grandes, compactadotas o sistemas hidráulicos voluminosos para los cuales el costo de un cambio de aceite es alto.
- c. **Termografía.** Usando radiación infrarroja, cámaras o termómetros miden la temperatura, lo cual puede utilizarse para detectar conexiones eléctricas defectuosas, puntos de sobrecalentamiento, desgaste del refractario en hornos, y sobrecalentamiento de componentes críticos de calderas y turbinas. También sirve para detectar anomalías potenciales en elementos giratorios, cojinetes (similar al análisis de vibración).
- d. **Ultrasonido.** Esta técnica se usa normalmente para detectar fugas o defectos como fracturas, corrosión o erosión en soldaduras, recubrimientos, tuberías, estructuras, ejes. También puede medir razones de flujo.
- e. **Observación y análisis de efectos eléctricos.** Los usos más comunes de esta técnica son aparatos generadores de voltaje, que observan la condición de motores o generadores midiendo la resistencia del aislamiento en estos. Otra forma de esta técnica es la simple medición del amperaje - mediante un multímetro - que consumen motores individuales, motores de bombas y de otros equipos como ventiladores, lo cual puede servir como parámetro para detectar fallas potenciales.
- f. **Penetrantes.** Por último existe la técnica que utiliza líquidos con colorantes especiales y electrostáticos que delatan a la vista fracturas, grietas y discontinuidades en superficies causadas por desgaste, fatiga corrosión o mantenimiento inadecuado.

Ahora se cuenta con una base para un punto de decisión inicial de qué tipo de mantenimiento darle a cada máquina y sus componentes. La mayoría de los componentes en la fábrica de latas de acero estudiada se clasifican en:

- Ejes soportados por cojinetes, chumaceras o bujes
- Sistemas de transmisión de ruedas dentadas (*sprockets*) y cadenas
- *Sistemas de transmisión de poleas y fajas*
- Sistemas de fajas transportadoras sobre poleas lisas
- Cajas reductoras
- Motores eléctricos
- Ventiladores
- Elementos neumáticos comunes: válvulas, cilindros, unidades de mantenimiento
- Bombas
- Sistemas de levas y seguidores
- Engranajes
- Volantes

Se propone, como un método de bajo costo y efectividad buena, poseer un aparato capaz de medir vibraciones, uno capaz de medir temperatura, y un multímetro. Esto con la finalidad de poder comenzar a observar la condición de un alto porcentaje de los componentes de una manera poco costosa y sin detener la maquinaria, que es el ideal del mantenimiento. Existen medidores de vibración de forma de lapiceros de costo relativamente bajo. Una ventaja es que la fábrica cuenta ya con un termómetro infrarrojo y con multímetros de buena calidad.

Para los componentes restantes, se puede recabar información del fabricante, así como la experiencia del personal, y de normas generalmente aceptadas, para proponer un período o frecuencia inicial de reemplazo de componentes o mantenimiento preventivo, así como una rutina de inspección visual. Por supuesto, estas técnicas no son suficientes para cubrir todos los componentes de los equipos, pues sabemos que existen por lo menos seis modos de fallas.

Las actividades de mantenimiento programadas para arrancar el plan, entonces, se resumen en:

- Rutinas que observan la condición del equipo, iniciando con temperatura, vibración, y amperaje. Se propone una revisión inicial mensual de todos los puntos sujetos a observación de estas variables. Estas generalmente se realizan sin detener la maquinaria. El Gráfico 10 muestra un ejemplo:

Gráfico 10: Rutina para observar la condición del equipo

REGISTRO DE OBSERVACIÓN DE LA CONDICIÓN - FRECUENCIA DE INSPECCION = MENSUAL

Código de máquina Nombre de máquina

Componente: Fecha:

Realizado por: O.T. No.

