

MANTENIMIENTO



UNA HERRAMIENTA PARA LA PRODUCTIVIDAD

Ing. Guillermo Bavaresco P.

Noviembre 2002

Ing. Guillermo Bavaresco

"Los libros son el mejor viático que he encontrado para este humano viaje."
-Michel de Montaigne

"Es detestable esa avaricia espiritual que tienen los que sabiendo algo, no procuran la transmisión de esos conocimientos."
Miguel de Unamuno

"Los hombres y pueblos en decadencia viven acordándose de dónde vienen; los hombres geniales y pueblos fuertes solo necesitan saber a dónde van."
José Ingenieros

Dedicatoria

*A mi Esposa Tamara, centro, eje y motivación de mi vida y mi desarrollo profesional.
A mis Hijos, Joan, Ana y Adrián y en especial a mi Nieta Miriela Alejandra*

A la Memoria de

Mi Madre Dilcia y mi Padre Guillermo

MANTENIMIENTO: UNA HERRAMIENTA PARA LA PRODUCTIVIDAD

CONTENIDO

INTRODUCCION

- CAPITULO 1:** Mantenimiento para mejorar la productividad
Necesidad del mantenimiento
- CAPITULO 2:** Mantenimiento, Definición, clasificación y ciclo.
- CAPITULO 3:** La documentación en la organización del mantenimiento
- CAPITULO 4:** La Fiabilidad Aplicada al Mantenimiento
- CAPITULO 5:** Planificación y Programación del mantenimiento preventivo
- CAPITULO 6:** Control del Mantenimiento: Evaluación e índices de Control
- CAPITULO 7:** Manual de Mantenimiento
- CAPITULO 8:** Mantenimiento Productivo Total (MPT)
- CAPITULO 9:** Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)
- CAPITULO 10:** Recursos para la gestión de mantenimiento
- CAPITULO 11:** Gestión de inventarios
- ### BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Mantenimiento: Una Herramienta para la Productividad, adopta de una forma sencilla los aspectos principales del enfoque de la organización de mantenimiento, dirigida a estudiantes e ingenieros que se proponen de una forma inicial a adentrarse en este vasto campo. Este trabajo de mantenimiento, pretende proporcionar los conceptos, los procedimientos la información y las técnicas de análisis que se requieren para ejecutar el mantenimiento, además de ser una herramienta que se pueda aplicar en su forma inicial en una organización de mantenimiento.

El ingeniero debe estar avezado en los conceptos y principios de mantenimiento, debe enfrentarse con la realidad del funcionamiento de los equipos contenidos en una industria y debe ser capaz de resolver los problemas de mantenimiento que vayan surgiendo con las herramientas de que dispone, no puede esperar comenzar a estudiar y analizar como se realiza la planificación o programación del mantenimiento, ni comprobar como se organiza el mantenimiento para que lo eximan de la responsabilidad de tomar decisiones. Los problemas de mantenimiento Suelen ser de fácil solución siempre y cuando se apliquen los principios básicos que deben regir a las organizaciones de mantenimiento. Por otra parte el estudiante de ingeniería de mantenimiento, debe conocer los principales aspectos del mismo, de forma tal que al ejercer en el campo profesional, pueda aplicar los conocimientos, sobre este tema, de inmediato.

En las paginas que se muestran a continuacion encontraran once capítulos que pueden ayudar a entender como se conforma una organización de mantenimiento, a saber:

El capítulo 1, aborda temas generales sobre el Mantenimiento para mejorar la productividad y la necesidad del mantenimiento. El capítulo 2, presenta los aspectos principales de la teoría de mantenimiento, su definición, clasificación y el ciclo de mantenimiento. En el capítulo 3, se describen toda la documentación que debe estar presente en una organización de mantenimiento y como usar dicha documentación. El capítulo 4, trata aspectos relacionados con la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos dentro de una empresa. En el capítulo 5, se enfocan los principales aspectos de cómo planificar y programar el mantenimiento. Seguidamente en el capítulo 6 se habla del control de mantenimiento, como evaluar su rendimiento y como emplear los índices de control. En el capítulo 7 se hacen algunas observaciones de cómo se debe preparar un manual de mantenimiento, enfocados en la normalización internacional vigente (ISO 9000). Los aspectos principales del Mantenimiento Productivo Total (MPT) son expuestos en el capítulo 8, al igual que en el capítulo 9 se enfoca a los principales aspectos del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC). Por último en los capítulos 10 y 11 se abordan los recursos que deben estar presentes en una organización de mantenimiento y la gestión de inventarios respectivamente.

Ahora les invito a que se adentren en el fabuloso mundo del mantenimiento leyendo todo lo que trata esta publicación, de manera que sirva de inicio en este aspecto tan importante de la ingeniería.

CAPITULO 1

EL MANTENIMIENTO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD NECESIDAD DEL MANTENIMIENTO

Si desconocemos o no estamos consientes que nuestro automóvil requiere de un simple mantenimiento como es el cambio de aceite y filtro, revisión de los fluidos, e inspección general de correas, cables, mangueras, etc.; en cualquier momento y aun en el menos esperado, el vehículo comenzará a fallar y en ese instante comienza nuestra preocupación y nos sometemos a una tortura por costosas reparaciones de emergencias.

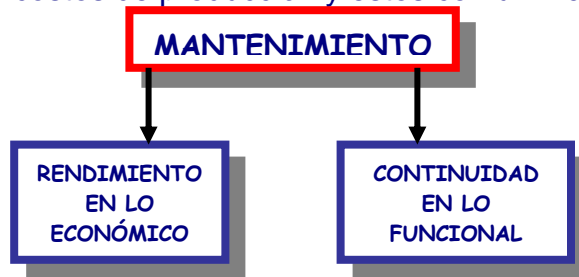
Muchos podrán opinar que tienen varios automóviles y eso no les importa, o que tienen un personal que es capaz de asumir esa responsabilidad y que ellos se preocupen, no obstante, alguien de mayor rango, o uno mismo estará pendiente que el personal cumpla con las elementales previsiones de mantenimiento de los vehículos.

Con este ejemplo, lo que se quiere es demostrar es que en toda actividad en la cual se utilicen máquinas de cualquier tipo (Mecánicas, eléctricas, neumáticas, entre otras.) o estructuras estáticas (Puentes, Torres de cables, edificaciones, entre otras.) debemos estar conscientes de la necesidad de dedicar un tiempo y destinar recursos (financieros y humanos) para la conservación, para **EL MANTENIMIENTO** oportuno y adecuado, el cual nos evitara sorpresas desagradables y desembolsos imprevistos.

En los últimos años hemos observado un cambio notorio en la economía tanto nacional como mundial. En efecto, de una situación de recursos abundantes, en las cuales los costos de producción y operación eran poco importantes en relación a las ganancias y presupuestos generosos, hemos pasado en muy corto tiempo a una situación de globalización, en la cual la productividad y calidad juegan un papel muy importante en los mercados cada vez más restringidos, exigentes y competitivos y esto ha llevado a que los presupuestos sean ajustados y decrecientes.

La importancia de la “**FUNCION MANTENIMIENTO**” en las empresas de producción y de servicios, requiere ser tomada en cuenta y puesta en marcha para evitar pérdidas considerables. Se puede constatar que del costo total de producción de un producto cualquiera, entre un 15 a 30% de ese costo corresponde a gastos de mantenimiento, sin embargo en una organización donde el mantenimiento sea eficiente se puede realizar economías hasta de un 50% de este costo. La **FUNCION DEL MANTENIMIENTO**, ante todo, ha de cumplir con: Continuidad en el funcionamiento de los equipos y maquinarias y Rendimiento de las instalaciones. En estudios realizados

en Venezuela para el año 1990, reflejan que los costos de mantenimiento están por el orden del 35% de los costos de producción y estos con un mantenimiento eficaz



(planificado y controlado), pueden ser reducidos y bajar hasta en un 75%. De modo que de la frase “CUIDAR ES QUERER” se puede concluir también que “CUIDAR ES MANTENER”

La necesidad del mantenimiento tiene muchos efectos, entre otros podemos citar:

- a) **PATRIMONIALES:** Las costosas edificaciones, equipos, maquinarias, herramientas y repuestos, representan activos fijos dentro de una empresa y los cuales no se deben descuidar.
- b) **TECNOLOGICOS:** Los desgastes producidos por el uso, las condiciones climáticas y el trabajo, deben ser reconocidas y tomadas en cuenta ya que ellas intervienen de manera definitiva en el buen funcionamiento de los equipos.
- c) **ECONOMICOS:** El producir o no un producto o servicio y el deterioro de infraestructuras, puede ser consecuencia de un mal mantenimiento, repercutiendo esto en una pérdida de dinero que puede ser significativa.
- d) **SOCIALES Y LEGALES:** Las edificaciones, equipos y herramientas en malas condiciones de funcionamiento pueden causar accidentes personales o contaminación del ambiente, trayendo como consecuencia reclamos de índoles social y legal para la empresa.

El mantenimiento no solo reducirá los tiempos de paradas de maquinarias y los costos de producción, sino que además permite alcanzar objetivos adicionales entre los cuales caben mencionar:

- 1) Aumento de la Productividad y calidad.
- 2) Mejora el control del presupuesto del departamento de mantenimiento.
- 3) Incrementa la seguridad industrial
- 4) Ser factor importante en las etapas de diseño y adquisición de equipos.

Se puede concluir de lo antes expuesto que desde el inicio de la revolución industrial en el Siglo XVIII, no es hasta la Segunda Guerra Mundial, época en la cual se le empezó a dar importancia a la función del mantenimiento dado el desarrollo tecnológico y los altos volúmenes de producción, que se comienza con la búsqueda imperiosa de mejorar los recursos y equipos para mantener la producción de pertrechos de guerra, sin embargo se puede afirmar que desde esa época hasta nuestros días, se ha venido produciendo un cambio notorio en las empresas a nivel mundial, siempre hacia la búsqueda de la calidad y del mejor servicio, involucrando esto una mayor y eficiente mantenibilidad de los equipos y las infraestructuras.

Debido a las restricciones económicas, el avance técnico y la competitividad de los mercados, el mantenimiento ha pasado de ser una actividad de poca importancia, a ser

una actividad fundamental para la productividad y la calidad, realizada sobre una base científica, usando técnicas de administración moderna, análisis estadísticos, confiabilidad y la informática, llegando hasta los presentes días en los cuales las empresas de las naciones más desarrolladas han puesto en marcha las nuevas filosofías y métodos, enmarcados en la “**Calidad Total**”, en el “**Mantenimiento Productivo Total**” y en el “**Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**”.

Para finalizar este capítulo introductorio quiero tomar las palabras de **A. Suter (Westinhouse)**, el cual define el mantenimiento en estos términos:

Mantenimiento es esto:

- **Cuando todo va bien, nadie recuerda que existe.**
- **Cuando algo va mal, dicen que no existe.**
- **Cuando es para gastar, se dice que “no es necesario”**
- **Pero cuando realmente no existe, todos concuerdan en que debería existir.**

CAPITULO 2

MANTENIMIENTO: DEFINICION Y CLASIFICACION

Muchas personas piensan en el mantenimiento solo en términos de inspecciones periódicas de los equipos o de la planta en general para evitar paros antes de que sucedan, en etapas más avanzadas se encuentran los que incluyen otras gestiones repetitivas de mantenimiento, como limpieza y lubricación, otros agregan sistemas de protección para los equipos y los trabajadores, mas adelante están los que estudian los materiales, origen y fabricación de los equipos (maquinarias, herramientas, estructuras, etc.) antes de que sean adquiridos e instalados. **Del buen mantenimiento, dicen, se inicia con el diseño e instalaciones adecuadas.**

Antes de entrar en una definición de mantenimiento, debemos recordar que éste siempre debe ser interpretado como una **HERRAMIENTA** que permite asegurar las operaciones de una empresa a un costo global mínimo. Esta herramienta debe ser aplicada a todas las instalaciones, equipos y sistemas que al ser adecuadamente mantenidos, contribuyan a alcanzar los objetivos fundamentales de la empresa. No importa a que nivel de refinamiento se desarrolle un programa de mantenimiento, todos ellos incluyen las siguientes actividades básicas:

- Limpieza e inspección periódica, para descubrir condiciones que puedan producir paros imprevistos o desgastes perjudiciales.
- Conservación de los equipos y edificaciones para prevenir y reparar fallas, aun cuando estos se encuentren en una etapa incipiente.

La idea de mantenimiento, expresa la voluntad de conservar las instalaciones, materiales, equipos, edificaciones y sistemas en buen estado.

Se puede definir formalmente el mantenimiento como:

**CONJUNTO DE ACCIONES QUE PERMITEN CONSERVAR UN
DISPOSITIVO O RESTABLECERLO A UN ESTADO ESPECIFICO EN EL
CUAL CUMPLE UN SERVICIO DETERMINADO**

En resumen el mantenimiento busca entonces, disminuir los tiempos de indisponibilidad de los equipos y sistemas, que son también tiempos de improductividad, además de conservar las instalaciones en condiciones estéticas y de seguridad adecuada.

Debe siempre recordarse que independientemente del costo y la importancia del mantenimiento, éste no es un objetivo, sino una herramienta para realizar la producción. Los responsables del servicio de mantenimiento no deben olvidar jamás que sus servicios están para ayudar a la producción.

Según la definición antes mencionada, podemos observar que mantenimiento implica restablecer y conservar. El primer término está ligado íntimamente a lo que se denomina mantenimiento correctivo y el segundo con lo que se denomina mantenimiento preventivo y predictivo. En líneas generales el mantenimiento se clasifica en:

- 1) Mantenimiento Correctivo.
- 2) Mantenimiento Preventivo.
- 3) Mantenimiento Predictivo.

Mantenimiento Correctivo, es el conjunto de acciones necesarias para devolver un equipo a las condiciones operativas luego de la aparición de una falla, entendiendo por falla la ocurrencia no previsible, inherente al equipo que impide que este cumpla su misión.

El mantenimiento correctivo toma la tendencia de corregir las fallas de las máquinas a medida que ocurran. Aunque con una política adecuada de mantenimiento se puede reducir las probabilidades de ocurrencia de la falla, éstas siempre van a ocurrir y es una función del mantenimiento organizarlas con la mayor efectividad posible de manera de reducir los tiempos de paradas. Las características principales del mantenimiento correctivo son:

- Interrupciones en el servicio y la producción
- Incremento de costos (mano de obra, repuestos, etc.)
- Deteriora la calidad del producto.

En toda empresa es posible que se presenten reparaciones de emergencias, sin embargo, un porcentaje elevado del tiempo del personal de mantenimiento, utilizado en reparaciones de emergencia, es un índice inequívoco de la necesidad de una reestructuración de esta importante función. Más del 80% del mantenimiento puede ser adecuadamente planificado, programado y ejecutado.

Mantenimiento Preventivo, es el conjunto de acciones necesarias para conservar un equipo en condiciones de operatividad, independientemente de la aparición de la falla. También podemos decir que mantenimiento preventivo es aquel que se realiza aún cuando el equipo está funcionando en buenas condiciones de operatividad y se efectúa para que estas condiciones perduren en el tiempo. Este mantenimiento busca garantizar que las condiciones normales de operación de un equipo o sistema sean respetadas, es decir que el equipo esté **“limpio, lubricado, sin vibraciones, sin fugas, no produzca ruidos y sus elementos consumibles tales como filtros, correas, rodamientos, mangueras, etc.; sean sustituidos dentro del rango de su vida útil”**. El mantenimiento preventivo se caracteriza por:

- ◆ Se realiza por medio de inspecciones periódicas, según recomendaciones del fabricante o por criterio dictado por la experiencia en el mantenimiento del equipo.
- ◆ Establece el reemplazo o reparación de cualquier elemento en un período en el cual este puede estar en buenas condiciones para seguir funcionando.

- ◆ Se requiere de un mayor tiempo de trabajo para cumplir con la programación.
- ◆ En algunas oportunidades requiere los servicios de un mayor número de trabajadores.
- ◆ Genera bajo costos.
- ◆ Hace uso de un sistema de archivo (Manual o informático) para facilitar el trabajo.

El mantenimiento preventivo se planifica en función de los planes de producción o simultáneamente con ellos. Los objetivos de una empresa son fabricar y vender productos o servicios y en ocasiones se presentan conflictos entre los departamentos de producción y mantenimiento, por razones de cumplimiento de objetivos, aunque las dos secciones dependan de un mismo nivel organizativo. Si bien el objetivo del mantenimiento es cumplir con la programación para efectuar el mantenimiento y poder mantener el nivel de producción y calidad, los objetivos de producción son cumplir con las metas de producción y calidad, por lo tanto ambos departamentos se encaminan a los objetivos finales de la empresa. La falta de cumplimiento de metas por parte del departamento de producción durante el periodo de mantenimiento preventivo, generalmente no afecta desfavorablemente a la empresa si todo está razonablemente planificado. Solo se afectaría a la empresa si el preventivo no se realice dentro del tiempo previsto y con la calidad técnica requerida.

El personal de producción debe ser sensibilizado a fin de que comprendan que una hora de parada de un equipo por mantenimiento planificado, frecuentemente evita dos o más horas por correctivo. Si la calidad del mantenimiento es deficiente y produce efectos contrarios al mejoramiento del nivel de productividad y calidad, el resultado negativo sería para la empresa y si esta se perjudica, también se perjudica al personal que depende de ella.

La adecuada planificación de las actividades del mantenimiento preventivo y el ejercicio de la autoridad por niveles jerárquicos superiores deben eliminar cualquier roce entre los departamentos de mantenimiento y producción, llevando todo esto al objetivo final de la empresa.

Mantenimiento Predictivo no es más que una forma de mantenimiento preventivo, ya que busca también mantener un equipo operativo independientemente de la aparición de una falla, pero este se realiza por métodos técnicamente más sofisticados, en los cuales se toma en cuenta las especificaciones del fabricante y además el estudio de los resultados de técnicas de análisis de falla.

Este mantenimiento va más allá de la simple inspección, limpieza y lubricación, pues pretende establecer más íntimamente las condiciones reales de funcionamiento de un equipo, por supuesto esto requerirá de herramientas sofisticadas que involucran una inversión inicial para adquirirlos, pero a mediano plazo esta inversión se verá recompensada con la optimización en la utilización de los equipos que a fin de cuenta es siempre un ahorro. Para el mantenimiento predictivo se usan algunas técnicas entre las que podemos nombrar: a) **Análisis oleoso:** Consiste en el análisis físico – químico de los aceites y en función de los resultados predecir las fallas. b) **Análisis de vibraciones:** Esta técnica puede predecir cuando un rodamiento va a fallar o cuando un elemento de máquina sufrirá una ruptura o una deformación permanente. c) **Análisis de ultrasonido:** Mediante la aplicación de ultrasonido, se puede predecir el estado de corrosión de una tubería o predecir una falla interna del material. d) **Análisis de imágenes térmicas:** Mediante este análisis podemos predecir que partes de un equipo

estarán expuestas a un aumento de temperatura no deseado, pudiendo actuar en las causas de la elevación de la temperatura prematuramente.

El mantenimiento predictivo se caracteriza por:

- ◆ Se realiza por inspecciones continuas y periódicas.
- ◆ Establece patrones exactos y de gran confiabilidad.
- ◆ Utiliza técnicas de trabajo muy sofisticadas, pero de fácil operación.
- ◆ Las inspecciones pueden ser realizadas remotamente desde un cuarto de control o en el mismo sitio donde esta el equipo.
- ◆ Predice con amplio margen de seguridad cuando una pieza o equipo fallará y prevé detalladamente las condiciones del equipo
- ◆ Utiliza poco personal.
- ◆ Diagnostica cualquier falla de manera bastante rápida.
- ◆ Permite inspecciones con el equipo en funcionamiento.

La función del mantenimiento en muchos casos va mas allá del correctivo, preventivo y predictivo, es frecuente que el departamento de mantenimiento efectúe otras labores y actividades entre las cuales podemos mencionar:

- a) Trabajos de construcción, montaje y puesta en marcha.
- b) Trabajos de reparaciones en el taller.
- c) Trabajos de seguridad industrial.
- d) Trabajos de mantenimiento de áreas verdes y recreación.

En la organización del servicio de mantenimiento hay varios niveles de actuación por parte del personal que labora en la empresa. Cada uno de estos niveles realiza un trabajo específico para el buen desarrollo de la función del mantenimiento, a saber, estos niveles son: (ver fig. N° 2. 1)

Primer nivel: Se realizan intervenciones en el sitio, tales como: limpieza, Inspección, lubricación. Control de fugas, cambio de elementos consumibles y es realizado por el personal de producción, integrando equipos de trabajo, los cuales están encargados del buen funcionamiento de las maquinarias de producción y son los responsables en el cuidado de las maquinarias.

Tercer nivel: En este nivel se realizan los trabajos de preventivo y predictivo. Este trabajo lo realizan personal técnicamente entrenado en estas labores pertenecientes al departamento de mantenimiento.

Cuarto nivel: En este nivel se realizan los trabajos de mantenimiento pero no en el sitio, sino en el taller de reparaciones y se labora sobre piezas que fueron retiradas del equipo por el segundo y tercer nivel.

