



30007 5 2ej
UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

Incorporada a la U.N.A.M.

"EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL EN UNA
PEQUEÑA EMPRESA ELABORADORA DE
CONCRETO PREMEZCLADO"

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO MECANICO - ELECTRICISTA
con área principal en:
INGENIERIA INDUSTRIAL
P R E S E N T A :

EDUARDO DUARTE CASTELLANOS

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1986



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Página.
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1	
ALCANCE Y FUNCIONES DEL MANTENIMIENTO DE ESTA EMPRESA...	4
1.1 Introducción	5
1.2 Objetivos de la función de mantenimiento	8
1.3 Funciones del Departamento de Mantenimiento ...	10
1.3.1 Funciones Primarias	10
1.3.2 Funciones Secundarias	11
1.4 Responsabilidades del Departamento de mantenimien to.....	13
CAPITULO 2	
DIFERENTES TIPOS DE MANTENIMIENTO	15
2.1 Introducción	16
2.2 Mantenimiento Correctivo	20
2.3 Mantenimiento Preventivo	24
2.3.1 Mantenimiento Periódico	28
2.3.2 Mantenimiento Progresivo	29
2.3.3 Mantenimiento Sintomático	29
2.3.4 Mantenimiento Mixto	30
2.3.5 Mantenimiento Dirigido	30

2.4 Mantenimiento Predictivo.....	31
CAPITULO 3	
LA MANTENIBILIDAD COMO HERRAMIENTA PARA LA DETERMINACION DEL TIEMPO DE REPARACION	33
3.1 Introducción	34
3.2 Concepto de Mantenibilidad. Ejemplo	36
3.3 Factores que influyen en la Mantenibilidad	42
3.3.1 Conocimiento de la utilización final del producto	45
3.3.2 Conocimiento profundo de la operación	46
3.3.3 Mejoramiento en los métodos de diagnóstico	47
3.3.4 Métodos de ejecución y ajuste	47
3.3.5 Métodos de programación y control	49
3.3.6 Información técnica general y especializa- da	51
3.3.7 Herramientación general y especializada ...	52
3.3.8 Medios de maniobra y transporte	53
3.3.9 Instrumentación	55
3.3.10 Accesibilidad y espacio disponible	55
3.3.11 Normalización de equipo y maquinaria	55
3.3.12 Adecuación de políticas de mantenimiento.	56
3.3.13 Disponibilidad de refacciones y materiales	59
3.3.14 Los parámetros de la Mantenibilidad.Caso Práctico	59

3.3.15 Optimización del número de personas de servicio	66
CAPITULO 4	
TECNICAS DE REEMPLAZO Y MUESTREO	68
4.1 Tipos de reemplazo	69
4.1.1 Por obsolescencia	71
4.1.2 Por deterioro	73
4.1.3 Por baja capacidad	75
4.1.4 Por un costo excesivo de mantenimiento ..	75
4.1.5 Por decadencia de su eficiencia.....	76
4.1.6 Bajo la vida de servicio desigual	76
4.2 Técnicas de muestreo	77
4.2.1 Muestreo aleatorio simple	77
4.2.2 Muestreo aleatorio con y sin reemplazamien to	78
4.2.3 Distribución muestral de medias	79
4.2.4 Distribución muestral de proporciones	81
4.2.5 Muestreo sistemático	83
4.2.6 Muestreo aleatorio estratificado	84
CAPITULO 5	
PREDICCIÓN DE FALLAS MEDIANTE LA CONFIABILIDAD Y PROGRA- MACIÓN DE INTERVALOS ENTRE MANTENIMIENTOS	89
5.1 Fallas de equipos industriales	90
5.1.1 Fallas por diseño inadecuado	91
5.1.2 Fallas de fabricación y control de calidad	92

5.1.3 Fallas por instalación incorrecta	92
5.1.4 Fallas por cambio de régimen de operación	93
5.1.5 Fallas por mantenimiento deficiente	94
5.1.6 Fallas por baja confiabilidad	94
5.2 Predicción de fallas mediante la confiabilidad	95
5.3 Predicción de fallas y obtención del intervalo óptimo, entre mantenimientos	98
Caso Práctico 1	99
5.4 Caso Práctico 2	108
CONCLUSIONES	111
BIBLIOGRAFIA	115

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Un buen servicio de conservación de instalaciones y equipo busca reducir al mínimo las suspensiones del trabajo, al mismo tiempo que hacer más eficaz el empleo de dichos elementos y de los recursos humanos, con el propósito de obtener mejores resultados, con el menor costo posible.