Punto que se debe inspeccionar	vibración radial 0° (ips)	vibración radial 90° (ips)	vibración axial (ips)	temperatura (C°)	amperaje (A)
<i>Cojinete derecho eje frontal de poleas</i>					no aplica
Cojinete izquierdo eje frontal de poleas					no aplica
Chumacera central eje frontal de poleas			no aplica		no aplica
Cojinete rueda de presión derecha					no aplica
Cojinete rueda de presión izquierda					no aplica
Cojinete derecho eje trasero de poleas					no aplica
Cojinete izquierdo eje trasero de poleas					no aplica
<i>Cojinete derecho eje de levas</i>					no aplica
Cojinete izquierdo eje de levas					no aplica
Chumacera central eje de levas			no aplica		no aplica
Cojinete derecho eje inferior de rechazo de láminas					no aplica
Cojinete izquierdo eje superior de rechazo de láminas					no aplica
Motor de elevación de pila					no aplica
Chumacera frontal derecha sistema elevación de pila			no aplica		no aplica
Chumacera frontal izquierda sistema elevación de pila			no aplica		no aplica
Chumacera trasera derecha sistema elevación de pila			no aplica		no aplica
Chumacera trasera izquierda sistema elevación de pila					no aplica
Cojinete derecho eje de cilindros alimentadores					no aplica
Cojinete izquierdo eje de cilindros alimentadores					no aplica
Motor de bomba de vacío			no aplica		no aplica

- Rutinas de inspección visual, inspección de desgaste, medición de juegos e inspección de alineación mediante comparadores. Se proponen inspecciones cada seis meses. Estas generalmente requieren que el equipo esté desconectado. El Gráfico 11 muestra un ejemplo:

Gráfico 11: Rutina de inspección visual de desgaste, juegos y alineación

REGISTRO DE INSPECCIÓN - FRECUENCIA = SEMESTRAL

Código de máquina: Nombre de máquina:

Componente: Fecha:

Realizado por: O.T. No.:

Punto que se debe inspeccionar	juego (mm)	alineación (mm)	estado	tensión (pulg)
Juego entre martillo y esfera de conector de biela		no aplica	no aplica	no aplica
Juego entre buje de biela y eje cigüeñal		no aplica	no aplica	no aplica
Juego entre cigüeñal y bujes de soporte chassis		no aplica	no aplica	no aplica
Juego radial del martillo respecto a cojinetes lineales		no aplica	no aplica	no aplica
Juego de pastillas de embrague respecto a bujes de soporte		no aplica	no aplica	no aplica
Alineación del volante	no aplica		no aplica	no aplica
Alineación de la polea principal del motor	no aplica		no aplica	no aplica
Estado de faja No. 1	no aplica	no aplica		
Estado de faja No. 2	no aplica	no aplica		
Estado de faja No. 3	no aplica	no aplica		

- Actividades de mantenimiento puramente preventivo para reemplazo de componentes. Requiere que la maquinaria esté desconectada. Este varía de acuerdo al componente, básicamente existen de 500 horas y de 1000 horas. El Gráfico 12 muestra un ejemplo:

Gráfico 12: Rutina de mantenimiento puramente preventivo

REGISTRO DE REEMPLAZO BASADO EN EL USO (MANTO. PREV.) - FRECUENCIA = 1000 horas

Código de máquina: Nombre de máquina:

Componente: Fecha:

Realizado por: O.T. No.:

Punto que se debe inspeccionar	realizado
Cambiar filtro de ventilador No. 1	
Cambiar filtro de ventilador No. 2	
Cambio de lámpara U.V. No. 1	
Cambio de lámpara U.V. No. 2	
Cambio de lámpara U.V. No. 3	
Cambio filtro aceite elevador hidráulico	
Cambio de reflector No. 1	
Cambio de reflector No. 2	
Cambio de reflector No. 3	

En este punto se propone, luego del primer paso hacia una observación de la condición y de prevención del equipo, fusionar este bloque de técnicas de mantenimiento con el mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM.

Sin ánimo de minimizar o reducir la importancia, el campo que abarca y la complejidad del RCM –cabe mencionar, como se hizo en los sistemas computarizados, que podrían escribirse varios trabajos de graduación respecto al RCM– se explica primero la esencia del RCM y se sugiere luego, a partir de ella, proveer una forma de siempre encontrar la mejor forma de mantener al equipo, fusionándola con el TPM.

El RCM, básicamente, es una técnica que nos permite, mediante una secuencia lógica y un análisis sistemático de cada componente del equipo, decidir la mejor estrategia de mantenimiento de éste. El RCM parte de identificar qué funciones debe cumplir un componente u otro, y cuándo se considera que el componente falló. A su vez, al conocer cuándo consideramos que falló, podemos determinar qué efectos tendrá la falla. El hecho de determinar funciones, fallas y efectos se conoce como análisis de funciones, modos de falla y efectos, éste forma parte integral del RCM. Y este, a su vez, es una buena estrategia para decidir cómo mantener un equipo desglosando sus componentes.