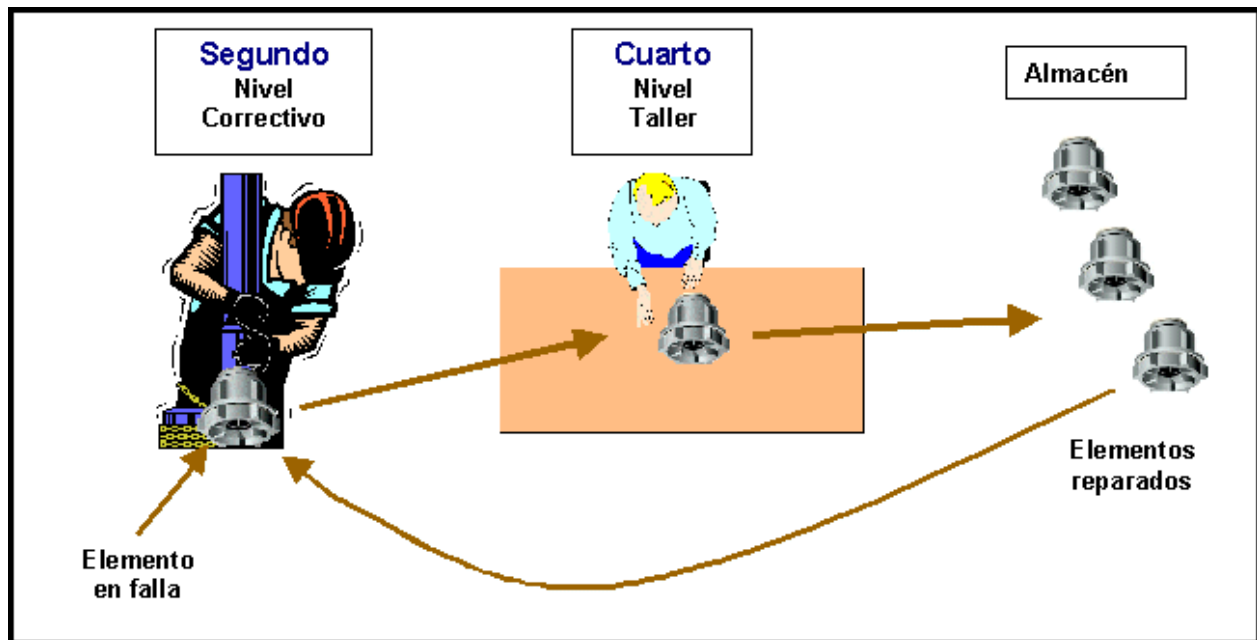


Figura 2.1

Por último el mantenimiento puede ser realizado, usando servicios externos contratados (**out sourcing**), esta modalidad es muy útil cuando:

- 1) Se requiere de personal de baja calificación en trabajos de limpieza de oficinas y jardinería.
- 2) En caso de nueva tecnología, de manera de permitir un periodo inicial de transferencia de tecnología.
- 3) Se tienen casos de cargas de trabajo puntuales como construcción o reparación mayor ocasional.
- 4) Reparaciones en talleres especializados que utilicen herramientas muy especiales, costosas y de poca utilización.
- 5) En general se demuestre que es más económico contratar que hacer el mantenimiento domestico.

Ciclo del Mantenimiento: Todo trabajo de mantenimiento, sea preventivo o correctivo, requiere ciclos de trabajo, tanto administrativo como operacional, estos ciclos están compuestos por los tiempos representados por: a) El tiempo administrativo que representa el ciclo de documentación del mantenimiento. b) El tiempo activo o verdadero en el cual se realiza la reparación y c) Tiempo de suministro de material o repuestos desde el almacén. En la gráfica Nº 2.2 se pueden observar los diferentes ciclos.

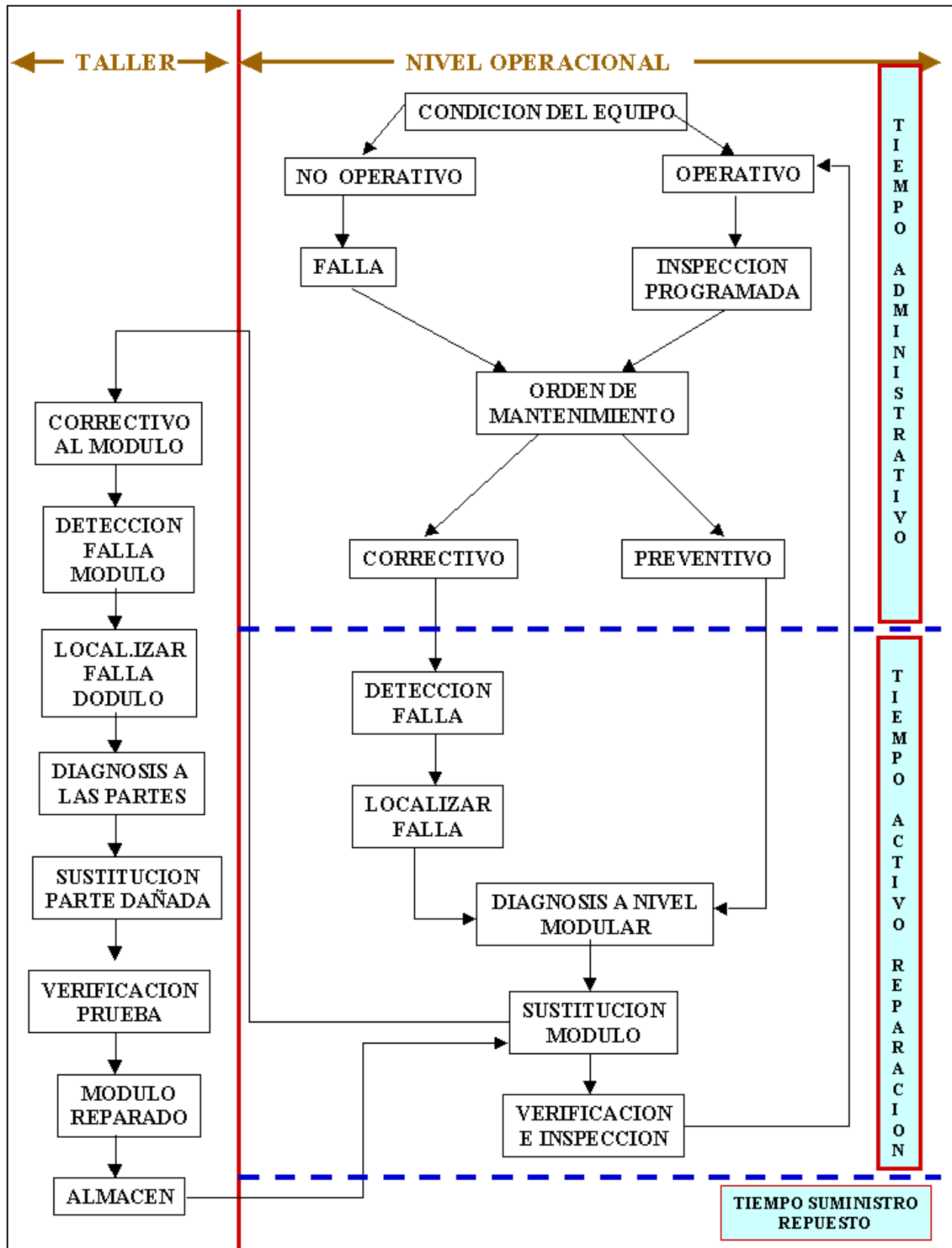


Figura N° 2.2

CAPITULO 3

LA DOCUMENTACION EN LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Los procedimientos recomendados para analizar cualquier organización de mantenimiento se pueden llevar a cabo cumpliendo con una serie de pasos o fases. Lo primero que se debe responder antes de aplicar el método siguiente, es si la organización se encuentra en una etapa inicial de operación o por el contrario se está trabajando desde hace tiempo, razón por la cual se tienen experiencias relacionadas con su operación.

Fases para la implantación de un sistema de documentación en una organización de mantenimiento (organización de archivos técnicos): la falta de documentación de todo tipo, es probablemente, el problema más serio con el cual se encuentran quienes quieren hacer mantenimiento en nuestro país. Las especificaciones de los equipos y maquinarias desaparecen, no se poseen registros históricos, inclusive se desconoce lo que se mantiene. Este es un problema relativamente fácil de atacar, ya que falta solo un poco de método y organización. A continuación se detallan los pasos a seguir para crear un sistema de documentación en mantenimiento.

- 1) **Diseñar un sistema de codificación de equipos e instalaciones:** Todo equipo o sistema que es objeto de mantenimiento debe ser adecuadamente identificado y esto consiste en identificar mediante letras y números (alfanumérica) cada equipo o instalación que forme parte de la empresa u organización. El sistema de codificación que se utilice debe cumplir con las siguientes condiciones:
 - a) Debe ser hecha bajo un sistema lógico.
 - b) Debe aceptar cambios sin sufrir desorganización.
 - c) Cada equipo o instalación debe tomar un código único y no se repetirá aunque existan equipos iguales.
 - d) El código debe ser fácil de entender y reconocer.
 - e) Se debe usar el mismo sistema de codificación para toda la planta.
 - f) Se identificará cada equipo físicamente, colocando una placa de identificación con su código o pintar el código en un sitio visible.

En algunas ocasiones es conveniente identificar los equipos y maquinarias con el mismo código usado por el departamento de administración para designar los activos fijos, de esta manera todos en planta hablan el mismo idioma tanto desde

el punto de vista financiero (recursos), productivo (operatividad) y de mantenimiento (mantenibilidad).

- 2) **Crear y mantener un inventario técnico de la planta:** Para llevar a cabo la planificación de un sistema de mantenimiento, es necesario poseer un conocimiento de todos los equipos que integran el aparato productivo, en cuanto a su número y la ubicación que tenga dentro del área física de la planta. Entre la información que debe contener un inventario están: (Ver tabla N° 1)

CODIGO	DESCRIPCION	MARCA	MODELO	UBICACIÓN PLANTA	OBSERVACIONES (CARACTERISTICAS DEL EQUIPO / REPUESTOS IMPORTANTES)
COM001	COMPRESOR	INGERSOLL-RAND	SSR400	SALA COMPRESORES	Presión trab = 125 PSI Aceite ultracooler 256
MOT002	MOTOR ELECTRICO	US MOTORS	L256	BANDA TRANSP. BAN034	200 HP 1800 RPM FRAME: 246T

Tabla N° 1 (Modelo de inventario)

Todos los inventarios deben ser revisados periódicamente de acuerdo con la rotación y adquisición de equipos dentro de la empresa. El inventario resume toda la información básica requerida por el departamento de mantenimiento y es muy útil y fácil de usar.

3) Registro de equipos:

Es necesario poseer un conocimiento de los equipos en cuanto a las especificaciones del mismo, de esta forma es conveniente tener toda la información que se disponga de un equipo en particular de una manera sencilla práctica, fácil de leer y estudiar. Para esto se debe crear el registro de equipos, que viene siendo como la partida de nacimiento del mismo y en el cual se van a registrar las características principales de él.

El registro se debe realizar para cada uno de los equipos de la planta y la información que debe contener será extraída de los catálogos y manuales del fabricante, información contenida en las placas de identificación, planos de las maquinarias, información en general suministrada por el personal de mantenimiento que tiene experiencia con el equipo y sus necesidades más frecuentes y sobre todo de la inspección física del equipo de donde se debe extraer la información propia de las piezas que lo componen, lo cual significa algunas veces el desarme de la máquina.

A partir del inventario de la planta se elaborará para cada equipo una hoja o tarjeta que se llamará **Archivo Descriptivo o Registro de Equipos**. La data vital de cada equipo se anotan en la hoja o en la tarjeta y esta recoge de una forma conveniente y concisa los detalles esenciales, de manera tal que se disponga fácilmente de la información y como referencia estándar para: a) Confirmar las especificaciones originales, b) Confirmar límites de recomendaciones del fabricante, c) Auxiliar para la obtención de repuestos y d) Proveer la información de relocalización, etc.

La información básica que debe contener un registro de equipo es la siguiente:

1. Nombre del equipo.
2. Código.
3. Marca y modelo.
4. Fabricante.
5. Nombre del distribuidor o vendedor (Incluyendo dirección y teléfono)
6. Fecha de adquisición.
7. Fecha de instalación.
8. Peso total y dimensiones.
9. Departamento al cual esta asignado
10. Listado de partes principales (Eléctricas, mecánicas y consumibles)
11. Partes con mas tendencias a falla.
12. Características principales del equipo (P/Ej: Ciclos por minuto, Temperatura y presión de operación, Caudal, etc.)
13. Frecuencia de mantenimiento preventivo, etc.

A continuación en la Fig. 3.1, se da un ejemplo de cómo debe ser un formato de registro de equipo:

4) Documentación del proveedor:

Al adquirir un equipo o sistema se debe exigir al proveedor o fabricante al menos la siguiente información:

- a) Planos y esquemas lógicos. Los planos pueden incluir esquemas, vistas parciales, diagramas funcionales, etc. El personal de mantenimiento debe confirmar que la información enviada por el proveedor son suficientes o no y reclamar los adicionales.
- b) Información general y especificaciones del sistema y sus componentes principales.
- c) Lista de herramientas especiales necesarias para realizar el mantenimiento.
- d) Listado de materiales consumibles requeridos para el mantenimiento.
- e) Procedimiento de mantenimiento preventivo.(Frecuencia, inspección, procedimientos de lubricación y otros procedimientos destinados al mantenimiento preventivo).
- f) Procedimientos de operación incluyendo la ubicación y funcionamiento de todos los controles.
- g) Ayudas para la solución de fallas, incluyendo esquemas lógicos de búsquedas de fallas, recomendaciones y procedimientos de reparación.
- h) Especificaciones de confiabilidad y seguridad, listado de repuestos y costos aproximados.
- i) Requerimientos para el entrenamiento y formación del personal.

4) Ordenes de trabajo:

El objetivo de un programa de mantenimiento es la reducción de paradas inesperadas y reducción de costos, una forma de controlarlos es llevando un historial por el dpto. de mantenimiento, y esta debe contener la siguiente información (Ver fig. 3.2). Por otra parte en las ordenes de trabajo de mantenimiento preventivo, además de toda la información presentada en la figura, se debe incluir la siguiente información: Rutinas y actividades programadas y realizadas.

LOGO DE LA
EMPRESA

REGISTRO DE EQUIPOS

NOMBRE:

CODIGO:

MARCA:

MODELO:

SERIAL:

FABRICANTE:

ADQUIRIDA A:

DIRECCION:

TELEFONO:

E-MAIL:

FECHA DE ADQUISICION:

COSTO:

DEPARTAMENTO AL CUAL ESTA ASIGNADO:

CARACTERISTICAS PRINCIPALES: (PRESIÓN Y TEMP. TRABAJO, VELOCIDAD, N° DE CICLOS, ETC.)

LISTADO DE PARTES PRINCIPALES Y CONSUMIBLES (DESCRIPCIÓN Y n° PARTE)

PARTES CON MAS TENDENCIAS A DAÑO:(DESCRIPCIÓN Y n° PARTE)

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Figura 3.1 Modelo de Registro de Equipos

Esta data permite conocer el funcionamiento de cada equipo, se puede saber cuando comprar una maquina nueva debido al desgaste y deterioro de su condición actual, e igualmente las ordenes de trabajo sirven para:

- 1) Conocer las averías que se repiten y con que frecuencia.
- 2) Conocer el costo del mantenimiento.
- 3) Determinar el tiempo entre fallas.
- 4) Conocer el tiempo empleado en la reparación.
- 5) Determinar la demanda de repuestos y materiales.
- 6) Conocer el personal necesario para reparar la falla o realizar el preventivo.
- 7) Informar a la gerencia del trabajo a realizar y/o realizado.
- 8) Proyectar o dimensionar los requerimientos futuros.
- 9) Obtener mayor efectividad del sistema.
- 10) Determinar el rendimiento del personal.

Las ordenes de trabajo constituyen el informe que sirve al departamento de mantenimiento en sus actividades de control y se clasifican según la naturaleza del mismo y son básicamente de Correctivo, Preventivo, Servicio y Taller.

5) Programa de mantenimiento preventivo:

Diseñar el programa de mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta la necesidad de preparar instructivos y procedimientos para cada equipo, determinando prioridades. En cada instructivo o procedimiento se establecen las frecuencias de las inspecciones, basándose en los manuales del fabricante, experiencias previas del personal de mantenimiento y del diseñador del plan en cuestión.

El programa de mantenimiento preventivo consiste en especificar cuando, en términos de tiempo, se realizará el mantenimiento y su propósito general es:

1. Establecer el programa de trabajo:

- a) Distribuir el trabajo por periodos (año, mes, semana, etc.)
- b) Asegurar que no se omita ningún equipo a mantener.
- c) Coordinar el mantenimiento del sistema asociado.
- d) Coordinar el mantenimiento con los requerimientos de producción.
- e) Ayudar a la planificación de compra de repuestos, necesidades de mano de obra para el control del presupuesto.

El programa se puede preparar en consulta con el departamento de producción, de manera tal que el mismo se cumpla con los requerimientos de producción. Los trabajos a programarse pueden ser de tres tipos:

- Rutinas de mantenimiento:** Es un tipo de trabajo que se realiza frecuentemente, a intervalos cortos o regulares, tales como pequeños ajustes, limpieza, lubricación, inspección de fugas. Generalmente se realizan con todo el equipo en operación o bien cuando hay paradas rutinarias debidas a las paradas programadas de producción.
- Inspecciones periódicas:** Es un trabajo planificado para prevenir posibles fallas y pronosticar que piezas habrá que reemplazar, haciendo uso de los procedimientos de mantenimiento preventivo los cuales son la guía paso a paso de cómo realizar las actividades en cuestión. La frecuencia de este trabajo depende del equipo y su importancia dentro de la empresa.


		NOMBRE Y LOGO DE LA EMPRESA	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO
ORDEN DE TRABAJO		Nº	
AREA:		FECHA:	
MAQUINA O EQUIPO:		CODIGO:	
DESCRIPCION DEL TRABAJO SOLICITADO:			
CLASIFICACION DEL TRABAJO		RUTINA:	
		URGENTE:	
DEPARTAMENTO SOLICITANTE:			
SOLICITADO POR:		FIRMA:	
FECHA INICIO:	FECHA CULMINACION:		
TOTAL HORAS-HOMBRES		TOTAL HORAS:	
NORMALES:	SOBRE TIEMPO:		
DESCRIPCION DEL TRABAJO REALIZADO:		Nº DE OPERARIOS Y CLASIFICACION:	
DESCRIPCION MATERIALES Y REPUESTOS UTILIZADOS:			
CONTROL DE COSTOS		TOTAL Bs.	
MATERIALES:			
REPUESTOS:			
MANO DE OBRA:			
COSTO TOTAL			
ENCUESTA GENERAL			RECIBI CONFORME:
	EXCELENTE	BUENA	DEFICIENTE
CALIDAD DE TRABAJO			
TIEMPO DE ENTREGA			
REALIZADO POR:	AUTORIZADO POR		REPORTE DE PARADA
			EQUIPO: Horas
			PRODUCCIÓN: Unid.

Figura: 3.2 Modelo de Orden de Trabajo

- **Revisión y reparaciones ocasionales:** Esta se realiza aprovechando paradas ocasionales del equipo por razones no imputadas a la programación de mantenimiento.
- 2. **Estimar fuerza de mantenimiento en Horas-Hombres para cumplir con el plan:**
Las estimaciones actuales del costo de mano de obra directa esta entre un 40 y 60 por ciento del costo total de mantenimiento.
- 3. **Estimar la fuerza de mantenimiento total:**
Relación entre el personal necesario para realizar el programa de mantenimiento preventivo y el disponible para atender las posibles fallas repentinas que se pueden presentar en otros equipos (Correctivo)
- 4. **Diseñar el sistema de control:**
Analizar los resultados obtenidos periódicamente ayudará a los planificadores a tomar las decisiones efectivas y mejorar el sistema, es decir, alcanzar los objetivos.

Estos pasos se pueden aplicar tanto si se trata de una planta que esta arrancando sus operaciones o si se trata de una planta la cual está trabajando, en la cual se deben modificar o implantar los puntos que no estén definidos o claros.

Organización de un archivo técnico:

El archivo técnico trata de organizar toda la información antes especificada de manera que sea la memoria de los equipos y sistemas dentro de la empresa, estos archivos deben ser consultados frecuentemente y por ende deben ser tan funcionales como sea posible, pudiéndose integrar los sistemas de computación con los programas adecuados para guardar toda la información y el fácil acceso a la misma.

En el mercado se pueden obtener programas (software) especializados para organizar las actividades de mantenimiento entre los que se pueden nombrar el MP2, SAP y el MAIN STAR 7.

CAPITULO 4

LA FIABILIDAD APLICADA AL MANTENIMIENTO

CONFIABILIDAD:

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un componente o un equipo no fallará estando en servicio, durante un período determinado cuando es operada en condiciones razonables de presión, temperatura, velocidad, vibraciones, entre otras variables. En otras palabras la confiabilidad es “ **La probabilidad de que un equipo o componente del mismo, lleve a cabo su función adecuadamente durante un período, bajo condiciones operacionales normales**”: Se dice que un equipo es confiable cuando funciona bien cada vez que se necesita y hace bien el trabajo para el cual fue diseñado.

Para estudiar la confiabilidad debemos tener en cuenta dos parámetros básicos:

- **Probabilidad de supervivencia $P_s(t)$** : Término sinónimo de confiabilidad
- **Probabilidad de falla $PS(t)$** : Término que representa la desconfiabilidad.

Estudio de la confiabilidad:

Es el estudio de fallas de un componente o un equipo. Si se tiene un equipo sin falla, se dice que el equipo es cien por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno (1). Cuando la frecuencia de falla aumenta se puede afirmar que la confiabilidad decrece. Un buen análisis de falla es el paso previo y más importante en la determinación de un programa de mantenimiento económico (Mantenimiento óptimo) y este depende del conocimiento del índice de falla de un equipo en cualquier momento de su vida.

Tipos de análisis de fallas:

- 1) Análisis Técnico de Fallas: Determina las causas y la magnitud de la falla.
- 2) Análisis Estadístico: Estudia la influencia del factor tiempo en el mecanismo de falla sin importar la causa. Este análisis estudia los siguientes parámetros:
 - a) Tiempo promedio entre fallas. **[TPEF]**
 - b) La probabilidad de supervivencia. **[$P_s(t)$]**
 - c) La rata de falla. **[$r(t)$]**

Tiempo promedio entre falla:

El tiempo promedio entre falla o la medida de los tiempos entre falla indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de la falla. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del equipo o componente. El valor de este parámetro, es limitado mientras no se conozca como están distribuidos los tiempos entre falla con respecto a la media. (En una distribución normal el 50 por ciento de las fallas ocurren en tiempos menores al tiempo promedio entre falla, en la distribución exponencial esta cifra es de 63.2 por ciento) Ver Fig. 4.1

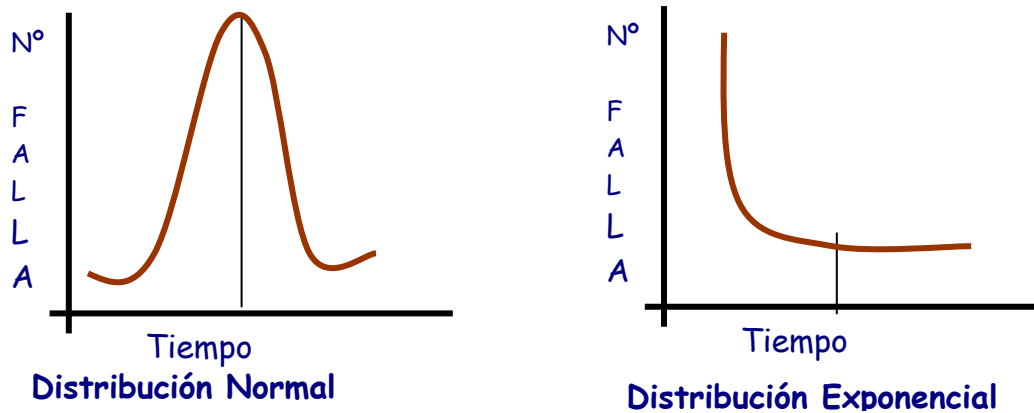


Figura 4.1

Probabilidad de Falla:

Si un componente o equipo no ha fallado es porque esta operando adecuadamente, es decir que la probabilidad de supervivencia es complemento de la probabilidad de falla, o sea:

$$P_s(t) = 1 - P_f(t)$$

Rata de falla:

Se define para los efectos de confiabilidad como la probabilidad casi inmediata de falla de un componente o equipo al llegar a "t" horas de operación.

$$r(t) = \frac{P(t)}{P_s(t)}$$

Donde: P(t) es el valor de la intensidad de la falla al tiempo "t"
P_s(t) es la probabilidad de supervivencia al tiempo "t"

Generalmente, r(t) se expresa en fallas por horas o en falla por día o cualquier otro intervalo de tiempo.