La necesidad de poseer controles adecuados, de poder planear y programar con acierto se ha dado por varios motivos como los siguientes:

a) Una creciente mecanización. La extendida mecanización en la industria ha reducido el costo de mano de obra directa; pero a la vez ha impuesto la necesidad de conservar debidamente a los equipos.

b) Una mayor complejidad del equipo. Esto requiere de servicios altamente especializados.

c) Costos mayores. Son el resultado de una mano de obra cada vez más cara y del constante aumento en los precios de refacciones y materias primas.

d) Paros numerosos. La interrupción repetida del proceso productivo afecta gravemente la demanda de la producción.

Las fallas que ocurren en los equipos pueden ser pre determinadas en base a una distribución estadísticamente realizada, y si además se puede saber el tiempo de reparación necesario para reestablecer el servicio que presta la maquinaria, se va a facilitar y optimizar la programación del mantenimiento preventivo, además de asegurar la disponibilidad de las máquinas.

C A P I T U L O 1

ALCANCE Y FUNCIONES DEL MANTENIMIENTO DE ESTA EMPRESA

CAPITULO 1

ALCANCE Y FUNCIONES DEL MANTENIMIENTO DE ESTA EMPRESA.

1.1 Introducción

Cualquier Industria necesita de un Departamento de - Mantenimiento, ya que éste es la base para desarrollar los conceptos generales y la ideología básica de la Organización de - Ingeniería de Mantenimiento, con la finalidad de asegurar la - disponibilidad de máquinas, edificios y servicios que se necesitan en otras partes de la Empresa, para desarrollar sus funciones a una tasa óptima de rendimiento sobre la inversión, ya sea que ésta inversión se encuentre en maquinaria, materiales- o recursos humanos.

En la actualidad las Empresas hacen a un lado a este Departamento, por darle prioridad a : Producción, Control de - Calidad; Ventas, etc., sin fijarse que los costos de manteni - miento aumentan cada vez más en perjuicio de ellos mismos, todo esto como resultado de que en la práctica se pierde de vista y no se le da la debida importancia.

El Mantenimiento es una parte integral e importante- de la Organización, que maneja una fase de las operaciones.

La dependencia del personal de producción en la Ingeniería de Mantenimiento, aumenta con la complejidad del equipo que se usa en la industria moderna.

El costo de mantenimiento se ha convertido en la mayor parte del costo total de producción y el Departamento de Mantenimiento, en una parte muy importante y esencial de la compañía. Aparte del tremendo aumento en importancia del costo y de la complejidad de la función de mantenimiento, es necesario recordar que la función existe porque es una parte necesaria de la operación de cualquier Planta, ya sea grande, mediana o pequeña como en este caso, y en cuyo funcionamiento intervienen algunos equipos, los cuales requieren de un buen programa de mantenimiento, que evite los paros numerosos de las máquinas y las frecuentes horas extras, y a su vez haga conciencia de la interrelación que existe entre este departamento tan importante y los demás.

Al mantenimiento en su función se le dan varios nombres, al igual que al grupo que se encarga de esta responsabilidad.

En virtud de los diferentes factores que hacen que el costo de conservación sea mayor, la Dirección de la Empresa ha tenido que poner mayor atención en el renglón de manteni---

miento ya que a menudo se ha descuidado la función de éste y ha hecho que se menosprecie a tal grado de considerarlo como un mal necesario. Esta indiferencia se nota por parte de la Dirección General en los siguientes puntos:

- Numerosos paros de las máquinas.
- Frecuentes horas extraordinarias de trabajo.
- Preferencia hacia la producción sobre el buen estado de operación de la máquina.
- Falta de un programa de reposición de equipo.
- Mantenimiento Preventivo insuficiente.
- Falta de una selección planeada de directores y supervisores de conservación de los equipos de trabajo.
- Deficientes instalaciones de taller.
- Preparación inadecuada del personal de mantenimiento.

Sin embargo parece ser que esta indiferencia se está viendo superada. Por otro lado, si se pone mayor atención a la función de mantenimiento, a la falta de controles de costos y a la reducida experiencia de la Dirección de Mantenimiento, -- existen grandes posibilidades de bajar los costos en diversas áreas, como las siguientes:

- 1.- Mayor productividad de la mano de obra mediante una planeación y programación más eficaces y de una evaluación del desempeño.
- 2.- Reducción de labores innecesarias por medio de una acción preventiva, métodos mejores y herramientas perfeccionadas.
- 3.- Mejor control de costos extraordinarios como: tiempo adicional, máquinas paradas, piezas de repuesto, etc.