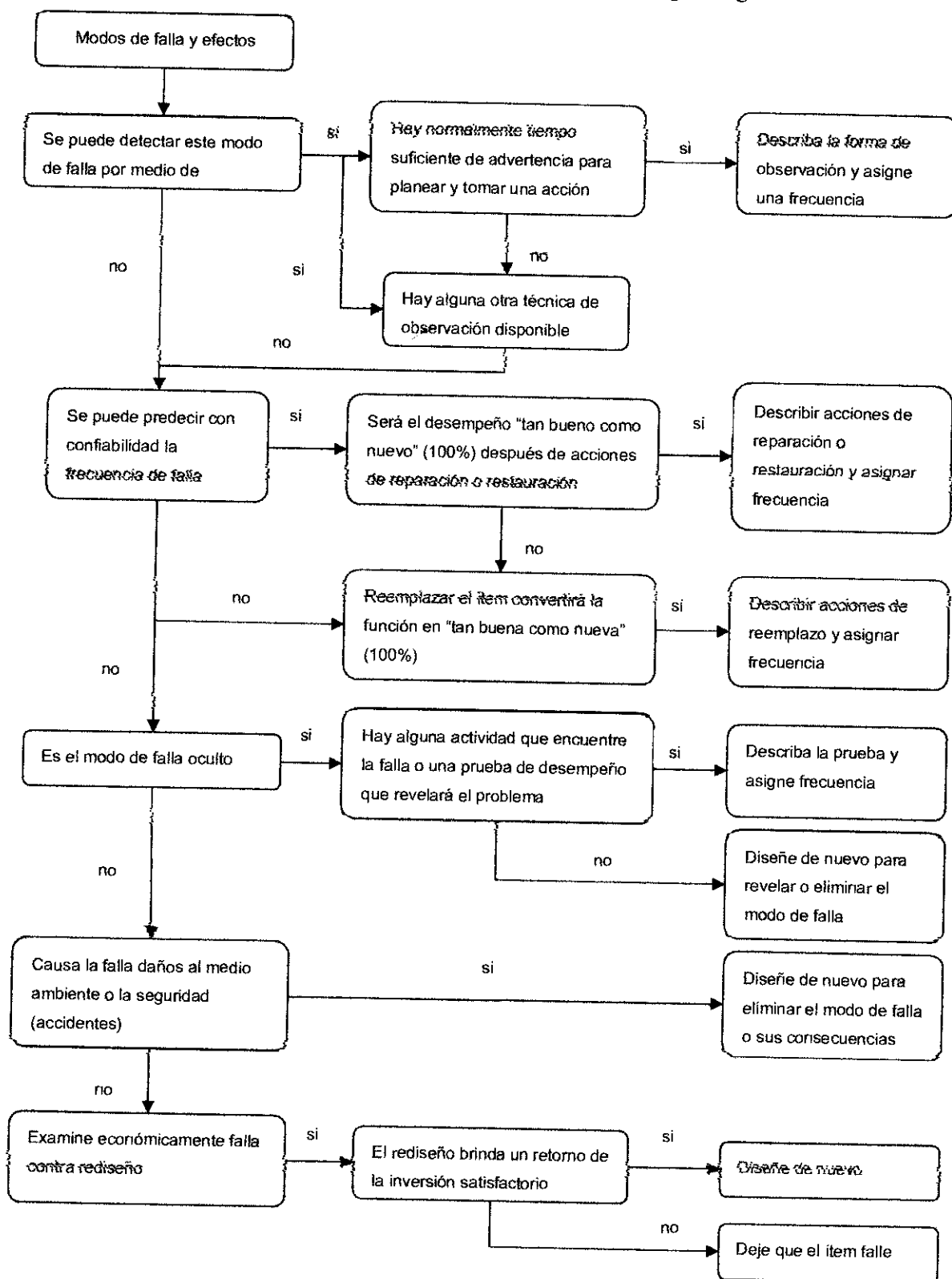
Un equipo debería investigar y analizar los componentes que no se incluyan en esta categoría, y tratar de utilizar el diagrama de flujo del RCM para obtener una estrategia e ir integrando las actividades al plan inicial. El Gráfico 13 muestra el diagrama de flujo a seguir para poder decidir cómo mantener cada componente.