Periodo de vida de un equipo:

La vida útil de un equipo esta dividida en tres periodos separados, los cuales se definen en función del comportamiento de la rata de falla. Estos periodos son:

- a) Periodo de arranque.
- b) Periodo de operación normal
- c) Periodo de desgaste.

En la gráfica 4.2 se muestra la relación entre la tasa de falla y el funcionamiento del equipo (Curva de la Bañera). En el periodo de arranque, el índice de falla decrece; es decir, al aumentar el tiempo la tasa de falla decrece, la probabilidad de falla mañana es menor que la de hoy y generalmente la corrección de defectos de fabrica corresponde al grupo de arranque, hasta el punto donde la frecuencia de falla disminuye y llega a estabilizarse en un índice constante, en ese momento se entrega el equipo a producción. En este periodo las fallas son debidas a defectos de material, errores humanos y componentes fuera de especificaciones durante el ensamblaje.

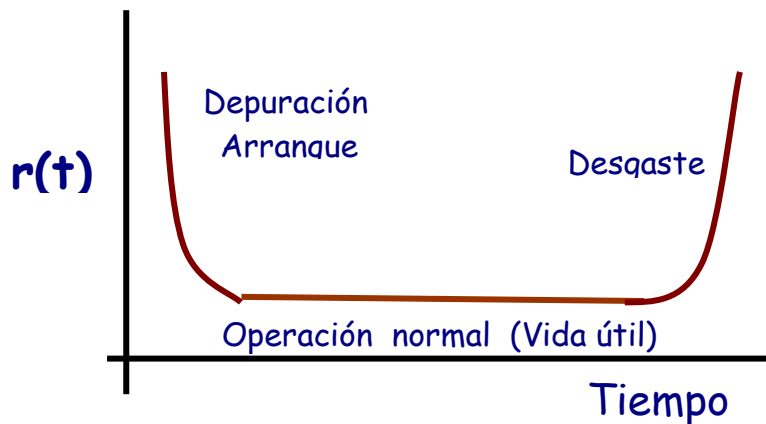


Figura 4.2 - Curva de la Bañera

Cada vez que a un equipo se le realiza una reparación mayor (over-haul), comienza un nuevo periodo de vida con otro periodo de arranque. Se debe inspeccionar el equipo después de una cantidad de horas de operación según sea lo previsto en el programa de mantenimiento preventivo. **“normalmente un equipo tiene una probabilidad de falla, $P_f(t)$, mas alta inmediatamente después de la reparación general que inmediatamente antes”**. La frecuencia de la falla tiende a disminuir a medida que los componentes son reemplazados y los errores subsanados hasta que finalmente la tasa de falla se estabiliza y el equipo entra en un periodo de operación normal.

El periodo de operación normal cubre la mayor parte de la vida útil del equipo, los índices de falla se mantienen constantes y es tan factible que ocurra una falla hoy como que suceda dentro de una semana o un mes. Las fallas son debidas a repentinas acumulaciones de esfuerzos por encima de la resistencia de diseño de los componentes u ocurren totalmente al azar y son imposibles de predecir.

El período de desgaste se caracteriza por que el índice de falla aumenta repentinamente, debido al desgaste mecanico, degradación del material de los componentes, así como también a la falta o a la mala lubricación y limpieza, la corrosión y erosión. (Ver tabla 4.1)

ZONA	CONTRIBUYE AL FALLO	REDUCIDO POR
DEPURACIÓN (Arranque)	<ul style="list-style-type: none"> Defectos de fabricación Pobre Control de Calidad Contaminación Fallas de puesta a punto 	<ul style="list-style-type: none"> Prueba de Aceptación Eficiente Control de Calidad Protecciones Entrenamiento personal
OPERACIÓN NORMAL (Vida Útil)	<ul style="list-style-type: none"> Cargas aleatorias Entorno Error Humano Cambios de Funciones 	<ul style="list-style-type: none"> Redundancia Diseño resistente a esfuerzos
ZONA DE DESGASTE	<ul style="list-style-type: none"> Fatiga Corrosión y Fricción Envejecimiento Cargas Cíclicas 	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento Preventivo Reemplazos de elementos Tecnologías

Tabla 4.1 - Características de las etapas de la curva de la Bañera

Políticas de Mantenimiento:

Se deben definir políticas de mantenimiento, consistentes con los objetivos de minimización de costos y maximización de disponibilidades. Las tres políticas básicas son:

- 1) Políticas para equipos que fallan exponencialmente: En este caso la política es reparar el equipo solo cuando presenta la falla.
- 2) Políticas para equipos que fallan por desgaste: La probabilidad de supervivencia es función de la edad del equipo. En principio hay un beneficio en reemplazarlo o repararlo al inicio del período de desgaste, sin embargo, es necesario comparar costos de una reparación o reemplazo prematuro con el costo de una falla de servicio.
- 3) Políticas para equipos o sistemas complejos: Equipos complejos son aquellos formados por muchos componentes y que tienen un mecanismo exponencial de fallas, aun cuando sus componentes fallen por desgaste. Esta situación da cabida a la política de mantenimiento oportunístico de componentes. Para aplicar esta política es necesario:
 - Conocer el mecanismo de falla del equipo como sistema.
 - Conocer el mecanismo individual de falla de sus componentes.

Procedimiento:

- Reparar o reemplazar el componente que falló.
- Reparar solo los componentes para los cuales $[td - t] < 0.7 \text{ TPEF}$

Donde: **td** es el intervalo óptimo de reparación del componente

t es la edad del componente al momento de la falla.

TPEF Es la media de los tiempos entre fallas del equipo.

MANTENIBILIDAD:

Es la probabilidad de que un equipo o componente pueda ser restaurado a una condición operacional satisfactoria dentro de un período de tiempo dado, cuando las actividades de mantenimiento son realizadas de acuerdo a las normas y procedimientos preestablecidos. Mantenibilidad es entonces una función de eficiencia que mide la capacidad de un equipo de cambiar de un estado inoperante a un estado de operación satisfactorio

Factores que influyen en la mantenibilidad:

Operacionales:

Generalmente se relacionan con el factor humano encargado del equipo y de mantenerlo, así también, con los asociados con el medio ambiente. Entre otros podemos nombrar: políticas, normas y procedimientos de mantenimiento preventivo, disponibilidad de repuestos, espacio para trabajar, entrenamiento, destreza y habilidades del personal, calidad de supervisión, comunicación técnicas usadas para corregir fallas y soporte logístico.

Estos factores son intangibles e imposible fijar su importancia desde el punto de vista cuantitativo, y para obtener mejores resultados, la mantenibilidad debe ser diseñada en fase de especificación y selección de equipos.

Diseño:

Se relaciona con la fase del diseño en la cual se deben considerar la distribución física, accesibilidad del equipo, intercambiabilidad y niveles iniciales de repuestos, los cuales tienen significativa influencia sobre el nivel de mantenibilidad y sobre el potencial de mejorar esta mantenibilidad.

Tiempo promedio fuera de servicio:

El tiempo promedio fuera de servicio o comúnmente llamada media del tiempo fuera de servicio (TPFS), es el parámetro básico de la mantenibilidad, el cual puede ser obtenido en base al número total de horas fuera de servicio por causa de una falla y el número de acciones de mantenimiento llevado a cabo por concepto de falla. El tiempo fuera de servicio es aquel que transcurre que se para el equipo por presencia de una falla hasta que es entregado de nuevo, listo para cumplir su función.

El tiempo fuera de servicio se puede representar por la siguiente ecuación:

$$\mathbf{TFS = Te + Tlf + Tr + Tdr + Ttt + Ta + Tap}$$

Donde: **Te**: es el tiempo de enfriamiento del equipo desde su parada hasta el instante en que las condiciones permitan que se haga el mantenimiento.

Tlf: es el tiempo empleado en localizar la falla.

Tr: tiempo de reparación

Tdr: demora por repuestos y materiales.

Ttt: tiempo de trabajos en el taller.

Ta: tiempo administrativo (Turnos no trabajados, fines de semana, etc.)

Tap: tiempo de arranque y pruebas.

Métodos para asegurar la mantenibilidad optima:

- Uso de técnicas modernas para localizar o anticiparse a las fallas (MPT, Predictivo, Preventivo)
- Aumentar la rapidez para atender el mantenimiento correctivo y las emergencias.
- Uso de partes intercambiables o reemplazables en el sitio de trabajo.
- Minimizar el tiempo de espera de materiales.
- Tomar acciones de carácter administrativo y planificativo.
- Análisis de data y experiencias previas.

DISPONIBILIDAD:

Se define como la probabilidad de que un equipo esté operando o sea la disponibilidad para su uso, durante un periodo determinado, Es decir, la disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.

Calculo de la disponibilidad: Para él calculo se pueden usar los siguientes factores o índices:

1. Factor de servicio (FS):

$$FS = \frac{\text{Horas de operación}}{\text{Total de horas al mes}}$$

2. Índice de mantenimiento (IM):

$$IM = \frac{MC(1) + MP(1)}{8760}$$

Donde: **8760:** es le número de horas al año (para un equipo que trabaja las 24 horas del día)
MC(1):Tiempo fuera de servicio por mantenimiento correctivo al año.
MP(1):Tiempo fuera de servicio por mantenimiento preventivo e inspecciones al año.

3. Disponibilidad (D):

$$D = \frac{TPEF}{TPEF + TPFS}$$

Donde: TPEF: tiempo promedio entre fallas
TPFS: tiempo promedio fuera de servicio

De la anterior ecuación podemos definir la indisponibilidad (DTR):

$$DTR = 1 - D$$

La disponibilidad es la mejor cifra de mérito para la utilidad del equipo. Es un índice cuantitativo y puede ser especificado en la etapa de diseño.

La característica principal de la disponibilidad es que es una probabilidad constante a lo largo de un periodo, o sea, que no varía con el tiempo como lo hacen la confiabilidad y la mantenibilidad.

La disponibilidad tiene mucha importancia en el cálculo de factores de efectividad, al evaluar la influencia de la disponibilidad de un equipo sobre la efectividad global del sistema. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad (TPEF y TPFS), es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad por medio de:

- Aumento de los tiempos entre fallas
- Reducción de los tiempos fuera de servicio
- Tácticas combinadas.

Estas acciones también influyen de manera notable sobre los costos y se puede identificar una política óptima en función de maximización de la disponibilidad y la minimización de los costos.

CAPACIDAD EFECTIVA DEL SISTEMA:

La capacidad efectiva es un parámetro fundamental que caracteriza la disposición que tiene un sistema total para cumplir con las demandas que se le imponga, generalmente en base al conocimiento del comportamiento de las fallas y de las correspondientes reparaciones de los componentes del sistema, cuando estos son operados de acuerdo a las normas y procedimientos uniformes establecidos previamente.

Se considera un sistema total a un conjunto de entidades relacionadas entre sí por vínculos y atributos, con el objeto de lograr determinadas metas, es decir, que un elemento independiente no es un sistema total, cuando se trata aisladamente. El conocimiento de la capacidad efectiva de un sistema y de los factores que influyen en ella, permite emitir recomendaciones tendientes a mejorar el funcionamiento y rendimiento del mismo.

Bajo este orden de ideas se definen: **Capacidad efectiva (Ce)**, que es la utilidad o valor esperado en términos cuantitativos del rendimiento de un sistema, cuando esté operando y mantenido de acuerdo a normas y procedimientos preestablecidos, por otro lado tenemos la **Capacidad instalada (Ci)**, la cual es la utilidad o valor de diseño en términos cuantitativos del rendimiento de un sistema. Es la capacidad máxima del sistema y tipifica la situación ideal de ausencia de fallas, por último se define el **Factor de efectividad (Fe)**, que es la probabilidad de que un sistema opera a su capacidad instalada durante un periodo determinado.

Calculo de la capacidad efectiva (Ce):

1.
$$Ce = Fe \cdot Ci$$

Las ventajas de este cálculo son las siguientes:

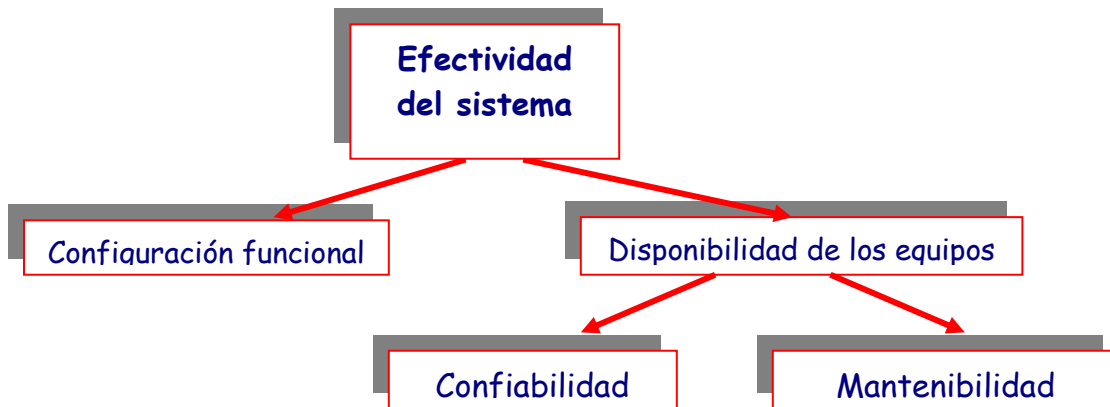
- Mide el verdadero rendimiento del sistema
- Permite cuantificar déficit o excesos de capacidad.
- En base a la cuantificación anterior se toman decisiones en cuanto a mejorar la capacidad efectiva, eliminación de la capacidad instalada en exceso o la necesidad de capacidad instalada adicional para satisfacer la demanda

2.
$$Ce = Pt / Ci$$

Donde: **Pt:** unidades producidas en el periodo **t**
Ci: capacidad instalada de producción en el periodo **t**

Conclusiones:

1. El factor de efectividad es una función de la disponibilidad de los equipos y de su configuración funcional



2. Para cada nivel de efectividad se tienen requisitos distintos de mano de obra, material, equipos y herramientas, además de tener costos de penalización inherentes a la paralización de los equipos y del sistema.
3. El costo total de cada nivel de efectividad es igual a la suma de los costos fijos, más costos de operación, más costos de penalización.
4. Después de cierto valor de efectividad, los costos de operación crecen de manera marcada para pequeños aumentos de efectividad. Esto es debido al aumento del costo de mantenimiento, o sea, la mejora de mantenibilidad, inversiones adicionales para mejorar la confiabilidad de los equipos y del sistema e instalación de equipos de reserva.

CAPITULO 5

PLANIFICACION Y COTROL DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Planificar significa decidir por anticipado: que hacer, como hacerlo, cuando hacerlo y quien lo va a hacer, llena el vacío entre donde estamos y a donde queremos ir y hace posible que ocurran cosas que de otra manera no ocurrirían, en otras palabras, sin planificación los acontecimientos serian dejados al azar.

De lo anterior se puede decir que **Planificación** es un proceso intelectual, la determinación consciente de líneas de acción, logros de que las decisiones estén basadas en propósitos, hechos determinados y estimaciones adecuadas.

PLANIFICAR significa anticipar el recurso de acción que ha de adoptarse con la finalidad de alcanzar una situación deseada

Tipos de planes:

A. Planificación a largo plazo (5 a 10 años)

Esta planificación desde el punto de vista del mantenimiento, esta ligada íntimamente con los pronósticos de ventas y la producción, se lleva a cabo, dentro de las empresas, por el personal encargado de elaborar planes de esta índole y afecta a la totalidad de la empresa, estos planificadores, trabajan conjuntamente con los ejecutivos de divisiones, definiendo y expresando lo que se necesita en el terreno de las decisiones actuales, para poder alcanzar determinadas metas. El efecto de los planes elaborados se experimenta en toda la organización e influye sobre: a) La Ingeniería de fabrica, b) La dirección de control de calidad y la dirección de control de producción.

En esta planificación se debe tomar en cuenta lo siguiente: la logística para obtención de materiales y repuestos, la fecha de disponibilidad de los equipos, el

personal requerido (Incluyendo contrataciones futuras) y los programas detallados y las fechas para llevar a cabo las acciones de mantenimiento.

B. Planificación a corto plazo (1 año)

Esta planificación debe ser realizada teniendo en cuenta los siguientes aspectos: a) Previo a la parada de una maquina, se debe aumentar el trabajo de ella para producir cantidades adicionales de modo que no afecte las ventas. B) es recomendable utilizar el tiempo de vacaciones colectiva de la empresa y c) Avisar al departamento de producción con suficiente antelación para que se tomen las medidas necesarias.

C. Planificación inmediata

Esta puede ser programada diariamente o semanalmente, en ella se planifican los programas de limpieza, lubricación, etc., lo que comúnmente llamamos rutinas de inspección, limpieza y lubricación. Por medio de esta planificación se pueden reparar equipos no críticos y la fabricación de piezas.

Principios de la programación del mantenimiento preventivo

Los principios de programación aplicados a un proceso productivo, son válidos para aplicarlos en el proceso de programación del mantenimiento preventivo (**PMP**), estos principios son:

1. Los programas deben basarse en lo más probable que suceda y no en lo que queremos que ocurra. No usar el programa como meta ya que si es así estaríamos enrumbado al fracaso.
2. La programación debe ser flexible, esto significa que se puede presentar la necesidad de poder hacer cambios en el programa.
3. El programa es un medio para conseguir el fin, y no un fin en sí mismo. El verdadero objetivo es de servir a un cliente a un costo razonable.
4. Los plazos de tiempo prometidos deben incluir un margen de tiempo adicional para la procura del material y repuestos, incluyendo esto la gestión de tramites administrativos y de reprogramación.
5. Se deben conocer con el mínimo detalle las cargas de trabajo, es decir, el número de personas, su clasificación y el tiempo de trabajo.
6. Los materiales, herramientas y el personal deben hallarse oportunamente en cada punto de control.
7. Los programas deben ser basados en estudios de costos bajos y fechas de entrega que se puedan cumplir.

En general el Mantenimiento se diagnostica y se planifica en función de los planes anuales de Producción

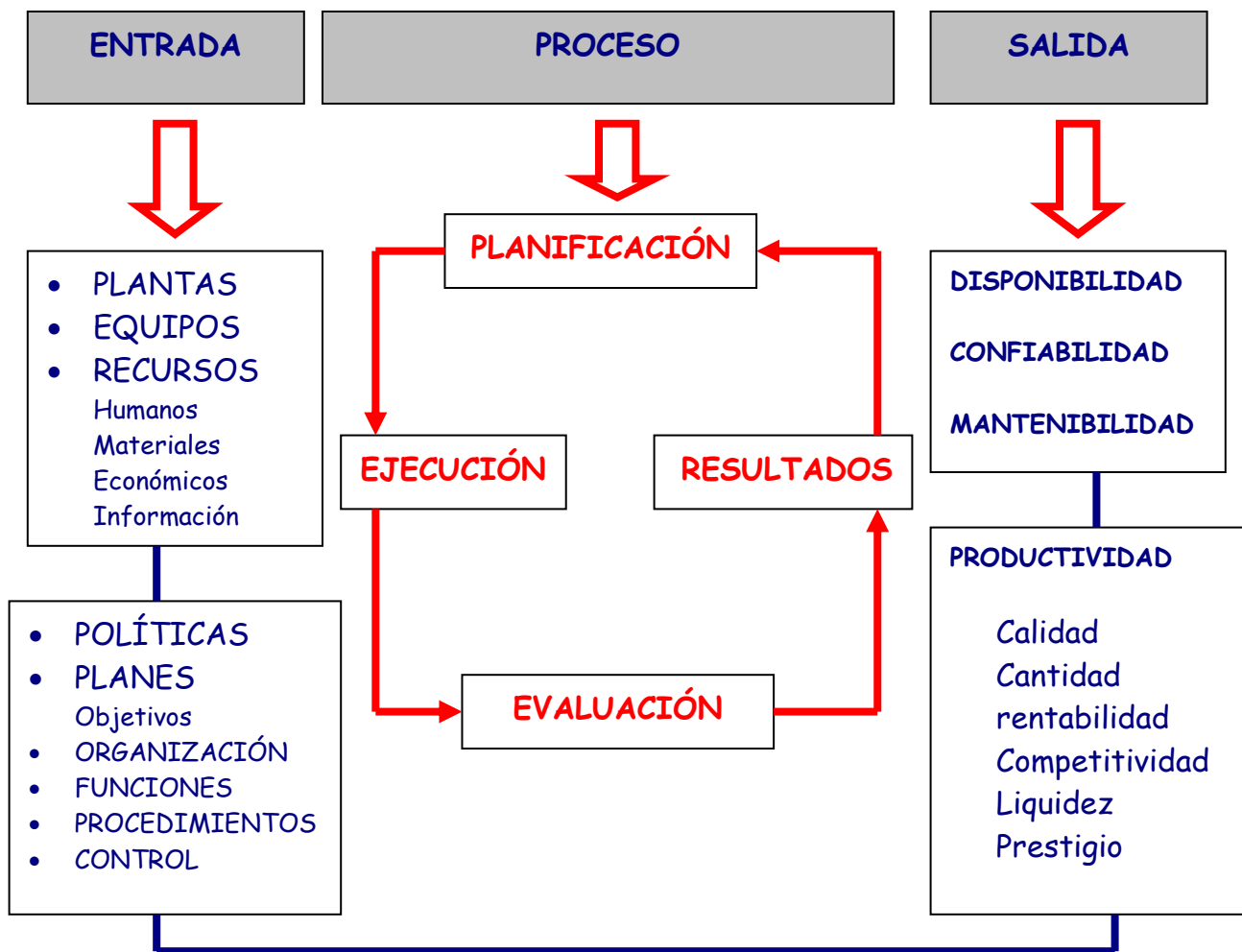
Alcance de la actividad de mantenimiento

Se deben especificar los sistemas, equipos e instalaciones que deben ser adecuadamente mantenidos, así como también, se deben estudiar los requerimientos de mantenimiento, la frecuencia de operaciones de mantenimiento y las limitaciones del mismo. De los dos puntos anteriores depende los costos de mantenimiento y la vida útil del equipo.