En la práctica, el alcance de las actividades de un Departamento de Mantenimiento es diferente en cada Planta y se encuentra influido por el tamaño de la misma, por el tipo, por la política de la Compañía y por los antecedentes de la Empresa.

1.2 Objetivos de la Función de Mantenimiento

Son objetivos de la Función de Mantenimiento los siguientes:

- 1.- Maximizar la disponibilidad de maquinaria y equipo para la producción.
- 2.- Preservar el valor de las instalaciones, minimizando el uso y el deterioro.
- 3.- Conseguir estas metas en la forma más econó

mica posible y a largo plazo.

También habrá otra clase de finalidades adicionales. Los objetivos nunca son estáticos, ya que pueden ocurrir cambios en algunos de ellos según las circunstancias.

La autoridad se transmite al Director de Mantenimiento por un funcionario ejecutivo. Es precisamente ésta delegación de autoridad la que hace posible la Organización. El Director de Mantenimiento otorga a su vez, autoridad a sus subalternos y así sucesivamente a lo largo de la línea.

Como casi ninguna Empresa puede operar sin percibir una utilidad, se puede decir que el objetivo primordial es la obtención de una utilidad o beneficio. También para el Departamento de Mantenimiento es objetivo primordial, el impulsar y cooperar a la generación de utilidades por la Empresa.

De aquí, que si el objetivo final es la utilidad, resulta pues necesario conservar las instalaciones que contribuyen a la producción en un estado de eficiencia máxima y con un costo mínimo.

Para que éstos objetivos se puedan alcanzar, es necesario delinear con toda precisión y consignar por escrito a #

Las distintas actividades y funciones que realiza el Departamento de Mantenimiento. A continuación se detallan algunas de las actividades y funciones que se llevan a cabo en la Empresa de que trata este trabajo:

1.3 Funciones del Departamento de Mantenimiento

1.3.1 Funciones Primarias.

La mayor parte de éstas se incluyen directamente en la justificación del Departamento de Mantenimiento. Algunas de ellas son las siguientes:

- 1.- Planear y programar en forma conveniente la labor de mantenimiento.
- 2.- Mantenimiento del equipo existente en la Planta. Adquisición, conservación y reparación de maquinaria y equipo al servicio de la Empresa tales como: Unidades Revolvedoras, trailers, pipas, camiones, vehiculos, plantas dosificadoras, etc.
- 3.- Mantenimiento de los edificios existentes en la Planta y de las construcciones. Conservar y reparar locales, instalaciones, mobiliario, etc.

- 4.- Inspección y lubricación del equipo. Escoger y proveer de los lubricantes necesarios para la maquinaria y el equipo.
- 5.- Disponer la relevación de máquinas, equipo en general, camiones revolventoras, tractores del trabajo de producción, para realizar las labores de mantenimiento planeadas.
- 6.- Modificaciones al equipo y edificios existentes.
- 7.- Nuevas instalaciones de equipo y edificios.

1.3.2 Funciones Secundarias.

Son aquellas que debido a la experiencia, conocimiento técnico, antecedentes y otros factores, o a que no hay otra división lógica de la planta a la cual se le pueda asignar las responsabilidades de las mismas, se delegan al Departamento de Mantenimiento. Se mencionan a continuación algunas de ellas:

- 1.- Cotización y compra de las refacciones necesarias para los equipos. Solicitar herramientas, accesorios, piezas especiales de repuesto para las unidades, y en fin todo el equipo necesario para efectuar con éxito la función de mantenimiento.

- 2.- Preparar solicitudes de piezas de reserva - para maquinaria y equipo, revisar las listas de esta clase de artículos según sea necesario, y controlar el programa de conservación de partes de repuesto y material de mantenimiento.
- 3.- Almacenamiento. Cerciorarse de que los inventarios de piezas de reserva, accesorios de mantenimiento y partes de repuesto especiales sean conservados en un nivel óptimo.
- 4.- Atención de auxilio a las unidades.
- 5.- Control de consumo y operación de las llantas de todos los vehículos.
- 6.- Proporcionar servicio de limpieza en toda planta, en relación a maquinaria y equipo.
- 7.- Juntar, seleccionar y deshacerse de desperdicios, combustibles, fierro aparentemente inútil y material que puede volverse a utilizar.
- 8.- Conservar en buen estado los dispositivos de seguridad.
- 9.- Otros servicios delegados por la administración de la Planta.