F. Mantenimiento autónomo

En este punto, el programa de mantenimiento debe brindar asistencia técnica al departamento de producción quien se hará cargo de:

- Lubricación rutinaria de las máquinas
- Apretar tornillos y sujetadores definidos
- Limpieza a fondo de maquinaria
- Inspección visual del equipo
- Ajustes del equipo

Gráfico 13: Diagrama de flujo para decisión de estrategias según el RCM



E
n
t
r
a
d
a
s
p
l
a
n
m
a
t
r
i
c
i
a
l
e
s
n
i
m
i
e
n
t
o

R
E
D
I
S
E
Ñ
O

- Reemplazo con nivel bajo de dificultad de piezas
- Reportar al departamento de mantenimiento problemas que no puedan solucionar por si solos, e información acerca de trabajos hechos al equipo

Como paso inicial, se les debe brindar una lista completa de los puntos a lubricar en las máquinas a los operadores. Una vez esta esté en su poder, debe brindarse capacitación en las técnicas de lubricación adecuadas. Es por eso que la lista debe incluir, claramente:

- Punto a lubricar
- Ubicación
- *Lubricante correcto*
- Técnica y cantidad correcta
- Frecuencia

De esta manera, también debe crearse una lista para verificar si están apretados los tornillos, sujetadores y fijadores que se considere necesario revisar rutinariamente. El Gráfico 14 muestra un ejemplo del registro que debe incluir:

- Elemento y tipo que hay que verificar
- Herramienta correcta
- *Torque adecuado, en caso sea necesario*
- Si hay que aplicar pegamento o no al tornillo
- Cuántos tornillos hay de cada tipo

Por último, está el tema de la limpieza. Esta lista normalmente si la genera el departamento de producción pero el departamento de mantenimiento debe, en ese caso, apoyarlos revisándola y dando sugerencias de puntos donde hay que tener cuidado por elementos delicados o posibles riesgos a la seguridad del operador, o por el tipo de limpiador a utilizar.

Gráfico 14: Lista de verificación de lubricación y apriete

LUBRICACIÓN Y VERIFICACIÓN DE APRIETE

Código de máquina Nombre de máquina

Componente Fecha

Realizado por

Punto que se debe lubricar	Lubricante	Método	Frecuencia
Buje derecho rodillo tintero No. 1	Aceite Regal 46	por goteo con aceitera	diario
Buje izquierdo rodillo tintero No. 1	Aceite Regal 46	por goteo con aceitera	diario
Buje derecho rodillo tintero No. 2	Aceite Regal 46	por goteo con aceitera	diario
Buje izquierdo rodillo tintero No. 2	Aceite Regal 46	por goteo con aceitera	diario
Buje derecho rodillo tintero No. 3	Aceite Regal 46	por goteo con aceitera	diario
Buje izquierdo rodillo tintero No. 3	Aceite Regal 46	por goteo con aceitera	diario
Cadena de transmisión poleas lado izquierdo	Aceite ICO Mollub Alloy	por goteo con aceitera	diario
Buje de barra de presión superior	Aceite Regal 46	por goteo con aceitera	diario
Buje de barra de presión inferior	Aceite Regal 46	por goteo con aceitera	diario
Chumacera pivote sistema de presión	Grasa blanca Sentinel	rellenar con pistola	semanal
Grupo de graseras A lado derecho	Grasa blanca Sentinel	rellenar con pistola	semanal
Coinete soporte derecho rodillo molidor	Grasa blanca Sentinel	rellenar con pistola	semanal
Coinete soporte izquierdo rodillo molidor	Grasa blanca Sentinel	rellenar con pistola	semanal
Engranaje rodillo de presión	Grasa negra OGH 936	aplicar con brocha	semanal
Engranaje rodillo de placa	Grasa negra OGH 936	aplicar con brocha	semanal
Engranaje rodillo de mantilla	Grasa negra OGH 936	aplicar con brocha	semanal