Enfoque Sistemático del Mantenimiento

El enfoque sistemático del mantenimiento se puede representar en la figura 5.1, en la cual se presentan tres bloques principales que son: ENTRADAS: definen que tenemos y conque contamos, PROCESO: define como se va arealizar y SALIDA: que nos indica para que queremos el mantenimiento.

Figura 5.1 - ENFOQUE SISTEMATICO DEL MANTENIMIENTO



Objetivos de la planificación y la programación del mantenimiento

1. Establecer una base para alcanzar alto rendimiento en materia de mantenimiento.
2. Determinar las necesidades de reparación para los equipos y edificaciones de planta.
3. Contribuir a una supervisión de mantenimiento efectiva.
4. Permitir la producción lo más continua posible.
5. Revelar la cantidad de trabajo de mantenimiento.
6. Permitir un pronóstico de los trabajos normales que deben realizarse.
7. Contribuir a balancear la programación de los trabajos y a nivelar los costos ocasionados por estos.

Aspectos que se deben tomar en cuenta para la planificación del mantenimiento preventivo.

1. Que tipo de equipos y/o componentes deben ser inspeccionados y mantenidos:

- a) Si la falla de la máquina afecta seriamente la producción, la calidad del producto, la seguridad del personal o la continuidad de la operación, si esto ocurre, la maquina debe ser considerada como un punto crítico y por lo tanto amerita que sea revisada con mayor frecuencia que la recomendada por el fabricante. Bajo este punto de vista se debe realizar un análisis de criticidad.
- b) Si se cuenta con un equipo auxiliar que absorba la carga del equipo cuando se pare por mantenimiento, si esto es cierto, es necesario comparar los costos del mantenimiento preventivo con los de realizar solamente el correctivo, comparar estos costos y decidir si hacer o no el preventivo.
- c) Si el reemplazo del equipo por uno nuevo es más económico que el reacondicionamiento del que estaba en operación, o bien, el costo de atención preventiva es mayor que los beneficios resultantes de la misma, evidentemente no se justifica practicar el mantenimiento preventivo.

2) Clasificación de los equipos según su importancia relativa que tiene dentro de la empresa:

Para tener una idea de este punto, se pueden citar algunos equipos prioritarios para establecer requerimientos de mantenimiento

- a) Equipos para procesos: Hornos, tuberías, compresores, motores eléctricos, intercambiadores de calor, bombas, etc.
- b) Equipos de seguridad de maquinas: Válvulas, válvulas de seguridad, interruptores, etc.
- c) Equipos para servicio: Calderas, generadores eléctricos, tuberías de aire comprimido, etc.
- d) Equipos auxiliares: Tanques, pulmones de aire comprimido, instrumentos de medición, etc.
- e) Edificios de la planta: Area productiva, almacenes, oficinas, etc.
- f) Equipos de protección.

3) Otros factores que se deben tomar en cuenta son:

- a) Condiciones en la que se encuentra el equipo: Edad, valor estimado, grado de obsolescencia y deterioro.
- b) Horas de operación por día, severidad del servicio al que se somete el equipo.
- c) Importancia del equipo con respecto a la calidad del producto y a la seguridad del personal.

Toda la información requerida para estudiar y analizar fácilmente los aspectos antes mencionados la podemos conseguir del archivo técnico, sin embargo desde el punto de vista de la criticidad de los equipos se debe incluir un análisis de criticidad.

Análisis de Criticidad:

A continuación se presenta un método (INTEVEP-PDVSA, 1998), del cual de una forma fácil y sencilla podremos obtener los valores necesarios para decidir sobre la criticidad de un equipo.

Criticidad Total = Frecuencia de Fallas x Consecuencias	Ec[5.1]
--	----------------

Donde:

Frecuencia de falla: es el número de fallas en un tiempo determinado.

Consecuencia = [(Impacto Operacional * Flexibilidad) + Costos de mantenimiento + Impacto seguridad , Ambiental e Higiene)]

A continuación se muestran algunas tablas de ejemplos que pueden ser tomadas para obtener el valor de los parámetros de la ecuación 5.1

FRECUENCIA ENTRE FALLAS	Valor
Mayor: dos (2) fallas al año	4
Promedio: de 1 – 2 fallas al año	3
Buena: 0.5 – 1 falla al año	2
Excelente: menor a 0.5 falla al año	1

Tabla 5.1

IMPACTO OPERACIONAL	Valor
Parada del equipo genera parada total de la planta	10
Parada del equipo por lapso mayor a 36 horas afecta el tiempo de entrega de producto	7
Parada del equipo genera bajo niveles de calidad en el producto	4
Parada del equipo no afecta la producción	1

Tabla 5.2

FLEXIBILIDAD DE OPERACIONES	Valor
No hay la opción de funcionamiento del equipo y no hay otro para reposición	4
Hay equipo de reposición	2
Hay repuestos y materiales disponibles para el equipo	1

Tabla 5.3

COSTO DEL MANTENIMIENTO *	Valor
Mayor o igual a Bs. 3,000,000.00	2
Inferior a Bs. 3,000,000.00	1

*Estos valores dependen del proceso inflacionario

Tabla 5.4

IMPACTO EN SEGURIDAD, AMBIENTE E HIGIENE	Valor
La falla del equipo puede afectar la seguridad humana tanto internamente como externa.	8
La falla en el equipo afecta el medio ambiente exterior y de las instalaciones	7
La falla del equipo afecta las instalaciones de la planta causando daños severos	5
El equipo puede presentar en un instante un peligro inminente al fallar	3
No provoca daños de ninguna índole	1

Tabla 5.5

Los valores se operacionan en la ecuación 5.1 de la criticidad total y se obtiene el valor global de criticidad para cada equipo. (**el máximo valor de criticidad que se puede obtener a partir de los valores señalados en las tablas anteriores es de 200**)

Para obtener el nivel de criticidad de cada equipo se toman los valores totales individuales de cada uno de los factores principales: Frecuencias y de las consecuencias, estos valores se colocan en la matriz de criticidad (Ver Figura 5.2) permitiendo jerarquizar los equipos en tres áreas:

NC = No Critico MC = Medianamente Critico C = Critico

FRECUENCIA					
4	MC	MC	C	C	C
3	MC	MC	MC	C	C
2	NC	NC	MC	C	C
1	NC	NC	NC	MC	C
	10	20	30	40	50
	CONSECUENCIAS				

Fig. 5.2 Fuente: Criticality Analysis (1994)

Herramientas usadas en la planificación y programación del mantenimiento.

- 1) **Preparación del trabajo:** Esto implica separar el trabajo en fases, siendo las fases un conjunto de operaciones que es lógico agrupar y que pueden ser realizadas por un trabajador o grupo de estos, y especificar para cada fase los procedimientos de operación y seguridad, las herramientas, los materiales la cantidad y tipo de personal, usando diagramas y planos donde sea conveniente. Se debe indicar también el tiempo de inmovilización del equipo y las horas hombres necesarias. Esta información puede vaciarse en un formato estándar para los trabajos programados o en un formato similar al que se muestra en la tabla 5.6

EQUIPO: Motogenerador				CODIGO: MMO005				
TRABAJO: Revisión grupo moto reductor								
FASE	DESCRIPCION	PREVISTO			REAL			OBSERVACIONES
		T	PERSONAL	H-H	T	PERSONAL	H-H	
10	Desacople	5	3 mecánicos	15				
20	Limpieza y desarme	2	1 Mecánico 1 Electricista.	4				
30	Rev. Motor	10	2 electricista.	20				
40	Rev. Reductor	20	2 mecánicos	40				
50	Armado y pint.	2	1 mecánico	2				
60	Reinstalación	8	2 mecánicos 1 electricista.	24				
TOTAL		47		105				

Tabla 5.6

La información necesaria para elaborar la tabla anterior puede ser obtenida de las rutinas y procedimientos de mantenimiento preventivo.

Otra herramienta que es de suma utilidad, la representa la técnica de **Diagrama de Gantt**, en el cual el trabajo que se planea y el que se ejecuta se muestran conjuntamente. Para elaborar un Diagrama de Gantt se requiere conocer previamente las fases o actividades del trabajo, los tiempos que se invierten en realizarlas, las relaciones de precedencias, etc. En la tabla 5.7 se muestra un ejemplo del Diagrama de Gantt

El uso del Diagrama de Gantt permite las siguientes ventajas: Permite el fácil entendimiento de las actividades planificadas debido a que son fáciles de construir y es muy útil como instrumento de planificación y control.

EQUIPO: Troquel/Prensa		CODIGO: TRP0016									
TRABAJO: Revisión troquel para bandejas		Tiempo en horas									
Nº	ACTIVIDAD	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Desmontar troquel▶									
2	Preparar material▶									
3	Rev. y preparación troquel			=====▶							
4	Inspección trabajo							====▶			
5	Preparación Prensa▶		=====▶							
6	Ajuste, calibración y prueba									=====▶	
OBSERVACIONES		LEYENDAS									
	▶ Duración de un trabajo completado									
		=====▶ Duración de una actividad crítica									
		=====▶ Duración de un trabajo sin actividad sucesiva									
		====▶ Duración de un trabajo normal									

Tabla 5.7

2) **Tableros de carga y Cronogramas:** Toda vez que se conozcan los trabajos que se deben realizar a los equipos, además se tengan la disponibilidad de los procedimientos y rutinas de mantenimiento y por último la frecuencia de ejecución, se elaboran los tableros de carga y los cronogramas anuales, semestrales o trimestrales. Estos tableros y cronogramas se realizan con el apoyo técnico del personal especializado en estas labores (técnicos e ingenieros de mantenimiento). En las tablas 5.8 y 5.9 se muestran un ejemplo de cómo serían estas tablas y cronogramas.

TABLERO DE CARGA

Año: 2002	Nº de Semana																		
Código Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A01	A 2	B 4	C 3																
A02		A 2	B 1	D 4															
A03				C 10	D 5	D 5	F 20												
B08						A 5	B 6	F 10											
"																			
"																			
"																			
TOTAL	2	6	4	14	5	10	26												

Tabla 5.8

En el tablero de carga se indican con letras (A,B,C,.....) los grupos de trabajo y en números (2,5,10,20,....) las horas hombre semanas requeridas para realizar un trabajo específico de mantenimiento preventivo sobre un equipo determinado. Al completar el tablero de carga, se totalizan las horas hombre y se ajusta el cuadro, variando alguna frecuencia de ser necesario hasta que las necesidades coincidan con los recursos que se disponen.

En los cronogramas se indican todos los equipos objetos de la planificación y programación del mantenimiento preventivo y la cantidad de tiempo al cual debe estar sometido a labores de mantenimiento, además de la frecuencia con la cual se realizará dicho mantenimiento, indicando si es posible las semanas que le corresponde realizar la lubricación. Ver tabla 5.9

CRONOGRAMA

Año: 2002	Nº de Semana																		
Código Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A01		M L	M L						L	L						M	M	M	
A02					M	M	M L	M L											
A03									M	M	M	M						L	L
B08													M	M L					
"																			
"																			
"																			
"																			

M = Mantenimiento
L = Lubricación

Tabla 5.9

Es necesario que a la hora de planificar y programar el mantenimiento tengamos en cuenta los siguientes aspectos:

- Cantidad de personal disponible
- Coordinar vacaciones del personal.
- Ausencia y entrenamiento del personal.
- Trabajos de correctivo y servicio diversos.
- Tiempos promedios de procura de material.
- Disponibilidad de herramientas y equipos especiales para realizar el mantenimiento.
- Contratación del mantenimiento externo en el caso de ser necesario.

Aun sabiendo que la programación anual o semestral es de suma importancia, en algunos casos se requiere de programación semanal y diaria, es decir considerar trabajos de preventivo provenientes de inspecciones y limpieza de los equipos, actividades no realizables por imprevistos, actividades que no se pueden realizar simultáneamente, etc. Con este propósito el área técnica deberá revisar sus necesidades de trabajo para cada semana y para cada día, haciendo los ajustes necesarios. A este fin es conveniente organizar pequeños grupos de trabajo que se reúnen periódicamente, incluyendo en estos grupos miembros del departamento de mantenimiento y producción a fin de conciliar las necesidades de cada una de las áreas de mantenimiento con las áreas operativas. De estas reuniones deben salir los programas semanales con al menos una semana de anticipación de los mismos. En la programación diaria se incluyen los trabajos previstos para cada día, tomando en consideración los materiales, herramientas, repuestos y procedimientos para realizar el mantenimiento. El objetivo es que el personal tenga todo preparado para realizar el trabajo sin necesidad de perder tiempo.

Concluyendo con este capítulo, en la figura 5.4 se ofrece un diagrama en el cual se indican los pasos que comprende una buena planificación del mantenimiento preventivo.

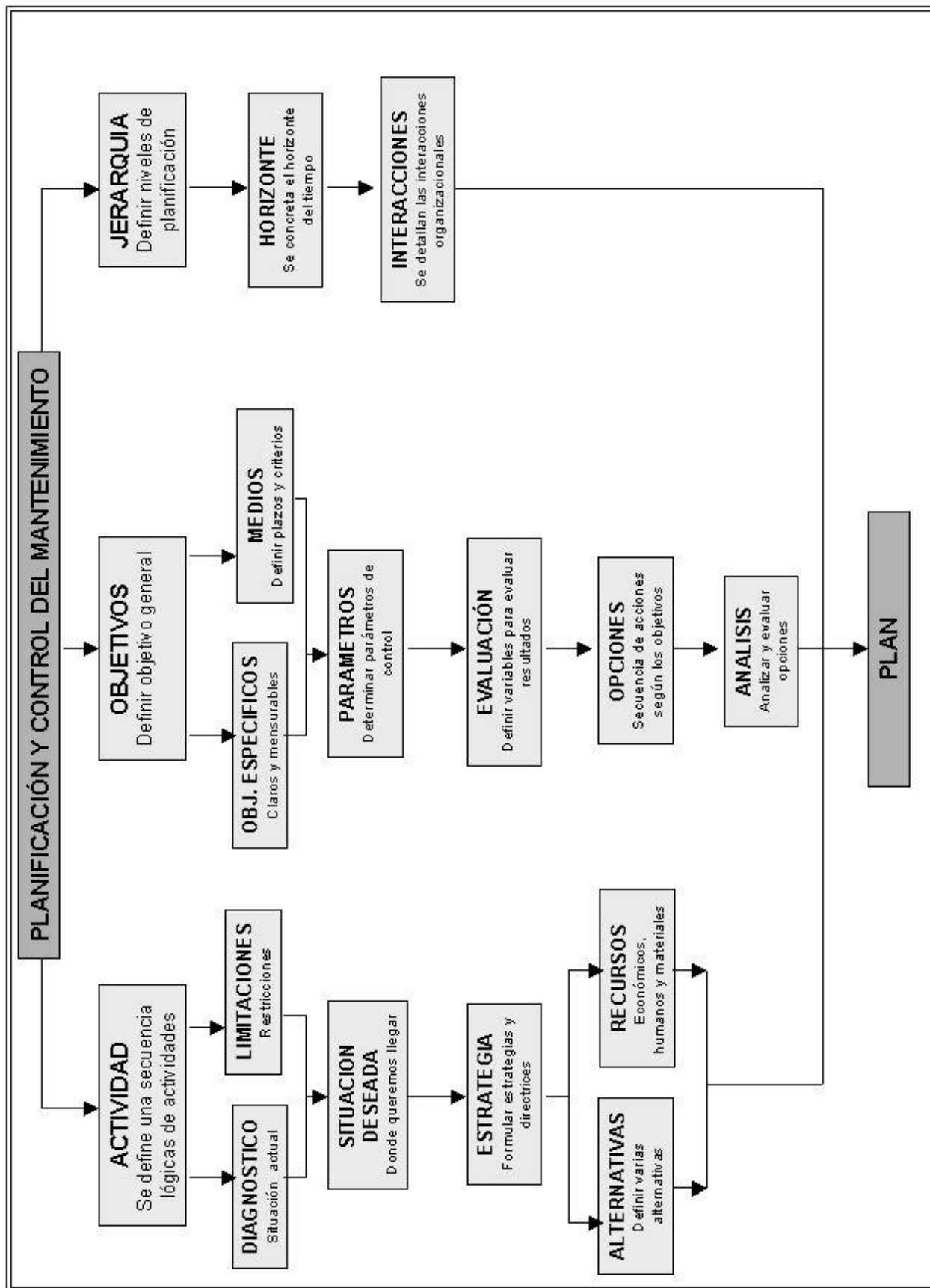


Figura 5.4

CAPITULO 6

CONTROL DEL MANTENIMIENTO EVALUACIÓN E ÍNDICES DE CONTROL

Algunos autores definen los índices de mantenimiento como los indicadores de evaluación, los cuales con su uso permiten a cualquier organización de mantenimiento tener un señalamiento del comportamiento o la efectividad del sistema.

Hay varios tipos de indicadores, se pueden clasificar en:

1. Factores de efectividad del sistema.
2. Factores de costo.

Factor de efectividad del sistema:

Se define como la probabilidad de que el sistema opere a su capacidad instalada durante un periodo calendario dado, además sobre este factor influyen siete índices y se utilizan con la siguiente finalidad:

a) Control de Trabajo:

Los índices de control de trabajo permiten:

- Colocar el personal de trabajo en el sitio del mismo, en el momento oportuno y con herramientas, equipos y material correspondiente a la mano.
- Controlar el trabajo de mantenimiento desde su origen.
- Lograr el mejor equilibrio a largo plazo entre la carga de trabajo y los recursos disponibles.
- Hacer que el trabajo se realice de forma ordenada.

Entre otros índices para control de trabajo podemos citar los siguientes:

O.T. = Ordenes de Trabajo

H.H. = Horas-Hombres

$$CT1 = \frac{\text{Total O.T. recibidas}}{\text{Nº de días en el periodo}}$$

$$CT2 = \frac{\text{Total de O.T. completadas}}{\text{Total de O.T. recibidas}}$$

$$CT3 = \frac{\text{Total O.T. Planificadas}}{\text{Total O.T. recibidas}}$$

$$CT4 = \frac{\text{Total de O.T. Planificadas Completadas}}{\text{Total O.T. Completadas}}$$

$$CT5 = \frac{\text{Total de O.T. Pendientes}}{CT1}$$

$$CT5 = \frac{\text{Total de O.T. Programadas Completadas}}{\text{Total de O.T. Completadas}}$$

$$CT7 = \frac{\text{Total H.H. en la O.T. Planificadas}}{\text{Total de H.H. en el Período}}$$

$$CT8 = \frac{\text{Total de H.H. en las O.T. Programadas}}{\text{Total de H.H. en el Período}}$$

$$CT9 = \frac{\text{Total de H.H. Sobretiempo}}{\text{Total de H.H. de NTiempo Normal}}$$

b) Apoyo Logístico:

Es el factor que define la función del proveedor a la organización de mantenimiento de los materiales y/o repuestos requeridos al costo más bajo. Permite el equilibrio entre los costos e almacenaje y los costos de penalización al faltar las provisiones). Entre estos índices podemos citar los siguientes:

$$AL1 = \frac{\text{Total Requisiciones Procesadas}}{\text{Nº de días en el periodo}}$$

$$AL2 = \frac{\text{Total de Requisiciones Agotadas}}{\text{Total de requisiciones procesadas}}$$

$$AL3 = \frac{\text{Nº de Renglones sin Inventario}}{\text{Nº Total de renglones}}$$

$$AL4 = \frac{\text{Total de Requisiciones con Sustituto}}{\text{Nº Total de Requisiciones Procesadas}}$$

$$AL5 = \frac{\text{Nº de renglones con Movimiento}}{\text{Nº total de renglones}}$$

$$AL6 = \frac{\text{Valor en Inventario y Pedidos de esos Renglones}}{\text{Nº total de Renglones}}$$

$$AL7 = \frac{\text{Valor del Inventario y pedido de esos Renglones}}{\text{Valor total deL inventario}}$$

$$AL8 = \frac{\text{Valor Entrega}}{\text{Valor inventario}}$$

$$AL9 = \frac{\text{Valor Compras}}{\text{Valor Entregas}}$$

c) El Apoyo Técnico:

Es el factor que mide la capacidad (Infraestructura) que posee cualquier organización de mantenimiento para preparar desde el inicio las especificaciones técnicas (planos, gráficos, medidas, entre otros) de los trabajos requeridos, agregando al material que se requiere tener en reserva, debe estar preparado para analizar el comportamiento de los bienes (historial de fallas), lo cual le permite minimizar los costos totales del ciclo de costos de variedad de equipos.

Se sugieren una serie de preguntas sobre el apoyo técnico, las cuales pueden tratar de satisfacer las necesidades que se presentan. Entre otras preguntas pudiesen estas las siguientes:

- ¿Esta concebida y fundamentada la función de Ingeniería de Planta?
- ¿Cómo coordinar la solución de los problemas entre la división técnica y la de ejecución del mantenimiento?
- ¿Los equipos son parados innecesariamente?
- ¿Existen programas formales para mejorar la confiabilidad y la mantenibilidad?
- ¿Son efectivos los programas de Lubricación, control de Corrosión e Inspección de equipos?
- ¿Hay rutinas y procedimientos para realizar el mantenimiento?
- ¿Están definidos programas de MPT o MCC? (**Ver Capítulos 8 y 9**)

Estas interrogantes son los índices que me indicaran la capacidad técnica que tiene la organización de mantenimiento para poder desarrollar un mantenimiento efectivo en la empresa.

d) Uso de Contratistas:

Dentro de la empresa, alguna vez se tendrá la necesidad de utilizar los servicios de empresas Contratistas (Outsorsing), con el objeto de aumentar la efectividad de la organización de mantenimiento, cubrir los picos de trabajo, trabajos muy especializados, trabajos que requieren de herramientas especiales que no posee la empresa y de costo muy alto, ayudan a obtener una mayor rentabilidad. A continuación se señalan algunos índices de actuación recomendados para evaluar o determinar el comportamiento del contratista ante la organización de mantenimiento:

$$UC1 = \frac{\text{Trabajos contratados actualmente activos}}{\text{Promedio histórico trab. activos contratados}}$$

$$UC = \frac{\text{Costo contratos actualmente activos}}{\text{Promedio histórico trab. contratos activos}}$$

$$UC3 = \frac{\text{Total personal promedio por día del contratista}}{\text{Total personas de mantenimiento de la empresa}}$$

$$UC4 = \frac{\text{Valor total contratos atrasados}}{\text{Nº Promedio de contratos activos}}$$

$$UC5 = \frac{\text{Costo total del contrato}}{\text{Costo total de realizar el Trabajo por Mtto.}}$$

e) Sistema de apoyo administrativo:

El apoyo administrativo se debe realizar para medir cuatro variables claves controlables:

1. Equipos que fallan:
 - ✓ Causa.
 - ✓ Costos de mantenimiento y penalización
2. Personal necesario para mantener el equipo.
3. Materiales.
4. Costos:
 - ✓ De material
 - ✓ De personal.

f) Políticas de Administración:

Son las políticas generales de mantenimiento, siendo el factor más importante para establecer la efectividad del mantenimiento; pero su uso puede presentar políticas conflictivas como por ejemplo maximizar el factor de servicio del equipo y al mismo tiempo minimizar el personal directo o el uso de contratista

g) Organización de Mantenimiento:

Este factor define a la organización de mantenimiento en lo que a sus niveles jerárquicos se refiere, establece autoridad y cadena de mando, diseña organigramas y describe los cargos de cada nivel, además debe analizar objetivos estratégicos, establecer disponibilidad de los recursos humanos, material y financieros. A continuación se presentan en la tabla 11.1, varios de estos indicadores que miden el grado de fragmentación y el número de niveles óptimos en una organización de mantenimiento y los indicadores que miden la calidad de servicio que tiene la misma:

EO = Mide el tipo de organización	ES = Mide cantidad de servicio
$EO1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ personal Mtto.}}{\text{N}^\circ \text{ personal total}}$	$ES1 = \frac{\text{Total horas operando}}{\text{Producción Total}}$
$EO2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de Supervisores Mtto.}}{\text{N}^\circ \text{ de personal Mtto.}}$	$ES2 = \frac{\text{Total Horas Fuera de Servicio}}{\text{Total de Corridas}}$
$EO3 = \frac{\text{N}^\circ \text{ personas Planif. y Programación}}{\text{N}^\circ \text{ personal de Mtto.}}$	$ES3 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de Fallas}}{\text{N}^\circ \text{ Promedio entre Fallas}}$
$EO4 = \frac{\text{N}^\circ \text{ personal Ing. Planta}}{\text{N}^\circ \text{ personal de Mtto.}}$	$ES4 = \frac{\text{Total horas inoperables}}{\text{N}^\circ \text{ de acciones de Mtto.}}$
$EO5 = \frac{\text{Costo pago de Entrenamiento}}{\text{Costo Nomina Personal Mtto.}}$	$ES5 = \frac{\text{Paradas No programadas}}{\text{Paradas Programadas}}$
$EO6 = \frac{\text{N}^\circ \text{ personal de Mtto.}}{\text{Producción Total}}$	$ES6 = \frac{\text{H.H. Mtto. Correctivo}}{\text{Total de H.H. Mtto. Equipo}}$
	$ES7 = \frac{\text{H.H en Inspecciones}}{\text{Total de H.H. Mtto. de Equipo}}$
	$ES8 = \frac{\text{N}^\circ \text{ trab. Prev entiv dRealizados}}{\text{N}^\circ \text{ de Trab. Prev entiv dProgramado}}$
	$ES9 = \frac{\text{Promedio de perdida aplazada por paradas}}{\text{Producción Programada}}$

Tabla 11.1

h) Factor de Costos:

La tendencia de los pasos que se recomiendan para iniciar un plan de mantenimiento óptimo es el de evaluar los costos involucrados en la actividad de mantenimiento buscando una reducción de los mismos, un conocimiento de los resultados obtenido, facilita la toma de decisiones efectivas, mejora el mantenimiento y alcanza los objetivos previstos a un bajo costo. Teniendo en cuenta que aproximadamente el mantenimiento contribuye con un 30 por ciento de los costos totales de producción.

Los índices que se mencionan a continuación pueden servirnos como referencia para medir la efectividad de los costos de mantenimiento:

$$IC1 = \frac{\text{Costo total de Mtto.}}{\text{Total costos básicos de planta}}$$

$$IC2 = \frac{\text{Costo total de Mtto.}}{\text{Costos Totales}}$$

$$IC3 = \frac{\text{Costo total de Mtto.}}{\text{Total de Unidades de Producción}}$$

$$IC4 = \frac{\text{Costo Producción pérdidas aplazadas}}{\text{Costos Totales}}$$

$$IC5 = \frac{\text{Costo Producción pérdidas o aplazadas}}{\text{Costo Total Mantenimiento}}$$

$$IC6 = \frac{\text{Costo de regalar Calidad}}{\text{Costos Totales}}$$

$$IC7 = \frac{\text{Costo Trab. de Inspección}}{\text{Costo total de Mtto.}}$$

$$IC8 = \frac{\text{Costo Mtto. Preventivo}}{\text{Costo Total Mtto.}}$$

$$IC9 = \frac{\text{Costo Mtto. Correctivo}}{\text{Costo Mtto. Total}}$$

$$IC10 = \frac{\text{Costo trabajo de Inspección}}{\text{Costo Trabajo Mtto. Correctivo}}$$

$$IC11 = \frac{\text{Costo Trabajo de Mtto. Preventivo}}{\text{Nº trabajos de Mtto. Preventivo}}$$

Otros Índices importantes utilizados para la evaluación del Mantenimiento:

Además de los índices mencionados anteriormente, que junto a la disponibilidad y la mantenibilidad descritas en el Capítulo 5, se consideran de mucha importancia los siguientes factores:

1. Ciclo de Mantenimiento (cim)

$$CIM = 1 - \frac{CM(t) + MP(t) + OH(t)}{t}$$

Donde: **t** es el N° de horas entre los arranques de dos reparaciones completas (Overhaul)

MC(t) es el tiempo fuera de servicio por mantenimiento correctivo en el tiempo **t**.

MP(t) Es el tiempo fuera de servicio por mantenimiento preventivo en el tiempo **t**.

OH(t) son las horas fuera de servicio por reparaciones generales al final del tiempo **t**.

2. Índice de Reparación (IR):

$$IR = 1 - \frac{MC(t_1)}{t_1 + MC(t_1)}$$

Donde: **t₁** = 8760 – TMP – TMC

MC(t₁) es el tiempo fuera de servicio por mantenimiento correctivo como soporte de t₁ horas de operación
TMP es el tiempo promedio en mantenimiento preventivo
TMC es el tiempo promedio en mantenimiento correctivo.

3. Índice de Reparación de Overhaul (IRO):

$$IRO = 1 - \frac{MOH(t)}{t}$$

Donde: **t** = tiempo de ciclo entre overhaul
MOH(t) es el tiempo promedio utilizado en un overhaul dentro del ciclo.

4. Índice de Cantidad de Paradas (CP):

$$CP = \frac{t}{TMEF}$$

Donde: **CP** Cantidad de paradas en un tiempo t
TMEF es el tiempo promedio entre falla.

En el gráfico 11.1 se muestra **TMEF/t** versus el valor de **CP** para varios valores de Disponibilidad

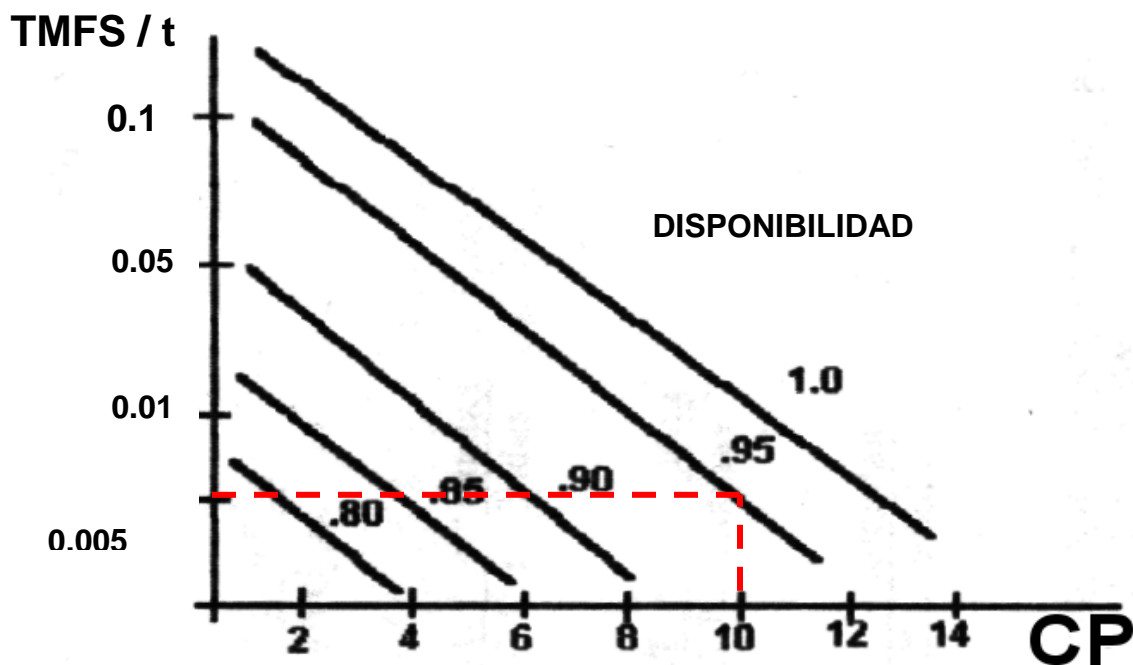


Figura 11.1

Para conocer él usa la gráfica, se pone el siguiente ejemplo:

Si se desea obtener una disponibilidad de 0.95 en un equipo sobre un periodo de 9 meses, donde no se va a realizar ninguna reparación general (overhaul), siendo el tiempo promedio entre falla actual de 660 horas.

La cantidad de parada en el tiempo t ,

$$\mathbf{CP} = (9 \text{ meses} \times 30 \text{ días} \times 24 \text{ horas}) / 660 \text{ horas} = 10,$$

En el gráfico 11.1, se determina para una disponibilidad de 0.95 y $\mathbf{CP} = 10$

El $\mathbf{TMFS} / t = 0.0051$

Siendo el tiempo medio fuera de servicio:

$$\mathbf{TMFS} = 0.0051 \times 9 \text{ meses} \times 30 \text{ días} \times 24 \text{ horas} = 33.5 \text{ horas}$$

CAPITULO 7

MANUAL DE MANTENIMIENTO

Se entiende por manual, todo cuerpo sistemático que indique las actividades a ser realizadas por los miembros de la organización y la forma que las mismas deberán ser realizadas ya sea conjunta o separadamente. El propósito fundamental de los manuales es de instruir a los miembros de la organización acerca de aspectos tales como funciones, normas y procedimientos, políticas, objetivos, manejo y operaciones, ya sea de manera manual o por sistemas informáticos.

El manual de mantenimiento proporciona una base estándar para el adiestramiento del personal nuevo y del ya existente. En el manual se describen las normas, organización y procedimientos que se utilizan en una empresa para ejecutar la función de mantenimiento, incluyendo en los procedimientos los métodos normalizados para el mantenimiento de las instalaciones físicas.

Ventajas y limitaciones de la utilización del Manual de Mantenimiento:

1. Ventajas directas:

- a) Es una fuente de información sobre las prácticas generales y sectoriales del departamento de mantenimiento.
- b) Se ahorra tiempo con la comunicación escrita y elimina duplicidad de esfuerzos.
- c) Ayuda a institucionalizar y hacer efectivos los procedimientos.
- d) Posibilitan la normalización de actividades.
- e) Eliminan la interferencia de responsabilidades y elimina las discusiones y mal entendidos.
- f) Asegura continuidad y coherencia en la práctica y normas a través del tiempo.
- g) Es una herramienta útil en el entrenamiento y capacitación de nuevos y regulares empleados y reduce costos de entrenamiento y re-entrenamiento.
- h) Aumenta la eficiencia en la realización de las actividades.
- i) Son una guía efectiva y un valioso elemento de consulta.
- j) Incentivan la moral del empleado, ya que al ubicar su actividad dentro del procedimiento, le permite ver como contribuye a la obtención del resultado final.
- k) Posibilita una delegación efectiva de actividades por parte del personal supervisorio.
- l) Sirve como guía para aquellos que se le han delegado responsabilidades.

- m) Son elementos importantes de revisión y evaluación objetiva de los departamentos de mantenimiento.
- n) Al estar claramente establecidos por escrito lo que hay que hacer, hay una mayor disposición por parte del personal a asumir responsabilidades.
- o) Son un freno importante para la improvisación.
- p) Satisfacer la necesidad de mantenimiento con costos decrecientes.

2. **Ventajas indirectas:**

- a) Incrementa el prestigio del mantenimiento.
- b) Facilita las bases para la evaluación del mantenimiento.
- c) Proporciona una base para el mejor entendimiento entre el personal de mantenimiento y el resto de las personas dentro de la empresa.

3. **Limitaciones:**

- a) Constituye una herramienta, pero no la solución para todos los problemas de mantenimiento que se puedan presentar.
- b) Su mala o poca preparación trae inconvenientes en el normal desenvolvimiento de las operaciones.
- c) El costo de confección y revisión puede ser alto.
- d) Si no se actualiza permanentemente pierde vigencia con rapidez.
- e) Quitar discrecionalidad al personal, convirtiendo muchas veces en un freno para la iniciativa individual.
- f) Una mala y deficiente redacción puede hacer engorroso su uso.

Procedimientos, Normas y Políticas.

Aún cuando procedimiento signifique acción, modo de obrar, en nuestras organizaciones esa expresión corresponde a la traducción que la mayoría le ha dado al término “**Policies and Procedures**” usado por empresas internacionales. Por lo tanto, denominaremos **Procedimientos** en este capítulo al “ **conjunto de normas aplicables y el método utilizado en el desarrollo de una actividad específica**”.

Otros términos importantes de aclarar es la diferencia entre Normas y Políticas. La primera se refiere a las reglas y la segunda a la doctrina, de esta forma se puede afirmar: a) Todo procedimiento debe tener normas, de no tenerla no es procedimiento es una política y b) Ninguna política describe métodos, de hacerlo deja de ser política para convertirse en un procedimiento.

Puntos básicos que debe contener un Manual de Mantenimiento:

1. Título apropiado
2. Introducción: Se explica el porque se ha escrito el manual y el provecho que se obtendrá de él.
3. Índice de materia.
4. Normas para el uso del manual.
5. Lista de revisiones del manual.
6. Lista de distribución del manual.
7. Objetivos para mejoras continuas, presentando de una forma sistemática lo referente a:

- a) Las instalaciones físicas y sus sistemas.
 - b) Personal de mantenimiento.
 - c) Los costos de mantenimiento
8. Alcance de la función de mantenimiento
9. Responsabilidades y organización: Define cual es el departamento y las personas responsables del mantenimiento, incluyendo una carta de autorización de la máxima jerarquía de la empresa.
10. Conceptos referente a la gestión de mantenimiento, teniendo en cuenta los puntos siguientes
- a) Inventario de los equipos que conforman la planta
 - b) Planificación de mantenimiento
 - Programas de inspección
 - Acciones de mantenimiento correctivo
 - Programa de mantenimiento preventivo
 - Rutinas de mantenimiento (limpieza y lubricación)
11. Procedimientos para la realización del mantenimiento de cada uno de los equipos. Estos procedimientos deben contener la siguiente información, bien sean procedimientos para rutinas, correctivo o preventivo.
- a) Nombre del procedimiento
 - b) Fecha de elaboración
 - c) Número correlativo del procedimiento
 - d) Número de revisión
 - e) Número de pagina.
 - f) Contenido
 - Objetivo.
 - Alcance.
 - Conceptos y definiciones.
 - Herramientas y equipos a usar.
 - Descripción del procedimiento
 - Resultados
 - g) Elaborado por:
 - h) Aprobado por:
12. Procedimientos para la utilización de formatos
- a) Formatos de inventario
 - b) Formatos de procedimientos
 - c) Formatos de ordenes de trabajo.
 - d) Formatos de control de costos.
 - e) Formatos para evaluación y resultados
13. Procedimientos para medir resultados (control de mantenimiento)
14. Conclusiones y recomendaciones
15. Anexos.

En las paginas siguientes se dan ejemplos de formatos de procedimiento y de rutinas de inspección, aspectos estos, tratados anteriormente en los puntos 10 y 11

EMPRESAS UNIDAS C. A.		NORMAS Y PROCEDIMIENTOS			
NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO Mantenimiento eléctrico preventivo de motores eléctricos			REFERENCIA PME 003		
FECHA DE EMISIÓN 27-06-2002	VIGENCIA	REEMPLAZA A:	Nº DE PAGINA 1 DE 2		
<p><u>OBJETIVO:</u> El presente procedimiento tiene por objeto servir de guía al electricista para realizar el mantenimiento preventivo de motores eléctricos, mediante el uso de herramientas y equipos necesarios para ello.</p> <p><u>ALCANCE:</u> Este procedimiento abarca los siguientes motores eléctricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motores monofásicos de 48 a 120 Voltios • Motores bifásicos de 120 a 240 Voltios • Motores trifásicos de 240 a 440 Voltios <p>NOTA: Este procedimiento no incluye los reductores ni las poleas.</p> <p><u>CONCEPTOS Y DEFINICIONES:</u></p> <p><u>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS:</u></p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> • Multímetro. • Llaves de boca desde ¼" hasta 1 ¼" • Destornilladores de estría y pala. • Banco de trabajo. • Prensa de banco. • Alicata de presión • Trapos. • Solvente de limpieza. • Manual y catálogo del fabricante </td> <td style="vertical-align: top; padding-left: 20px;"> <ul style="list-style-type: none"> Torquímetro Carretilla Montacargas Polipasto de 1 Ton. </td> </tr> </table> <p><u>DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Desconecte la energía en el tablero principal. 2- Desconecte los cables de alimentación al motor, utilizando la herramienta adecuada y conservando sus identificaciones y polaridades. 3- Desmontar el motor de su base desenroscando los tornillos de sujeción con la llave adecuada y desmontar el acople o la polea de transmisión. 				<ul style="list-style-type: none"> • Multímetro. • Llaves de boca desde ¼" hasta 1 ¼" • Destornilladores de estría y pala. • Banco de trabajo. • Prensa de banco. • Alicata de presión • Trapos. • Solvente de limpieza. • Manual y catálogo del fabricante 	<ul style="list-style-type: none"> Torquímetro Carretilla Montacargas Polipasto de 1 Ton.
<ul style="list-style-type: none"> • Multímetro. • Llaves de boca desde ¼" hasta 1 ¼" • Destornilladores de estría y pala. • Banco de trabajo. • Prensa de banco. • Alicata de presión • Trapos. • Solvente de limpieza. • Manual y catálogo del fabricante 	<ul style="list-style-type: none"> Torquímetro Carretilla Montacargas Polipasto de 1 Ton. 				
EMITIDO POR:	APROBADO POR:	REVISIÓN			
FIRMA:	FIRMA:	Nº			
CARGO:	CARGO:	FECHA:			

EMPRESAS UNIDAS C.A.		NORMAS Y PROCEDIMIENTOS	
NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO Mantenimiento eléctrico preventivo de motores eléctricos			REFERENCIA PME 003
FECHA DE EMISIÓN 27-06-2002	VIGENCIA	REEMPLAZA A:	Nº DE PAGINA 2 DE 2
<u>DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO: (Continuación)</u>			
<p>4- Llevar el motor al banco de trabajo haciendo uso del montacarga manual o de una carretilla</p> <p>5- Marcar con una pequeña raya ambas tapas del motor y la carcasa y se procede a sacar los tornillos que las sujetan, usando la llave de boca correspondiente</p> <p>6- Revisar las tapas para ver si se encuentran agrietadas, las bases dañadas o en buen estado.</p> <p>7- Sacar el inducido, se verifica si los rodamientos se encuentran bien (Calculando el Nº de horas de vida útil que le queda desde la última revisión), cambiarlo si es necesario. Anotar el Nº de parte del rodamiento y sus características.</p> <p>8- Revisar el bobinado, el aislamiento y carcasa del motor.</p> <p>9- Verificar si la resistencia del aislamiento está dentro de las especificaciones del fabricante. (Si el motor es de 220 V – 30 A / 440 V – 30 A, tiene que tener 2 MΩ con un voltaje de prueba de 500 V DC</p> <p>10-Si el motor se encuentra en perfecto estado, se arma con sus respectivas tapas, inducido, conexiones y sus tornillos.</p> <p>11-Al colocar las tapas de tiene que verificar la coincidencia de las marcas realizadas en el paso Nº 5. Apretar los tornillos con el torque especificado por el fabricante</p> <p>12-Llevar el motor al sitio de trabajo instalarlo en su base con sus tornillos respetando el torque de estos (30 a 40 Lb-Pie) y colocar el acople y/o la polea de transmisión.</p> <p>13-Colocar de nuevo los cables de alimentación según las marcas realizadas en el paso Nº 2 y su polaridad.</p> <p>14- Conectar la energía eléctrica en el tablero principal.</p> <p>NOTA: La frecuencia de mantenimiento se especifica en el plan de mantenimiento colocado en la pared de la oficina de mantenimiento y coincide con el mantenimiento mecánico del mismo.</p>			
EMITIDO POR:	APROBADO POR:	REVISIÓN	
FIRMA:	FIRMA:	Nº	
CARGO:	CARGO:	FECHA:	

CAPITULO 8

MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

Se define el **Mantenimiento Productivo Total (MPT)** como el perfeccionamiento permanente de la Efectividad Total de los equipos con la activa participación de los operarios. También se puede definir como las tareas de grupos pequeños de trabajo enfocados dentro de una empresa, integrados por los operadores de los equipos, dirigidos a si mismo (Autónomos), funcionales, trabajando juntos para mejorar la efectividad total de los equipos y de los procesos dentro del área de trabajo. El MPT se enfoca dentro del concepto del "**CERO**"; Cero Accidentes, Cero Desperdicios, Cero Defectos de Calidad y Cero Desperfectos.

Entre los beneficios que podemos obtener del MPT están:

- 1. Ambiente de trabajo más seguro.**
- 2. Seguridad de trabajo para todos.**
- 3. Calidad mejorada.**
- 4. Aumento de la productividad.**
- 5. Mayor participación en el contenido del trabajo.**
- 6. Mejora las habilidades en el trabajo.**
- 7. Mejora del tiempo funcional normal de los equipos.**
- 8. Aumentar capacidad de producción.**
- 9. Mejora las ganancias y la participación de ellas.**

Estos beneficios requieren de una participación total de la gerencia y de los trabajadores. La participación en el mercado significa empleo y si la gente no tiene empleo, el trabajador pagara por su desempleo y disminuye el estándar de vida.