Elemento que se debe verificar	herramienta	torque adecuado	frecuencia
Verificar torque tornillo pinza de registro No. 1	torquimetro y copa 5 mm	4 Nm	semanal
Verificar torque tornillo pinza de registro No. 2	torquimetro y copa 5 mm	4 Nm	semanal
Verificar torque tornillo pinza de registro No. 3	torquimetro y copa 5 mm	4 Nm	semanal
Apretar 3 (tres) tornillos guarda superior engranajes	llave de cola 10 mm	apriete normal manual	semanal
Apretar 3 (tres) tornillos guarda inferior engranajes	llave de cola 10 mm	apriete normal manual	semanal
Apretar el tornillo de sujeción soporte de lámina No. 1	llave hexagonal 4 mm	apriete normal manual	semanal
Apretar el tornillo de sujeción soporte de lámina No. 2	llave hexagonal 4 mm	apriete normal manual	semanal
Apretar el tornillo de sujeción soporte de lámina No. 3	llave hexagonal 4 mm	apriete normal manual	semanal
Apretar el tornillo castigador del candado rodillo No. 1	llave hexagonal 6 mm	apriete manual máximo	mensual
Apretar el tornillo castigador del candado rodillo No. 2	llave hexagonal 6 mm	apriete manual máximo	mensual
Apretar el tornillo castigador del candado rodillo No. 3	llave hexagonal 6 mm	apriete manual máximo	mensual
Apretar el tornillo castigador de la polea aluminio No. 1	llave hexagonal 6 mm	apriete manual máximo	mensual
Apretar el tornillo castigador de la polea aluminio No. 2	llave hexagonal 6 mm	apriete manual máximo	mensual
Apretar el tornillo castigador de la polea aluminio No. 3	llave hexagonal 6 mm	apriete manual máximo	mensual
Apretar el tornillo castigador de la polea aluminio No. 4	llave hexagonal 6 mm	apriete manual máximo	mensual

G. TPM

El punto importante a describir aquí para el plan de mantenimiento respecto al TPM, después de haber dado un panorama completo de esta estrategia, y como encaja el mantenimiento en ella, es la integración de la medición del OEE al programa de mantenimiento. Es decir, el índice periódico del OEE debe ser la fuente de información que guíe al departamento de mantenimiento hacia solución de los problemas que más afectan a distintos equipos, y darles prioridad a ellos.

El sistema de medición de OEE debe entonces requerir información de entrada de parte de miembros del departamento de mantenimiento y, periódicamente –idealmente sería semanal, mensual y trimestral– brindarle información de regreso al departamento de mantenimiento.

La información de entrada que deben brindar los mecánicos es información detallada de las fallas o problemas que se dan diariamente en las líneas a su cargo. Esta es cargada junto con otros tiempos perdidos no programados al sistema que lleva el OEE. El sistema informa mediante gráficas las fallas más grandes –puede utilizarse nuevamente la ley de Pareto– para brindar información que el departamento de mantenimiento debe manejar mediante análisis de causas raíz. Por eso es tan importante que el sistema de entrenamiento incluya capacitación en este tipo de análisis, pues normalmente, en nuestra cultura, muchos problemas que surgen son tratados – erróneamente - de la siguiente manera:

PROBLEMA -----> SOLUCIÓN -----> CASO CERRADO

Pero este enfoque tiene dos grandes debilidades:

- *Obvia por completo el análisis requerido por todo problema para poder emitir una solución, es decir, el encargado de resolver el problema llega a una solución sin el análisis requerido.*

PROBLEMA ----> ANÁLISIS -----> SOLUCIÓN

- Acostumbra a las personas involucradas a pensar de una manera lineal, es decir, que para un problema existe una única solución correcta, cuando esto normalmente no es así.

Se enfatiza por eso que al hacer el análisis se utilice un enfoque con ramales de causas y efectos en vez de una única causa raíz. Una vez enfocado como un ramal de causas y efectos, las causas más básicas podrán ser atacadas, y evidenciará la necesidad de atacarlas todas en vez de buscar un único plan de acción.

H. Optimización

La optimización puede llegar solamente si se puede medir todas aquellas variables decisivas en el sistema y si se puede de alguna manera determinar un costo de éstas en el proceso de mantenimiento. Es aquí donde entran a jugar un papel importantísimo los indicadores clave de desempeño (KPI, *key performance indicator*). Estos indicadores deben crearse en conjunto con los miembros líder del departamento de mantenimiento, miembros de gerencias intermedias y la alta gerencia. Una vez creados, deben ser difundidos y explicados a todo el personal involucrado.

Para el plan de la fábrica de latas de acero, se recomiendan los siguientes indicadores clave de desempeño, los cuales nos guiarán hacia una optimización de la forma en que el departamento de mantenimiento maneja sus recursos y cómo suceden gastos y los reduce mediante planes de acción bien estructurados gracias a información real y confiable de parte de los indicadores:

- Indicador que muestre el porcentaje de órdenes de trabajo sean generadas por inspecciones u observaciones de la condición del equipo.
- Indicador que muestre el porcentaje del tiempo de un miembro del departamento de mantenimiento que es cubierto por una orden de trabajo.
- Indicador que muestre el porcentaje del trabajo de inspección y prevención.
- Indicador que muestre el porcentaje de cumplimiento de la planificación y calendarización del trabajo.
- Indicador que muestre el porcentaje de cumplimiento con los niveles de confiabilidad establecidos para los componentes.
- Indicador que muestre las veces en que existen problemas con repuestos o insumos por haberse agotado o ser insuficientes.
- Indicador que muestre el porcentaje de horas extras usadas por mantenimiento.
- Indicador que muestre los costos de mantenimiento y los compare con el presupuesto.

Estos indicadores nos permiten ver los signos vitales del sistema. También es importante notar que el mantenimiento de los equipos afecta la ecuación del retorno de la inversión de los equipos al optimizar el OEE, de la siguiente manera:

- Retorno de la inversión del equipo = $\text{Ingresos} / \text{Valor total del equipo (costo inicial + costo del ciclo de vida)}$
- Ingresos = precio x volumen
- Volumen = Capacidad instalada x OEE \rightarrow (mantenimiento del equipo)

En esta relación de ecuaciones notamos la importancia del OEE y su relación a la manutención del equipo.

I. Mejora continua

Uno de los grandes retos de las industrias hoy en día es siempre cambiar para mejorar. La tecnología avanza a pasos acelerados, y como consecuencia, la maquinaria y los procesos también. La competitividad de las empresas debe mantenerse y crecer junto a estos cambios, de lo contrario perderá lugar en el mercado, sea por calidad, precio o tiempo de entrega.

Una forma sugerida para lograr mantenerse a un nivel competitivo es tener como meta lograr las mejores prácticas de mantenimiento. Esto quiere decir que el ideal u objetivo de las actividades del departamento deben ser esas prácticas. Una manera de lograr esto es observar cómo lo hacen las empresas líderes a nivel mundial. Algo que se practica actualmente es una actividad conocida como *benchmarking*, palabra que proviene del idioma inglés, que quiere decir una comparación imparcial entre dos o más sistemas, para evidenciar brechas entre los sistemas y decidir cual es mejor.

En lo que respecta a mantenimiento, en los últimos años, las mejores prácticas de mantenimiento sugieren objetivos para los indicadores propuestos de la siguiente manera:

- Que el 90 por ciento de las órdenes de trabajo sean generadas por inspecciones u observaciones de la condición.