ELEMENTOS PRINCIPALES DEL MPT:

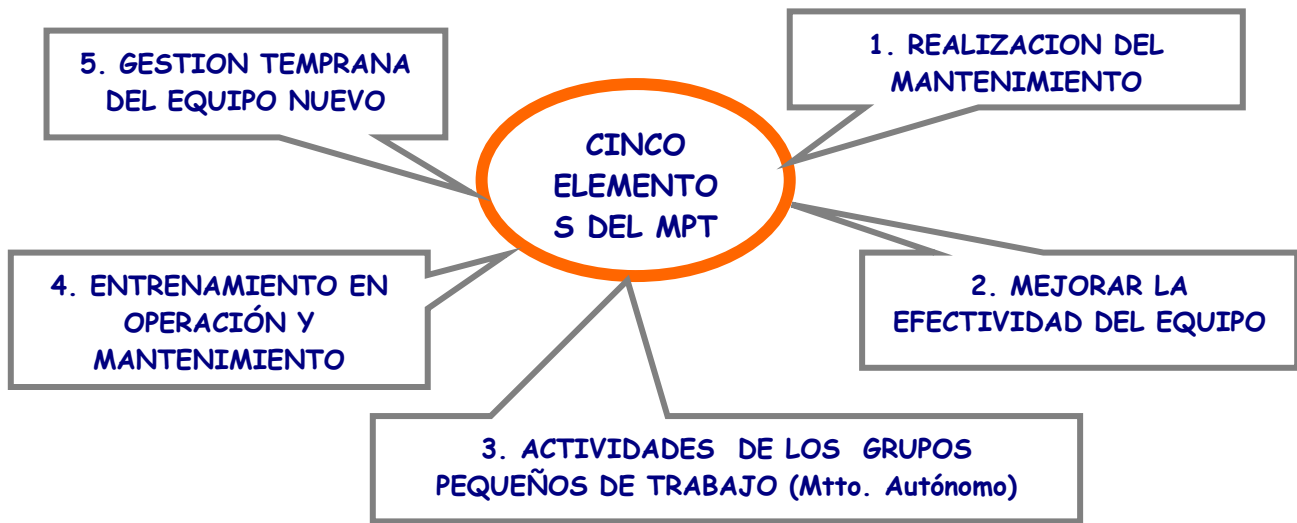


Gráfico 7.1

- 1. REALIZACION DEL MANTENIMIENTO PLANEADO:** El mantenimiento preventivo y predictivo es llevado a cabo por los trabajadores especializados en mantenimiento y este debe ser realizado según lo planificado y en las fechas programadas por el Dpto. de Mantenimiento. Entre otras funciones que tienen estos especialistas están:
 - Cooperar con las actividades de los grupos pequeños de trabajo
 - Actuar como directores técnicos y fijar tareas a los operadores para ampliar la comprensión de los mismos.
 - Actuar como recurso técnico de los ingenieros para mejorar la precisión y conservación de los equipos y otros avances tecnológicos de mantenimiento.
- 2. MEJORAR LA EFECTIVIDAD TOTAL DEL EQUIPO (ETE):** Eliminar los desechos y reducir los costos de operación a través de la participación total del trabajador. La medición de la eficiencia de un equipo es un producto de tres factores:
 - **DISPONIBILIDAD:** Es decir, cuan frecuentemente el equipo funciona cuando se quiere que funcione.
 - **EFICIENCIA DE RENDIMIENTO:** Significa como marcha el equipo con respecto al límite de diseño.
 - **TASA DE CALIDAD:** Es el número de piezas buenas menos el número de piezas defectuosas producidas sin utilizar mano de obra adicional sin valor agregado.
Al mejorar cualquiera de estos tres componentes debería mejorar La Seguridad, Los Periodos de Interrupción y La Calidad
- 3. ACTIVIDADES DE PEQUEÑOS GRUPOS DE TRABAJO:** Los pequeños grupos están formados por los operadores de los equipos y para lograr sus metas se necesita de la participación de cada uno de los miembros. Están enfocados al mantenimiento Autónomo del equipo y entre las actividades que deben realizar están:
 - Medición y eliminación del deterioro forzado.

- Restauración de los equipos a sus niveles ideales de operación.
- Eliminación de los problemas que afecten la productividad.

Los pequeños grupos mantienen los niveles de controles visuales y una aumentada conciencia del proceso.

4. **ENTRENAMIENTO EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO:** El entrenamiento consiste en hacer que cada trabajador sea el mejor posible. Dentro del entrenamiento que cada trabajador debe recibir están:

1 confiabilidad y mantenimiento.
2 Resolución de problemas en equipo.
3 Las actividades de los grupos pequeños
4 Cursos básicos sobre: Lubricación, Hidráulica, Neumática, Electricidad, Electrónica, Térmica y Valvulería
5 Técnicas de inspección visual
6 Técnicas de recolección de datos

Tabla 7.1

También se deben incluir cursos para los trabajadores especializados en: Técnicas de mantenimiento, Análisis de vibraciones, Ultrasonido, Análisis oleoso, Ferrografía, etc.

5. **GESTION TEMPRANA DEL EQUIPO NUEVO:** Es el proceso que minimiza el costo de vida útil del **equipo nuevo**. La confiabilidad y el mantenimiento (C&M) de un equipo nuevo, depende en gran medida del diseño original del mismo. La C&M requiere que se obtengan ciertos datos para calcular los costos del ciclo de vida del equipo y estos deben retroalimentar al proveedor para que mejore los parámetros de diseño del equipo nuevo. Entre los datos que se deben obtener están:
- **TMPR: Tiempo Medio Entre Reparaciones.**
 - **TMEF: Tiempo Medio Entre Fallas.**

ACTIVIDADES DE LOS GRUPOS PEQUEÑOS DE TRABAJO.

Los **Grupos Pequeños de Trabajo** deben realizar siete (7) Actividades básicas las cuales son un método probado para obtener mejores resultados en productividad y calidad y estos resultados positivos inciden sobre la competitividad de los productos con los mejores de su clase.

Las 7 actividades son:

- 1) **LIMPIEZA ES INSPECCION:** ¿Por qué limpiar? Mediante la limpieza podemos descubrir problemas ocultos que podrían ocasionar daños mayores y restaurar el equipo llevándolo rápidamente a su estado ideal. En el proceso de limpieza es inspección podemos identificar rápidamente problemas de: Seguridad, Generales e internos del equipo. “ **El objetivo no es que tengamos máquinas limpias solamente, lo que se desea es que las máquinas estén bien inspeccionadas, es decir, que estén restauradas a su condición ideal** ”.
- 2) **PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA LUBRICACION Y SEGURIDAD:** Todos los procedimientos de limpieza, lubricación y seguridad deben estar documentados.

Estos procedimientos harán que el trabajo del operador (y de su sucesor) sea más fácil.

Los procedimientos de lubricación son importantes porque por medio de la lubricación se elimina lo que se conoce como el deterioro forzado del equipo. (Más del 70% de las fallas mecánicas de los equipos son debido a una mala o falta de lubricación.)

Los procedimientos de seguridad son importantes porque nos indican como operar los equipos sin cometer errores que conlleven a causar daños a personas y a los quipos.

- 3) **ELIMINAR FUENTES DE CONTAMINACION:** Los contaminantes esconden defectos que causan problemas de calidad y de desperfectos, causan potenciales problemas de seguridad y dificultan la limpieza, consumiendo tiempo de parada del equipo. Generalmente las fuentes de contaminación se eliminan con arreglos simples. (Apretar una válvula, reemplazar una manguera o tubería, etc.).

“Si se identifica la fuente de contaminación y se corrige a tiempo, se mejora el ambiente de trabajo”

- 4) **ENTRENAMIENTO EN INSPECCION GENERAL:** Todos los integrantes de los pequeños grupos necesitan un entrenamiento para comprender los componentes fundamentales de su equipo y del proceso productivo, además, saber como detectar el deterioro forzado y los potenciales defectos.
- 5) **PROCEDIMIENTOS DE LAS ACTIVIDADES AUTODIRIGIDAS:** Las actividades de los pequeños grupos deben permitir: a) Encontrar defectos, b) Corregir los defectos y c) obtener rendimiento máximo en los procesos productivos, sin embargo estas actividades deben estar supervisadas por los trabajadores especializados en mantenimiento y **deben estar documentadas en procedimientos para el mantenimiento**, de esta forma los integrantes de los pequeños grupos aprenden los pasos para realizar las actividades de mantenimiento (**Mantenimiento Autónomo**), y tienen el apoyo de los especialistas. **“Cuando se encuentra un problema durante la inspección, los integrantes de los pequeños grupos deben conocer los procedimientos para solucionar el problema y como usarlos”**.
- 6) **CUIDADO Y ORGANIZACIÓN DEL AREA DE TRABAJO:** Se debe mantener cuidada y organizada el área de trabajo, ya que esto permite una mayor seguridad personal, mayor productividad y aumento de la moral. Las piezas extras y los desperdicios ocupan un espacio vital para moverse dentro del área de trabajo, aumentando las actividades de limpieza. Una vez que el área de trabajo se organiza, se puede mantener mejor con un mínimo de esfuerzo. **“Libérese de los desechos y organice todo lo que queda”**.
- 7) **MANEJO DE LA EFECTIVIDAD DEL EQUIPO:** Esto se refiere a como los integrantes de los pequeños grupos pueden ayudar a la obtención de los datos que se requieren para controlar el proceso productivo del equipo y del mantenimiento del mismo. Tenemos la tendencia a olvidar lo malo de ayer e incluso lo de hoy. Pero

tomar los datos reales a través del tiempo muestran las tendencias que se enfocan en los problemas y los resultados.

Al recolectar datos sobre el funcionamiento del equipo, se pueden mantener los registros de las actividades de mantenimiento. Si un mantenimiento se realiza repetidamente, puede indicar una significativa falla del equipo, arrojando información sobre la confiabilidad y el mantenimiento.

Los datos que los pequeños grupos pueden recolectar son aquellos basados para calcular la **Efectividad Total del Equipo (ETE)**, a saber: a) Tiempo de parada, b) Causa de parada, c) Tiempo de armado y ajuste, d) Inactividad y otras pérdidas de tiempo, e) Calidad y otros datos similares.

“Es necesario que el Departamento de Mantenimiento tenga un método definido para la recolección de datos y facilitar esta actividad”.

NATURALEZA DE LAS PERDIDAS EN LA OPERACIÓN DEL EQUIPO:

PERDIDAS GRANDES:

Entre las pérdidas grandes se pueden mencionar las descritas en la tabla 7.2, y estas son las que más importancias tienen a la hora de realizar la gestión del **MPT**.

1) Rotura o falla del equipo	2) Reducción de velocidad
3) Pérdida por ajuste y armado	4) Defectos de calidad y revisión
5) Ociosidad y paros menores	6) Puesta en marcha.

Tabla 7.2

EFFECTIVIDAD TOTAL DEL EQUIPO (ETE): En el MPT se usa el ETE como índice para medir las pérdidas grandes.

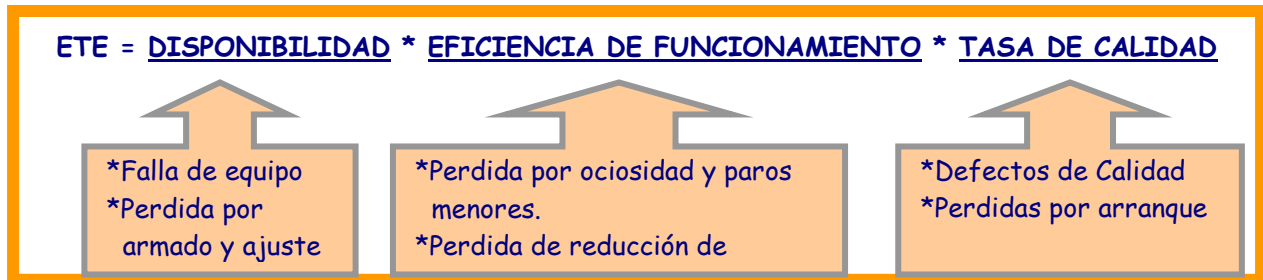


Gráfico 7.2 Factores que intervienen en el cálculo del ETE

DISPONIBILIDAD: Tiempo útil que se espera que funcione el equipo o el tiempo total de trabajo menos el tiempo de paro planeado sin mano de obra, tales como tiempos para comer, descansos, etc. Para el cálculo de la disponibilidad restamos del tiempo total de trabajo, los tiempos por defectos y el tiempo perdido por ajuste y armado.

La disponibilidad es el porcentaje de tiempo en que el equipo o proceso estuvo funcionando mientras la manejaba un operario.

EFICIENCIA DE FUNCIONAMIENTO: Cuan cerca del régimen de cálculo funciona el equipo cuando estaba disponible. Este porcentaje se ve disminuido por las reducciones

de velocidad del proceso y por los tiempos de ocio. Para obtener este valor se hace uso de los estándares de tiempo de Ingeniería Industrial.

TASA DE CALIDAD: Porcentaje de la calidad del proceso. Se puede calcular por el N° de piezas buenas menos el N° de piezas malas entre el N° total de piezas totales por 100.

“El calculo del ETE debe ser consistente y siempre debe ser calculado del mismo modo”

DETERIORO NORMAL Y DETERIORO FORZADO:

DETERIORO NORMAL: Todos los equipos tienen una natural expectativa de vida y eventualmente se van a desgastar. El fabricante y el diseñador pueden estimar cuanto tiempo debe durar el equipo, a esto se llama deterioro normal. Un mantenimiento bien planificado debe extender la vida del equipo mas allá del tiempo especificado por el fabricante.

DETERIORO FORZADO: Cuando no se ponen a funcionar los equipos en las condiciones ideales y el modo como los operamos y mantenemos no es el mejor, podemos causarle deterioro forzado. Por ejemplo: Los contaminantes y la lubricación inadecuada son culpables de la mayoría de los casos de deterioro forzado.

Las Actividades de los Pequeños Grupos (**APG**) van a reducir el deterioro forzado, ellos descubrirán y corregirán los deterioros forzados antes de que ocurra la falla. Esto lo llevan a cabo mediante los siete pasos nombrados anteriormente y eventualmente el deterioro forzado desaparece quedando solamente el deterioro normal el cual se controlará.

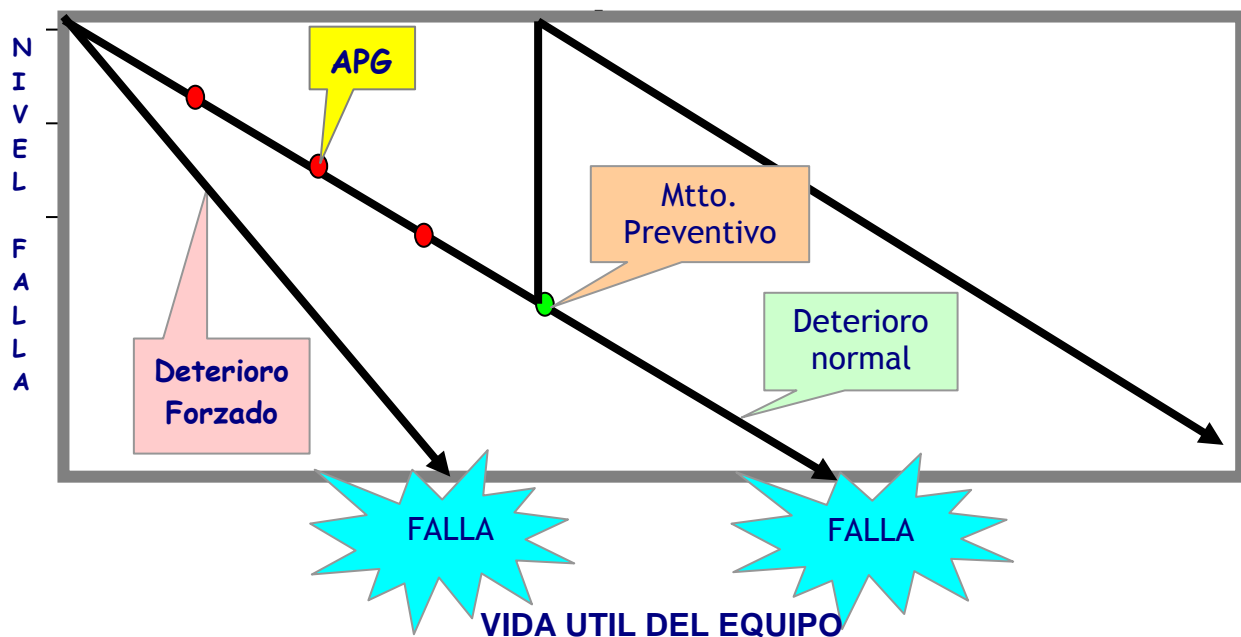


Figura 7.3 Deterioro Forzado y Normal (Fuente: Ford Motors)

El ETE debe ser usado tan a menudo como el pequeño grupo necesite documentar las tendencias y los resultados de sus esfuerzos, manteniendo a la gerencia informada para que apoye sus esfuerzos y a su vez apoyar a las actividades de Confiabilidad y Mantenibilidad (C&M)

El uso del ETE le da a la gerencia una medida valiosa que puede ser usada para seguir el rastro de las mejoras, le proporciona al Dpto. de mantenimiento y a los fabricantes del equipo datos para mejorar el C&M y el diseño de los mismos y por último le da los datos necesarios a los pequeños grupos para enfocares a resolver las verdaderas perdidas.

En la tabla 7.3 se da un ejemplo para el cálculo del ETE

CALCULO DEL E.T.E.			
DISPONIBILIDAD			
A	TIEMPO DISPONIBLE: (Jornada de 8 horas/Día)	480	Minutos
B	TIEMPO DE PARADA PLANIFICADA: Comida = 30 Min. Descanso = 10 Min. Reunión AGP = 10 Min.	50	Minutos
C	TIEMPO NETO DISPONIBLE (A-B)	430	Minutos
D	TIEMPO DE PARADAS NO PLANIFICADAS Tiempo perdido Nº Desperfectos =4 20 Min Nº Ajustes al equipo = 5 20 Min Nº Paradas Menores = 20 20 Min	60	Minutos
E	TIEMPO DE OPERACIÓN (C-D)	370	Minutos
F	DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO (E / C)	0.86	
EFICIENCIA DE DESEMPEÑO:			
G	Nº TOTAL DE PIEZAS PRODUCIDAS (Buenas + Malas)	400	Piezas
H	TIEMPO IDEAL DEL CICLO DE PRODUCCION (Tiempo en producir una pieza)	0.5	Min/Pieza
I	EFICIENCIA DEL PROCESO [(H * G) / E]	0.54	
RAZON DE CALIDAD			
J	Nº TOTAL DE PIEZAS DEFECTUOSAS	20	Piezas
K	RAZON DE CALIDAD [(G - J) / G]	0.95	
EFFECTIVIDAD TOTAL DEL EQUIPO (ETE)			
L	ETE [F * I * K] * 100	44	%

Tabla 7.3

CAPITULO 9

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

Lo que a continuación se presenta en este capítulo es una pequeña reseña de lo que es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, el objetivo que este sistema de mantenimiento pretende y sus características principales, lo cual puede ser ampliada por el lector en textos específicos sobre el tema.

Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (MCC)

Según Aladon Ltd (1991), el mantenimiento centrado en la confiabilidad (**MCC**) es un procedimiento sistemático y estructurado para determinar los requerimientos de mantenimiento de los activos en su contexto de operación, en otras palabras el MCC, consiste, en maximizar la disponibilidad de los activos, a los costos más bajos posibles, a partir de la ejecución de actividades de mantenimiento que permitan que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional específico. Esta metodología fue desarrollada por John Moubray de Aladon Ltd., y no solo cumple con la norma SAE JA 1011, referida a certificación de procesos MCC, sino que es una de las tres referencias de dicha norma. Consiste en analizar las funciones de los activos, ver cuales son sus posibles fallas, luego preguntarse por los modos o causas de fallas, estudiar sus efectos y analizar sus consecuencias.

A partir de la evaluación de las consecuencias es que se determinan las estrategias mas adecuadas al contexto de operación, siendo exigido que no solo sean técnicamente factibles, sino económicamente viables.

Un aspecto favorable de la filosofía del MCC, es que la misma promueve el uso de nuevas tecnologías desarrolladas para el campo de mantenimiento (Ver gráfica 8.1). La aplicación adecuada de estas nuevas técnicas de mantenimiento, bajo el enfoque del MCC, permite de forma conjunta, mejorar los procesos de producción y disminuir al máximo los posibles riesgos sobre la seguridad humana y el ambiente, que traen consigo las fallas de los activos en un contexto operacional específico.