- Que el 100 por ciento del tiempo de un miembro del departamento de mantenimiento sea cubierto por una orden de trabajo.
- Que el 30 por ciento de todo el trabajo sea de prevención.
- Que se cumpla con por lo menos el 90 por ciento de la planificación-alendarización del trabajo.
- Que se cumplan los niveles de confiabilidad establecidos para los componentes el 100 por ciento de las veces.
- Que los repuestos e insumos no se agoten más de una vez al mes.
- Que las horas extras por mantenimiento sean menos del dos por ciento del tiempo total utilizado por mantenimiento.
- Que los costos de mantenimiento se mantengan en un ±dos por ciento del presupuesto.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El mantenimiento, al igual que todo, cambia gradual pero constantemente. Este plan es una propuesta inicial de muchas posibles, a la cual pueden añadirse mejoras. Por eso se recomienda enfáticamente que los líderes del departamento de mantenimiento procuren mantenerse actualizados todo el tiempo en temas como técnicas, estrategias, modelos y sistemas de mantenimiento, pues es la única manera de saber en que nivel se encuentra el sistema propio y de mejorarlo.
- Si se sigue la recomendación inicial, es importante, asimismo, informar a los diversos niveles ejecutivos, es decir, a los gerentes intermedios y en especial a la alta gerencia de la importancia del mantenimiento. Esto puede darse en presentaciones que expliquen de manera breve pero explícita los temas relacionados con el mantenimiento para que los conozcan y tratar de romper el paradigma que se ha tenido del mantenimiento hasta la actualidad, para convertirlo de un paradigma negativo o neutral, a uno positivo, que ocupe un lugar prioritario en los objetivos empresariales.
- Es importante para la empresa que al momento de decidir establecer un sistema basado en el TPM, los directivos y todo el personal sepa claramente que el TPM no es un plan de mantenimiento, a pesar de que existe un plan de mantenimiento –como el propuesto en este trabajo– incluido en el TPM.
- Una buena porción de los esfuerzos deben dedicarse a la investigación más a fondo y en detalle del mantenimiento centrado en la confiabilidad, a los análisis de modos de fallas y sus efectos y a los modelos matemáticos y estadísticos de predicción y

modelo para el mantenimiento. Estas son las últimas tendencias en lo que a mantenimiento se refiere, que han logrado grandes logros gracias a que optimizan las estrategias y permiten ahorros substanciales. Se sugiere investigarlos pues, a pesar de que algunos consideran al TPM y al RCM como dos filosofías excluyentes, consideramos que es mejor el enfoque que ve a estos sistemas de RCM y TPM como dos estrategias que pueden fusionarse, para obtener lo mejor de ambos, e incluso hay expertos que ven la cuarta generación de mantenimiento –que aun no ha llegado pero está cerca– precisamente como una filosofía que incluirá los mejores elementos de cada uno.

- Después de establecidos los tipos de técnicas y estrategias propuestos en el arranque del programa, se recomienda, a través del OEE y del análisis de modos de fallas y efectos, afinar y hacer más completo el programa. Hay más técnicas de observación de la condición y de predicción de reemplazo para la estrategia preventiva que las usadas al inicio del plan propuesto. Después de hacer un análisis económico, y si este brinda resultados positivos, pueden buscarse proveedores –existe en Guatemala por lo menos uno- que hagan análisis de aceites, para optimizar el reemplazo de estos. Asimismo, se puede investigar proveedores que brinden servicios de análisis con cámaras termográficas, las cuales son muy buenas, entre otras, para detectar fallas en paneles eléctricos, que no es posible con otra técnica. También el uso de líquidos penetrantes para analizar piezas sujetas a carga cíclica que puedan sufrir fallas prematuras por fatiga.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

A. Libros

- Duffuaa, Salih, *et al.* 1999. *Planning and control of maintenance systems – modeling and analysis*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc. 371 págs.
- Leflar, James. 2001. *Practical TPM – Successful equipment management at agile technologies*. New York, Productivity Press. 359 págs.
- Japan Institute of Plant Maintenance. 1997. *Focused equipment improvement for TPM teams*. New York, Productivity Press. 125 págs.
- Productivity Development Team. 1999. *OEE for operators – overall equipment effectiveness*. New York, Productivity, Inc. 63 págs.
- Tajiri, Masaji; Gotoh, Fumio. 1999. *Autonomous maintenance in seven steps. Implementing TPM on the shopfloor*. New York, Productivity, Inc. 328 págs.
- Takahashi, Yoshikazu. 1990. *TPM*. Japón, Asian Productivity Organization. 323 págs.
- Senju, Shizuo. 1992. *TQC and TPM*. Japón, Asian Productivity Organization. 158 págs.