Las **consecuencias** en el MCC son clasificadas en cuatro categorías:

- **Fallas ocultas**
- **Seguridad y medio ambiente**

- Operacionales
- No operacionales

Las **estrategias** que se prevén son:

Mantenimiento Predictivo o Basado en la Condición, consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas según condición. Incluye tanto las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetivas (con los sentidos), como la reparación del defecto (falla potencial)

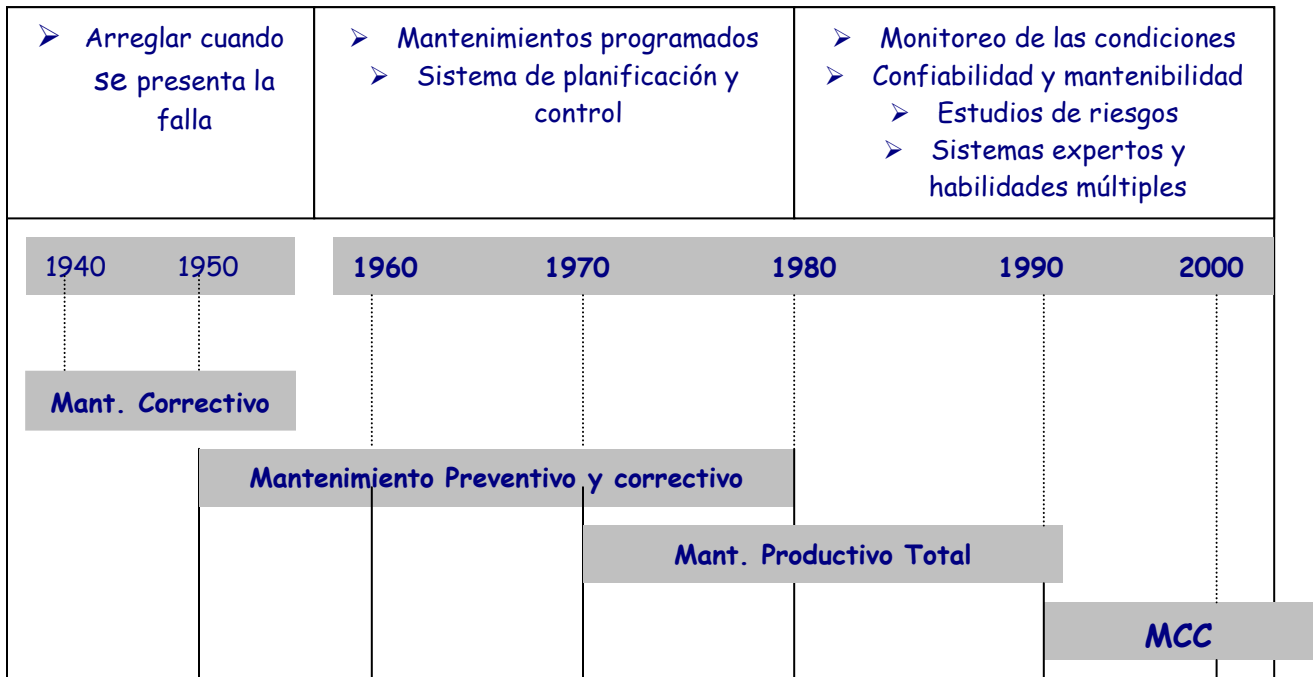


Gráfico 8.1 Cambio en el tiempo de las técnicas de mantenimiento. (Fuente Aladon Ltd,1991)

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

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

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

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

Según B. Snellock el MCC es “El Mantenimiento que debes hacer para que las instalaciones hagan lo que la Empresa desea que hagan”, en otras palabras es la alineación del mantenimiento con la misión de la empresa.

Toda aproximación del MCC se basa en responder de una manera sistemática y estructurada las siguientes preguntas:

- 1 ¿Cuales son las funciones y sus estándares de funcionamiento en cada sistema?
- 2 ¿Respecto a sus funciones como falla cada equipo?
- 3 ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- 4 ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla?
- 5 ¿Cuál es el impacto real de cada falla?
- 6 ¿Cómo se puede prevenir cada falla?
- 7 ¿Qué debe hacerse si no es posible prevenir una falla funcional?

Una vez respondidas dichas preguntas tendremos plenamente establecida unas estrategias de mantenimiento que permitirán tener un mayor enfoque en cumplir las funciones de la empresa, son absolutamente genéricas y permiten ser usadas en cualquier tipo de empresa o proceso.

El trabajo es realizado por equipos de trabajo multifuncionales con participación de operadores, técnicos, ingeniería, seguridad y ambiente, así como especialistas cuando sean requeridos (proceso, instrumentos, HSE, etc.), el grupo está entre 5 y 7 personas máximo, dirigidos por un facilitador quien en realidad es experto en MCC.

Si observamos las preguntas del MCC no parecen tener nada mágico de fondo, son solo sentido común, sin embargo este no es muy usado cuando operamos plantas, el sentimiento de responsabilidad es muy grande como para atreverse a tomar grandes decisiones sin algo que las respalde.

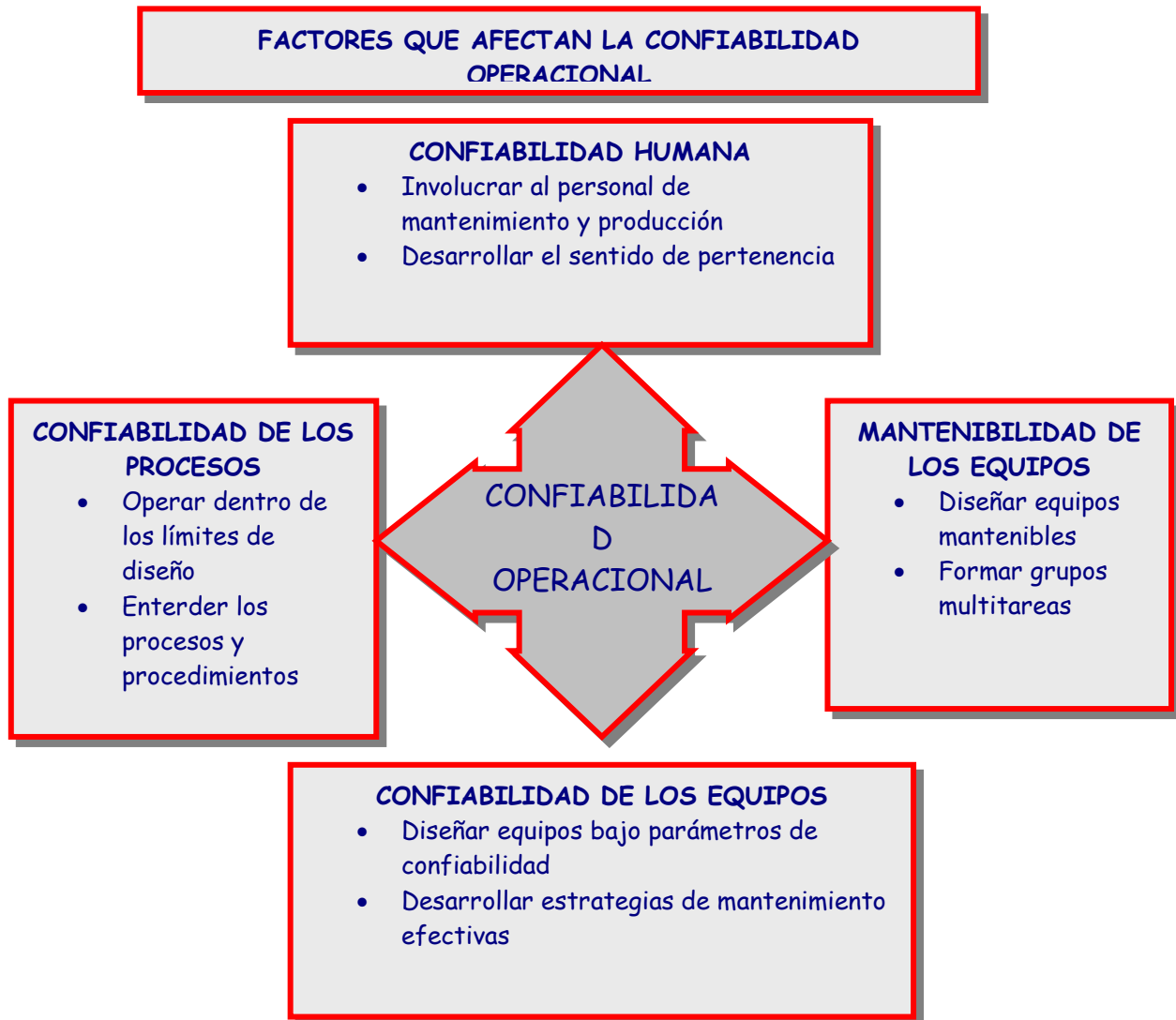
Se ve a menudo en las empresas, como los operadores y mantenedores de una manera muy fluida logran justificar todas sus ideas “lógicas” de como el mantenimiento debería ser realizado. La diferencia es que usando un método lógico, estructurado y sistemático con representantes de los diferentes departamentos de la empresa, el conocimiento se comparte y el plan de mantenimiento saldrá de un consenso de los responsables de la gestión de los equipos.

Según Smith (1992) la **filosofía de la gestión de mantenimiento**, de un equipo multidisciplinario de trabajo, es el encargado de mejorar la **confiabilidad operacional** del sistema que funciona bajo condiciones específicas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la **criticidad de los activos** pertenecientes a dicho sistema, Tomando en cuenta las posibles causas verdaderas que originan las fallas, la seguridad, el ambiente y a las operaciones.

Para el MCC la clave para mejorar cualquier gestión de mantenimiento, esta en lograr la confiabilidad del sistema y desde la óptica del MCC, para lograr esto es necesario que se tomen en cuenta y analicen los cuatro factores que a continuación se presentan (Ver Figura 8.1) y que afectan de manera directa a la Confiabilidad Operacional.

La variación en conjunto o individual que pueda sufrir cada uno de los cuatro factores, afectará el comportamiento global de la confiabilidad operacional de un determinado sistema. El comprender como influye la variación de cada uno de los factores, su consecuencia y como solventar las fallas que puedan ocasionar, es tarea primordial del

grupo multidisciplinario, todos los factores deben considerarse en conjunto y no de forma aislada, lo cual es el error que se comete en la gestión de mantenimiento anticuado.



En general cualquier organización de mantenimiento que justifique la implantación del MCC, deberá superar una serie de problemas, agrupados en tres grandes sectores, según vemos en la figura 8.2

Quizás uno de los aspectos primordiales a la hora de implantar un sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es decidir cuáles son los equipos críticos que me pueden reducir el rendimiento de la producción y por ende ocasionar un paro general o parcial dentro de la empresa. En los momentos actuales debemos echar mano a un estudio lógico que me permita decidir sobre que equipos son críticos, medianamente críticos y no críticos, el análisis de criticidad que se menciona en el **Capítulo 5, página 29**, es una forma fácil de identificar que equipos son críticos o no, tomando en cuenta los siguientes factores: Frecuencia de falla, el impacto Operacional,

la flexibilidad, los costos de mantenimiento y el Impacto de seguridad, Ambiental e higiene

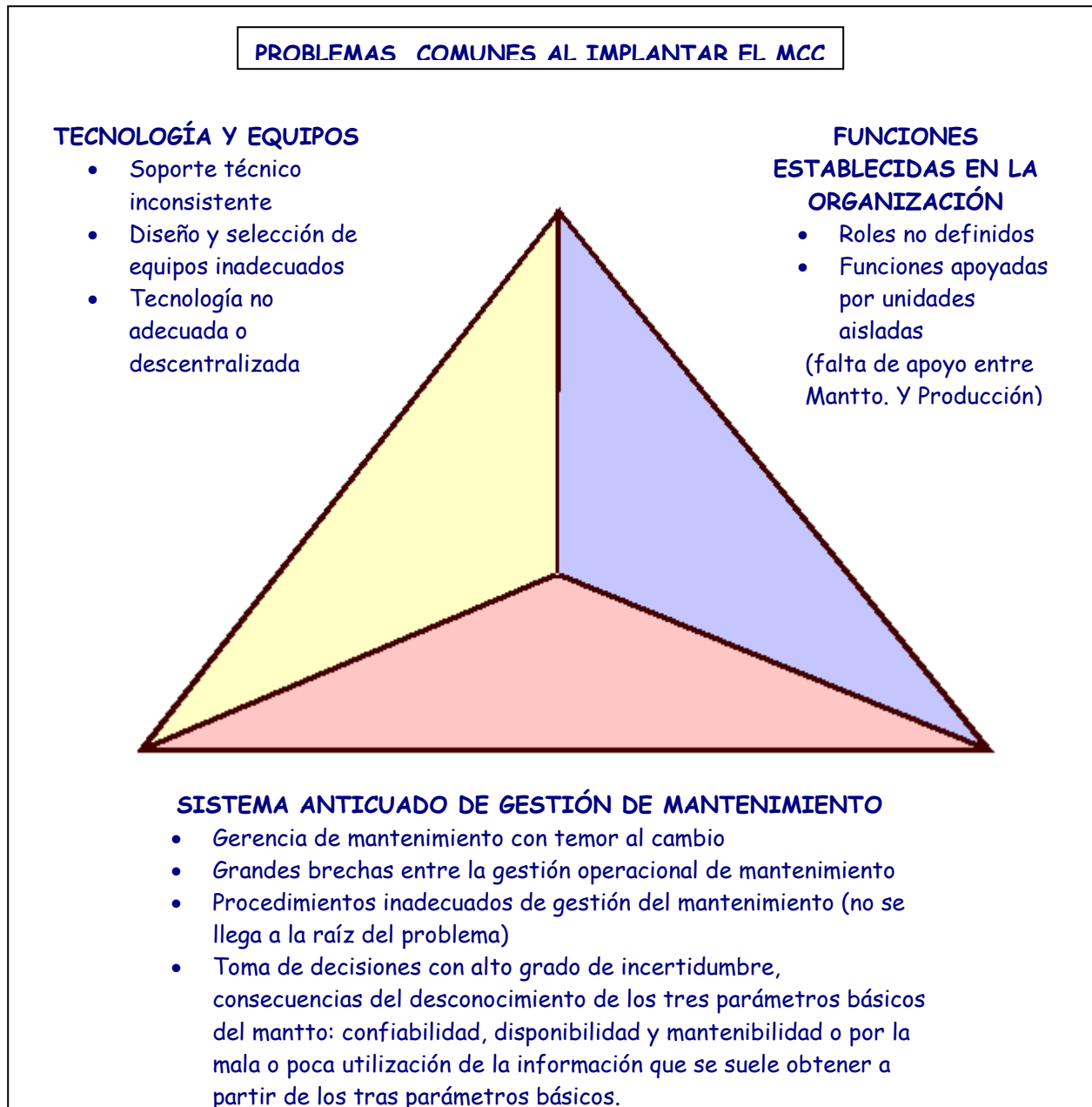


Figura 8.2 Fuente Aladon, 1997

Limitaciones de Implantación del RCM :

(Tomado de MSc. José Bernardo Durá, The Woodhouse Partnership Ltd)

Claro esta que la implantación del RCM en una empresa no es cosa fácil, existen verdaderas dificultades a la hora de lograr este objetivo entre las que podemos citar están:

1. Dificultad en la definición de sistemas y funciones
2. Dificultades en la creación de un plan jerarquizado de implantación
3. Mala relación costo beneficio en más de un 40% de los sistemas evaluados
4. Problemas en la definición de frecuencias óptimas de mantenimiento, inspecciones, entre otros.
5. No trata los problemas de operación diaria, muy proactivo, pero sin embargo, el día a día mata las empresas. ¡Eliminando entre otras cosas el tiempo para las reuniones de RCM!
6. Los esquemas de reuniones semanales y grupos de trabajo completos son muy difíciles de implantar.
7. Un plan de implantación global puede tardar muchos años y costar millones de dólares en empresas grandes.
8. Los resultados pueden tardar muchos años en verse
9. Difícil de justificar económicamente en muchos casos
10. Alta rotación de los gerentes y visión a corto plazo de los mismos dificulta implantación
11. Problemas con la comunicación de resultados
12. Mantener equipos de trabajo durante largo tiempo es difícil

Como superar dichos limites:

Si hay dificultades, también hay las formas de solventarlas y he aquí algunas sugerencias para evitar estos contratiempos:

1. Utilizar mejores técnicas para definir funciones y sistemas
2. Utilizar un buen sistema de criticidad para establecer el plan de implantación
3. La criticidad debe estar basada en riesgo y tener una relación directa con indicadores económicos de la empresa
4. Establecer planes de implantación de RCM solo para los sistemas críticos
5. Usar estrategias diferentes para los sistemas de baja criticidad .
6. Usar herramientas avanzadas para la optimización por costo Riesgo de las frecuencias de mantenimiento e inspección, así como la evaluación óptima de partes de repuesto y la evaluación económica de los rediseños.
7. Usa herramientas de mejoramiento continuo para resolver los problemas operacionales diarios
8. Tratar de obtener resultados a corto plazo sin sacrificar los objetivos a largo plazo, este será el combustible para quemar la visión a corto plazo gerencial
9. Poseer siempre a la mano los resultados económicos de la implantación, para esto se han de desarrollar algunos indicadores de desempeño
10. Generar planes de comunicaciones y recompensas que permitan mantener el momentum de los equipos de trabajo, este permitirá el compartimiento de la visión de la empresa
11. Crear planes de mejoramiento que involucren todos los sectores de la empresa
12. Recordar que el mantenimiento no es el único ingrediente que interviene en el desempeño de las empresas
13. Mantener un ambiente triunfalista
14. Crear planes de implantación flexibles, que no dependan de individualidades

15. Usar el apoyo de consultores que evitarán cometer errores que son más costosos que la misma consultoría. Un buen servicio de consultoría es altamente rentable, factores de retorno de elevados se han observado al primer año
16. No creer que implantación es solo cuestión de adiestramiento. Ningún experto en algo sale solo de las aulas, imagínense un cirujano que solo ha tomado cursos, ¿le encargaría Ud. a el una operación de amígdalas?
17. Implantación es cuestión de práctica y experiencia, soporte externo le permitirá usar la experiencia de ellos y evitar los errores en su empresa!
18. El enfoque está en hacer las cosas: BIEN LA PRIMERA VEZ!!!
19. Tener planes de desarrollo en búsqueda de la excelencia empresarial, con indicadores de desempeño, metas a mediano, corto y largo plazo
20. Involucrar la mayor cantidad de gente posible
21. Recordar que no hay atajos para la excelencia: **INOCENCIA** y luego **CONCIENCIA** y luego **ENTENDIMIENTO** y luego **COMPETENCIA** y luego **EXCELENCIA**

COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLANTACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD:

(Tomado de Henry P. Ellmann, ELLMANN Y ASOCIADOS, Asesores de Dirección de Empresa e Ingeniería Industrial)

MEDIR COSTO-BENEFICIO:

La ecuación costo-beneficio está omnipresente en todas las decisiones que toma la Dirección de Empresa.

Ciertas actividades de la Ingeniería Industrial permiten una evaluación más o menos fácil de los resultados cuantitativos medibles, consecuencia de la gestión. Así, por ejemplo, cuando se introducen programas concretos de PRODUCTIVIDAD de Recursos Humanos, la medición de los volúmenes (en toneladas, o unidades, o metros, o litros) producidas por cada hora hombre es relativamente simple. Si estos índices son correctos y coherentemente medidos a lo largo del tiempo, podremos sin duda afirmar que después de un programa exitoso de Productividad, ésta ha aumentado en un X% con respecto de la que se obtenía antes del programa de mejora.

No tan fácil es, cuando deseamos medir cuantitativamente mejoras de CALIDAD o de SERVICIO AL CLIENTE. Sin embargo, es imperioso hacerlo. No solo la Dirección, sino también nuestra conciencia profesional, lo exigirá y con razón.

En el presente trabajo, no incluiremos los innumerables beneficios "intangibles" que genera la implantación de MCC, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, que en el medio y largo plazo tienen mucho peso.

MEDICIÓN DE MEJORAS EN EL MANTENIMIENTO:

¿Cómo procedemos para evaluar los beneficios de programas de mejora para el MANTENIMIENTO ? Aquí debemos advertir sobre los peligros de la búsqueda de "índices" engañosos. A mero título de ejemplo, se mencionan solamente algunas importantes y reiterativas:

La medición de "up-time" - o tiempo de máquina (o equipo) disponible - no siempre arroja un índice representativo. En muchos casos, una disponibilidad del 95% de una máquina puede ser PEOR que la disponibilidad del 75% de otra. Esto evidentemente

está dado por CONTEXTOS diferentes, que hacen que una pérdida de marcha por causas imputables a fallos de - siguiendo con el ejemplo - 5% en una máquina, puede tener CONSECUENCIAS económicas de más peso (tal vez mucho más) que el paro del 25% en la otra.

Otro índice engañoso: "Se ha logrado cumplir con el 80 % de las intervenciones programadas como

CASO 1

ANTES: Preventivo, dos veces/año

Mano de obra 2hs x \$40.-/h = \$ 80.-

Repuesto \$180.-

TOTAL por vez \$260.-

TOTAL / año (dos veces) \$520.- \$520.-

NUEVO: Predictivo (MTBF 8 meses)

Verificación cada tres meses:

Mano de Obra, operario presente

Reparación "A CONDICIÓN" \$260.- (id. prevent.)

TOTAL por año (x 1,5) \$390.- \$390.-

AHORRO por pasar de preventivo a predictivo, \$130.-/año

Notar que se omitieron otros costos que son idénticos para ambas alternativas

CASO 2: Un modo de fallo se realizaba con mantenimiento correctivo (es decir no se hacía nada para prevenirlo, y se reparaba cuando se producía). Al proceder de esta manera, la mano de obra requerida eran cuatro horas, y los repuestos cuestan US\$ 85.- Ya sabemos que sea correctivo o predictivo, estos costos serán los mismos. Sin embargo, cuando se hacía el correctivo, se incurría en los siguientes costos adicionales:

a) El operario de la máquina no podía ser reasignado, y por consiguiente se perdían sus cuatro horas de mano de obra mientras se reparaba su máquina.

b) El mini-stock de producto en proceso entre la máquina en cuestión y la operación siguiente solamente cubre UNA hora de producción. Por lo tanto habrá tres horas de pérdida de producción que o bien producirá LUCRO CESANTE por pérdida de producción y venta (real en este caso) o bien habrá que recuperar en horas extra a mayor costo de mano de obra. Estos costos adicionales se calcularon en US\$ 340.- por cada vez que ocurría el modo de fallo. Al descubrir un PREDICTIVO, esta diferencia fue ahorrada, ya que permitía reasignar con tiempo al operario y pre-generar un mayor inventario en proceso para evitar la detención de la línea, antes de proceder a la reparación PROGRAMADA, a condición. Puesto que se trata de un fallo que ocurre en promedio tres veces por año, la economía anual resulta de US\$ 1.260.- Seguro que ni el Gerente General ni el Balance de la empresa estarán impactados por este logro. PERO SÍ CON LA SUMATORIA DE VARIOS MILES DE CASOS como el ejemplificado.

CASO 2

ANTES:CORRECTIVO

Pérdida de 4 hs de operario de producción

no reasignable, 4hs x \$/h 20.- \$ 80.-

Costo adicional por recuperación de producción

perdida durante la parada, en horas extra, y repercusión sobre otras operaciones interrumpidas: \$ 340.- COSTO TOTAL POR VEZ: \$ 420.-

COSTO TOTAL POR AÑO: \$420.- x 3 = \$1.260.-

NUEVO:PREDICTIVO: DESAPARECEN TODOS LOS COSTOS ANTERIORES

En ninguno de las dos alternativas se incluyeron los costos de la reparación en sí, que serán los mismos en ambas.

AHORRO por pasar de correctivo a predictivo: \$1.260.-/año

No es el objeto presentar aquí las decenas de alternativas posibles. Lo que queremos señalar es la filosofía de la NECESIDAD Y UTILIDAD de resolver CADA MODO DE FALLO con la solución más costo-eficaz, puesto que es la SUMATORIA que generará grandes beneficios.