B. Artículos publicados en internet

- Aughenbaugh, Jason. 2003. «Measuring backlog».
<http://www.mt-online.com/articles/0603backlog.cfm#fig4text>
- Bos, Michael. 2003. «The shutdown manager's pre-shutdown checklist».
ftp://newstandardinstitute.com/articleFiles/Shutdown_Managers_Pre-Shutdown_Checklist.pdf

- Brown, Michael. 1999. «Applying the predictive approach».
www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/ezone/apppredappr2.html
- Brown, Michael. 2003. «A fresh look at training».
ftp://newstandardinstitute.com/articleFiles/A_Fresh_Look_at_Training.pdf
- Brown, Michael. 2003. «Building a PM program brick by brick».
ftp://newstandardinstitute.com/articleFiles/Building_a_PM_Prog.pdf
- Brown, Michael. 2003. «Surviving the maintenance shutdown».
ftp://newstandardinstitute.com/articleFiles/Surviving_the_Maintenance_Shutdown.pdf
- Brown, Michael. 2003. «The planning and scheduling machine».
ftp://newstandardinstitute.com/articleFiles/Planning_and_Scheduling_Machine.pdf
- Dunn, Sandy. 1996. «A framework for achieving best practice in maintenance».
<http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/MaintenanceManagement/Framework.htm>
- Dunn, Sandy. 1998. «Reinventing the maintenance process».
<http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/MaintenanceManagement/Reinventing.htm>
- Dunn, Sandy. 2000. «Maintenance terminology».
<http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/MaintenanceManagement/KeyTerms.htm>
- Heisler, Randy. 2003. «Planning and scheduling in a lean maintenance environment».
http://www.reliabilityweb.com/excerpts/excerpts/lean_planning.htm
- Hartmann, Ed. 2000. «Prescription for total TPM success».
<http://www.mt-online.com/articles/04-00tpm1.cfm?pf=1>
- Idhammar, Christer. 2004. «Preventive maintenance (part I)».
<http://www.idcon.com/articles/prevm1.htm>
- Idhammar, Christer. 2004. «Preventive maintenance (part II)».
<http://www.idcon.com/articles/prevm2.htm>

- Idhammar, Christer. 2004. «Preventive maintenance (part III)».
<http://www.idcon.com/articles/prevm3.htm>
- Idhammar, Torbjörn. 2003. «In maintenance, two plus two can equal eight».
<http://www.idcon.com/articles/maintenancetwoeight.htm>
- Laszkiewicz, Mike. 2003. «Translating maintenance initiatives into financial benefits».
<http://www.mt-online.com/articles/1003rockwell.cfm?pf=1>
- Levitt, Joel. 1998. «Death of the maintenance department».
http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/MaintenanceManagement/Death_of_the_Maintenance_Dept.htm
- Lulea Tekniska Universitet. 2003. «Theory of maintenance».
http://student.ce.luth.se/gu/lp3/abd004/THEORY_OF_MAINTENANCE.doc
- Mather, Daryl. 2002. «Maintenance planning and scheduling basics».
http://www.plant-maintenance.com/articles/planning_and_scheduling.shtml
- Mather, Daryl. 2004. «A structured approach to measuring maintenance».
<http://www.mt-online.com/articles/0104mather.cfm#fig1text>
- Mather, Daryl. 2004. «Maintenance management – the planned state».
<http://www.plant-maintenance.com/articles/MaintenancePlannedState.pdf>
- Marshall Institute. 1999. «Maintenance effectiveness survey».
<http://www.marshallinstitute.com/pubs2/mea.asp>
- Mikes, Joe. 2003. «Preparing for a maintenance system upgrade».
<http://www.mt-online.com/articles/1203mikes.cfm#currenttext>
- Moubray, John. 1997. «Building a solid foundation for maintenance operations».
<http://www.mt-online.com/articles/10-97view.cfm?pf=1>
- Smith, Ricky. 2002. «Best maintenance practices».
http://www.mt-online.com/articles/1102_bestpractices.cfm#return
- Oberg, Paul. 2004. «Managing maintenance as a business».
<http://www.maintenanceworld.com/Articles/obergc/managingmaintenance.html#Top>

Olszewski, Ruth. 2004. «Evolution of a maintenance department».

<http://www.mt-online.com/articles/0104cmms.cfm#backtotext>

U.S. Department of Energy. 1993. «Guideline to good practices for planning, scheduling and coordination of maintenance at DOE Nuclear Facilities».

<http://tis.eh.doe.gov/techstds/standard/std1050/std1050.pdf>

Williamson, Robert. 2000. «The basic pillars for total productive maintenance».

<http://www.mt-online.com/articles/10-00view.cfm?pf=1>

Williamson, Robert. 2000. «TPM: An often misunderstood equipment improvement strategy».

<http://www.mt-online.com/articles/04-00tpm2.cfm?pf=1>