Sin embargo recordemos algunos otros casos frecuentes en forma genérica:

- 8) Un PREVENTIVO que genera MAYOR costo anual que “dejar que se rompa”.
- 9) Un correctivo que puede ser ejecutado POR EL MISMO OPERARIO, en lugar de esperar al mecánico y distraer tiempo de mano de obra de mayor costo y que puede ser mejor aprovechado en otra tarea de mantenimiento más costo-eficaz ;
- 10)Un PREDICTIVO que evita fallos de CALIDAD sobre X piezas entre controles sucesivos de calidad.
- 11)Un CORRECTIVO que implica costos suficientemente altos como para justificar claramente un REDISEÑO ;
- 12)Un FALLO OCULTO que de no ser detectado oportunamente genera consecuencias de alto costo, totalmente evitables con la DETECCIÓN. (“Búsqueda de fallo”).
- 13)Una FRECUENCIA de PREVENTIVO mayor a la realmente necesaria (“total son solo 10 minutos y un repuesto de US\$ 4.-”) pero se hace mensualmente sobre cien elementos iguales, resultando US\$ 12.000.-/año, cuando la frecuencia más correcta determinada por el análisis MCC pasaba a bimestral (en lugar de mensual), ahorrando US\$ 6.000.-/año.
- 14)Un PREVENTIVO que NO ES TÉCNICAMENTE VIABLE en términos de MCC porque el componente que falla NO TIENE UNA VIDA ÚTIL determinada (NO responde al patrón de fallo tradicional de “vida útil”, o no es coherente, o no es conocido).
- 15)Un PREVENTIVO que DESESTABILIZA (o arriesga desestabilizar) un proceso en funcionamiento de régimen normal).
- 16)El recambio PREVENTIVO de una pieza que de hecho presenta una alta probabilidad de “mortandad infantil”.

Queda dicho entonces que CADA UNO DE ESTOS MILES DE CASOS, lleva implícito un COSTO que PUEDE Y DEBE SER MINIMIZADO, PORQUE SU SUMATORIA NOS LLEVA A NUMEROS MUY SIGNIFICATIVOS. No calculamos solamente el costo del “mantenimiento” sino el monto total de la CONSECUENCIA ECONÓMICA DEL FALLO, que es lo que interesa ;.

CAPITULO 10

RECURSOS PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Ningún sistema sobrevive sin recursos y bajo esta idea está concebida la organización de mantenimiento. A través de los recursos es posible activar y dinamizar las acciones correctivas y preventivas en pro de una efectividad global.

Recursos son los medios de que dispone una organización para poder sobrevivir y estos deben ser administrados con criterios de sensatez y eficientemente, sin llegar al desbordamiento de estos y correr el riesgo de quedarnos sin ellos. Cuanto más recursos tengan las organizaciones, mejor será su funcionamiento. Cuanto menos recursos, mayores serán las dificultades para lograr sus objetivos.

Toda organización necesita de los siguientes recursos:

- Recursos Humanos.
- Recursos Financieros y Económicos.
- Recursos Administrativos y de Información.
- Recursos de Materiales y Repuestos.

Recursos Humanos:

Son los recursos vivos e inteligentes, estos es, las personas que trabajan en la organización, desde el gerente hasta el más humilde de los operarios. Definir un perfil ideal de dirigente y mano de obra no es asunto fácil y todo dependerá de la adecuada administración de los recursos humanos que emplee la organización en torno a mayores beneficios, mejores prestaciones y bienestar.

La concepción moderna de los recursos humanos está fundamentada en que el hombre es un elemento activo y coadyuvante de la organización, la satisfacción en el trabajo es más bien un resultado de su efectiva contribución que de su productividad. Los siguientes enfoques caracterizan esa concepción:

1. Relación con las personas:

- La mayoría de los empleados desean contribuir a alcanzar los objetivos de la empresa.

- La mayoría de los empleados son capaces de asumir sus funciones con iniciativa, responsabilidad y creatividad.

2. Tipo y cantidad de participación:

- La gerencia debe crear un ambiente de trabajo donde los subordinados aporten el máximo rendimiento.
- La gerencia debe promover a sus subordinados para que participen en los asuntos y decisiones de importancia.
- La gerencia debe esforzarse por ampliar continuamente los límites de la autodirección y autocontrol por parte de los subordinados.

3. Expectativas:

- La calidad final del proceso decisorio mejorará a medida en que el gerente racionalice su experiencia y actuación.
- La participación en el trabajo irá aumentando como producto de una participación activa del mismo.

El humano entre los recursos, es el de mayor importancia, ya que de él depende el buen uso del resto de los recursos, el saber administrar este recurso con entrenamientos progresivos, estimulándolo en la participación del trabajo, involucrándolo en las grandes decisiones que se deben tomar para mejorar la productividad e incentivándolo desde el punto de vista de beneficios que puede lograr la organización y así satisfacer sus necesidades básicas, obtendremos un recurso humano valioso y de gran ayuda.

Recursos financieros y Económicos:

La sola necesidad de efectuar una acción correctiva dentro de la gestión de mantenimiento, involucra la contratación de mano de obra calificada y la adquisición de materiales y repuestos; para ello es necesario contar con los fondos monetarios suficientes que puedan solventar la situación planteada, cuanto más es necesario, los recursos financieros y económicos cuando se trata de ejecutar un mantenimiento planificado y programado, los cuales requieren un presupuesto específico para su realización.

Los recursos financieros y económicos dentro de la organización de mantenimiento, podemos definirla como los componentes operacionales, donde se vinculan el funcionamiento, operación y puesta en marcha del sistema.

Dentro de estos componentes operacionales tenemos:

- Materiales y repuestos.
- Mano de obra.
- Gastos administrativos.
- Gastos generales para llevar a cabo el mantenimiento.

Dependiendo del perfil económico que emplee la organización sobre estrategias a corto, mediano y largo plazo, el capital invertido se recuperará en base a la liquidez de los activos y el análisis económico (estado de resultados) durante un periodo determinado. Basado es esto, la organización de mantenimiento debe analizar y

seleccionar estrategias para mejorar la relación BENEFICIO/COSTO sobre la base del menor tiempo para corregir la falla o realizar el preventivo.

Es importante resaltar que las fallas en los equipos son situaciones impredecibles en el tiempo, al igual que la magnitud de las consecuencias que pueda ocasionar, con el análisis de la confiabilidad, a lo largo de la vida útil del equipo, es posible obtener la probabilidad de sobrevivir, al igual que la tasa anual de falla, lo cual es un buen índice que permite conocer cuantas probables fallas ocurrirán en el año. Esta información acompañada de datos históricos conducirá a una **mejor estimación de los costos operacionales, reduciendo así la incertidumbre y al margen de error tolerable.**

Recursos Administrativos y de Información:

Son los recursos gerenciales que la organización de mantenimiento utiliza para planificar, organizar, dirigir y controlar sus actividades. La organización debe incluir una unidad de apoyo técnico y supervisión con el fin de poder cumplir con la planificación, la organización y la dirección de las actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y para la aplicación del Mantenimiento Productivo Total (MPT).

La organización debe contar también con un sistema de información actualizado, el cual debe ser una herramienta imprescindible en el proceso de toma de decisiones y en la solución de sus problemas. La información incrementa el conocimiento de un hecho y reduce la incertidumbre de quien la utiliza. Los datos generados de las inspecciones, intervenciones y reparaciones, serán procesados y el producto obtenido es traducido en información confiable y legible, que interprete la situación interactiva de los sectores de la organización (Ver figura 8.1)

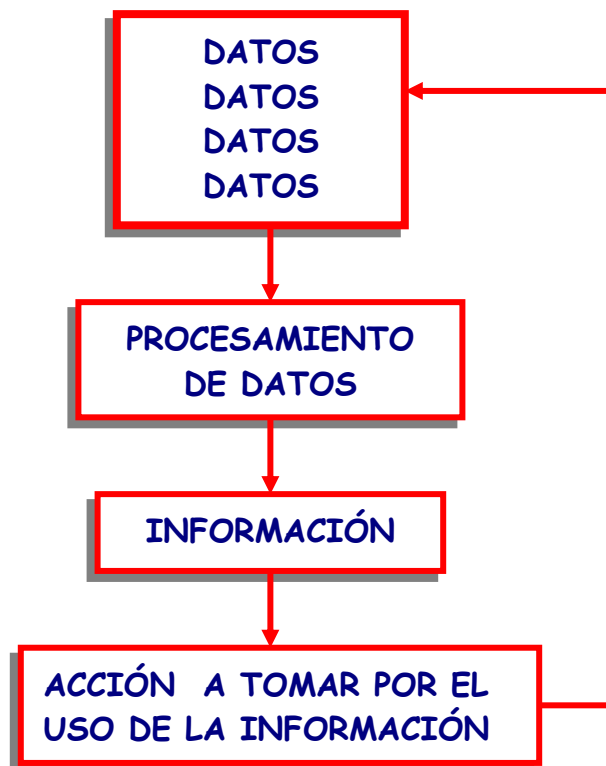
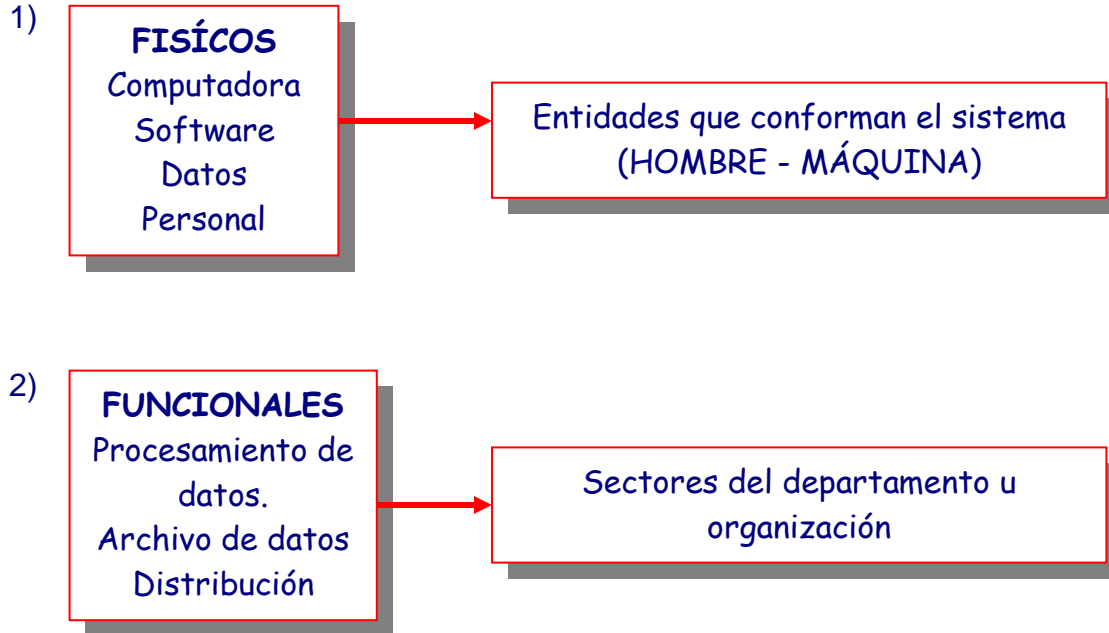


Figura 8.1

Componentes utilizados en el recurso de información:



El mantenimiento correctivo, preventivo y el productivo total, generan una serie de datos indispensables para accionar el ciclo de toma de decisiones donde la rapidez y confianza que se espera de la información obtenida depende, entre otras cosas, de la calidad del sistema implantado.

Recursos de Materiales y Repuestos:

La misma necesidad de mantenimiento activa el abastecimiento de materiales y repuestos, dinamizándose el ciclo logístico de materiales, siendo su función principal la de asegurar que los inventarios estén disponibles para satisfacer las demandas en el lugar exacto, en el momento oportuno y en las cantidades necesarias a los diferentes escalones de la organización. El tiempo de suministro empleado es fundamental en la evaluación del tiempo de parada por mantenimiento y su incidencia es determinante en el contexto de la mantenibilidad.

La efectividad con la cual se desarrolla la actividad de la gestión de materiales dependerá entre otros de los factores siguientes:

1. Clasificación de los materiales.
2. Demanda estimada.
3. Inventario.
4. Costo de repuestos y materiales.

Análisis que se aplican en la gestión de materiales:

- a) **Análisis A B C:** La distribución de Pareto, se ha generalizado a través de una ley económica: ***“En cualquier organización pocos artículos son vitales, mientras que la mayoría no lo son”***. Este análisis divide los repuestos y materiales de

acuerdo a la importancia y su utilización anual y establece una distribución porcentual en base al consumo y al costo anual acumulado

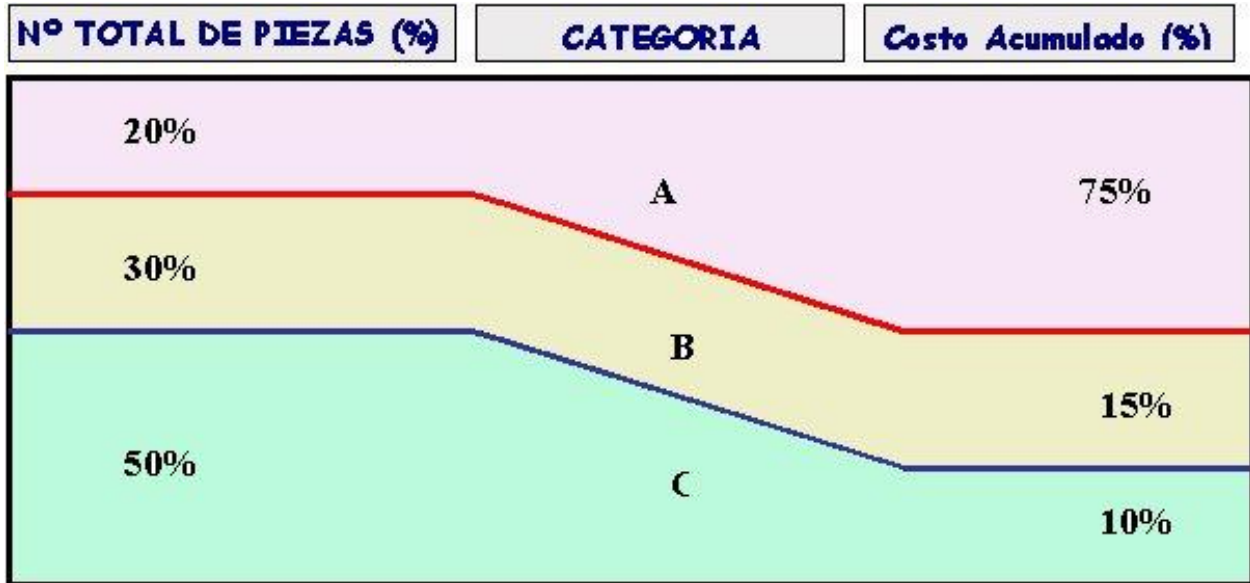


Figura 8.2 Análisis ABC

En el gráfico 8.1 se muestra un ejemplo del análisis A B C, en el cual se muestra que el 20 por ciento de los materiales y repuestos más usados están en la categoría **A** y representa un 75 por ciento del costo total de repuesto, el 30 por ciento de los repuestos están en la categoría **B** y representan un costo total del 15 por ciento y por último, el 50 por ciento de los repuestos y materiales están en la categoría **C** y representan el 10 por ciento del costo total del inventario. Tomando en cuenta este análisis, se puede mejorar el abastecimiento de repuestos y materiales en la gestión de mantenimiento.

b) Análisis de componentes y equipos críticos (Análisis 1 2 3):

La clasificación ABC no es suficiente como medio de distribución, ciertas piezas o repuestos pueden tener marcada contribución en la Efectividad total del Equipo (ETE), en tal medida que no poseerla en el momento adecuado, podría causar una paralización del tren productivo, por lo tanto para los materiales y repuestos de mantenimiento no basta clasificarlos según su uso, sino también según su criticidad. Por medio del análisis 1 2 3, se pretende reestructurar la distribución A B C considerando como base lo expuesto en la tabla 8.1:

CLASE	NOMBRE	DEFINICIÓN
1	Vital	Falta del repuesto ocasiona parada de producción
2	Semi-Vital	Falta del repuesto disminuye la producción
3	No Vital	Falta del repuesto no afecta la producción

Tabla 8.1

En razón de lo anterior se establece una relación cruzada entre la técnica del análisis A B C y la técnica de la distribución 1 2 3 respectivamente, lo que quiere decir que

según su criticidad, un repuesto o material puede ser incluido en cualquier categoría de la distribución A B C.

c) **Análisis de la criticidad en función de la demanda:**

Por este método se pretende establecer una clasificación del nivel de criticidad en función de la demanda de repuestos y materiales y esta a su vez en función de la probabilidad de que se presente una falla en un tiempo (t). Dentro de este análisis podemos mencionar tres distribuciones principales:

1- **Distribución de Poisson:**

Se considera cuando la demanda ocurre en ocasiones esporádicas o explica la ocurrencia de la falla en un largo periodo.(sustitución de un repuesto o parte del mismo). Los eventos se miden a través de la rata de uso:

$$R = 1 / TMED$$

Ec. [8.1]

Siendo TMED el Tiempo Medio Entre Demanda

2- **Distribución Exponencial:**

Se considera cuando la demanda ocurre con baja frecuencia y el evento se mide también a través de la rata de uso, según la ecuación 8.1

3- **Distribución Normal:**

Se considera cuando hay un movimiento rápido en el tiempo (t), es decir, en una distribución normal el 50 por ciento de la necesidad de uso del repuesto o material ocurren en tiempos menores al tiempo promedio entre falla)

d) **Análisis de estimación de demanda:**

En este análisis se considera el pronóstico de la demanda sobre la dinámica del uso y los tiempos de reabastecimiento, los cuales están inmersos en ciertas condiciones de aleatoriedad e incertidumbre debido a las relaciones con los proveedores. Cuando se dispone de datos históricos del movimiento periódico del material o repuesto, se puede utilizar para la estimación de compra, algún modelo matemático y estadístico que permitan predecir la demanda en periodos futuros.

e) **Control de Inventario:**

Este aspecto será tratado con mayor profundidad en el capítulo siguiente. (Cap. 11)

CAPITULO 11

GESTIÓN DE INVENTARIO

Sin llegar a ser un instructivo o un manual para desarrollar una gestión de inventario, en este capítulo se recogen los aspectos más resultantes e importantes que están ligados a esta gestión. Empezando por definir Inventario, este consiste en mantener una cantidad de recursos (Repuestos, Materiales y Herramientas) necesarios para satisfacer los requerimientos futuros. Así los inventarios en mantenimiento, son todos los suministros de materiales que la organización posee y utiliza en el proceso de reparación y restauración de las maquinarias y sistemas necesarios para permitir una producción la más continua posible y con la mejor calidad.

La acumulación de repuestos y materiales en niveles adecuados es una necesidad para el funcionamiento normal de la organización de mantenimiento. Paradójicamente, los inventarios representan una enorme inversión financiera. Desde este punto de vista, constituye un activo circulante necesario para que la organización pueda efectuar sus intervenciones con un mínimo de riesgo en el tiempo de paralización de los equipos y de preocupación.

Funciones de los Inventarios:

Las principales funciones de los inventarios son:

1. Garantizar el abastecimiento de repuestos y materiales a la organización de mantenimiento para neutralizar los efectos de: a) Demora o atraso en el suministro, b) Abastecimientos parciales y c) Riesgos de dificultades en la procura del material.
2. Proporcionar economías de escala a través de compra de lotes económicos, por medio de la flexibilidad del proceso de mantenimiento y por la rapidez y eficiencia en la atención a las necesidades

Dado que estos recursos son utilizados en la medida que son requeridos, es prudente hacer la reposición cada cierto tiempo. La determinación de la cantidad a reponer y el momento en que se hará la reposición es lo que se denomina Gestión de Control de Inventarios.

Factores que se deben considerar en la gestión de inventarios:

1. Efectuar periódicamente un inventario físico de repuestos y materiales.

2. Normalizar la descripción de los repuestos
3. Identificar los materiales y repuestos de manera fácil de ubicar y/o comprar (Número de Parte, Código, Catalogo, Marca, entre otros).
4. Recabar información respecto a: Fabricante y/o proveedor, precio y rata de consumo.
5. Efectuar análisis de criticidad (que comprar)
6. Estimar el punto de pedido (Cuando comprar).
7. Estimar cantidades económicas de pedidos (Cuanto comprar).
8. Diseñar e implantar los reportes de consumo.
9. Apoyo de los factores anteriores con el recurso de la informática y la computación.

Modelo de Inventario:

Para realizar un modelo de inventario se deben tomar en cuenta las siguientes características:

- a) **Costos asociados:** Generalmente se consideran cinco tipos de costos, a saber:
 - Costo del renglón.
 - Costo Orden de Compra.
 - Costo Mantenimiento de inventario.
 - Costo de Despacho.
 - Costo de penalización.
- b) **Característica de la demanda:** de acuerdo al conocimiento que se tenga de la demanda, se crean modelos **Determinísticos** que implica el conocimiento de la variación de la demanda o **Probabilísticos**, que implica una variación aleatoria de la demanda creando incertidumbre. Las características de la demanda más importantes y que se deben considerar en un modelo de inventario son:
 - El valor esperado de la demanda en el tiempo (t).
 - La distribución que se asume en un periodo.
 - La posibilidad o no de reponer la escasez.
- c) **Características de la reposición:**
 - Forma en que la reposición ocurre. Esto quiere decir la forma como se requiere el material: requisición urgente, inventario normal o cubrir demandas futuras.
 - Tiempo transcurrido entre la emisión de la orden de compra y el instante en que se recibe el material.
- d) **Restricciones:** en este renglón tenemos las limitaciones en el costo del inventario y en las limitaciones que posee la organización para definir la forma y la frecuencia que pueden revisarse los niveles de inventario.

BIBLIOGRAFIA

- 1) **Manual de Mantenimiento Productivo Total.** FORD MOTORS, 1992.
- 2) **Mantenimiento Productivo Total,** HARTMANN, 1990
- 3) **Aplicación Prácticas de la teoría de Mantenimiento,** JOSE DOMINGO NAVA, 1995
- 4) **Revista Club de Mantenimiento,** Año 3 N° 7, Septiembre 2002
(www.mantenimientomundial.com/mantenimiento/tipo.htm.)
- 5) **Los Mantenimientos: Manual, Automatizado e Inteligente,** R. Ferrer Durá y M.Chiner Dasí, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2002
- 6) **Fiabilidad de los Motores de Inducción,** O. Duque y M. Pérez, Universidad de Valladolid y Universidad de Mantenimiento de trenes, España, 2002.
- 7) **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad,** Aladon, 1997.
- 8) www.reability-centered.com.htm