En conclusión al alcance y a la función que desempe-

En el Departamento de Mantenimiento, se tiene lo siguiente:

Alcance:

El alcance del Departamento de Mantenimiento incluye el mantenimiento, disponibilidad, construcción (adaptaciones), distribución de equipo y numerosas fases de servicio de las operaciones de la Planta.

Función:

La función del Departamento de Mantenimiento es proporcionar los servicios técnicos de Ingeniería requeridos para la operación segura y eficiente de la Planta y tiene por obligación el fin de obtener los objetivos de la empresa de la cual es parte integrante.

1.4 Responsabilidades del Departamento de Mantenimiento.

Son responsabilidades del Departamento de Mantenimiento las siguientes:

- 1.- Trabajo de Ingeniería del Mantenimiento planeado, reparaciones, instalaciones pequeñas y reemplazos.

- 2.- Generación y distribución de energía y ---
otros servicios.
- 3.- Administración de otros equipos de servicio
delegados al grupo.
- 4.- Consulta técnica sobre problemas mecánicos
de supervisión de la producción.
- 5.- Proporcionar protección adecuada contra in-
cendio de la Planta, incluyendo contactos -
con los representantes de las compañías de
seguros contra incendio.
- 6.- Establecimiento y mantenimiento de registros
adecuados que se refieran a aspectos de lle-
var y contabilizar el equipo de la planta y
demás Bienes.
- 7.- Desarrollar todas estas funciones en forma
segura y eficiente.

CAPITULO 2

DIFERENTES TIPOS DE MANTENIMIENTO

CAPITULO 2

DIFERENTES TIPOS DE MANTENIMIENTO.

2.1 Introducción

El servicio de Mantenimiento siempre debe anteponerse a los trabajos de ampliación o construcción de la Empresa - o a la sustitución de equipos o maquinaria y solo puede posponerse a las labores de producción, siempre y cuando el análisis de éstos demuestre que son más importantes, en cuyo caso - debemos programar una fecha para el posterior servicio de mantenimiento y evitar el cambiar de ésta misma.

Se da el caso a veces , de que en algunas empresas - le dan prioridad a sus programas de construcción y ampliación y hacen a un lado sus labores de mantenimiento, y hasta en ocasiones llegan a emplear a éste mismo personal de mantenimiento para construir o ampliar, dejándose sentir de esta manera los efectos de una política equivocada.

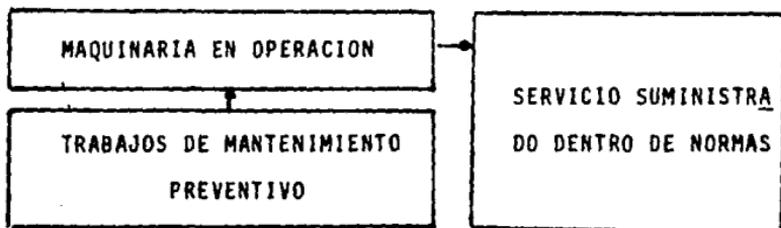
Algunos trabajos de mantenimiento es necesario efectuarlos lo más rápido posible, ya que tienen prioridad sobre - otras labores, ya que depende de estos trabajos la posterior - continuidad del proceso productivo y además éstos van a propor

cionar a la maquinaria de elaboración del producto el grado de confiabilidad necesario.

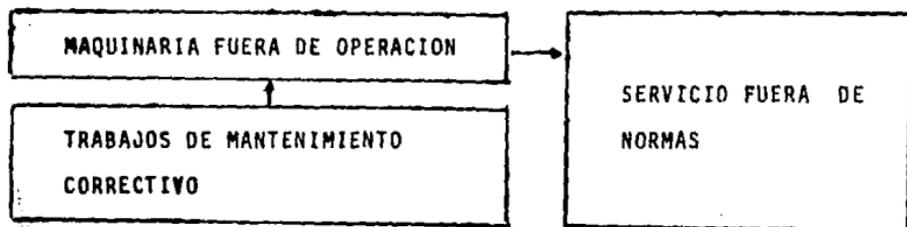
Se debe recalcar en que el punto de vista del mantenimiento debe ser tomado con respecto al servicio.

Por ejemplo:

Supongamos que existe una maquinaria en funcionamiento y que esté prestando un servicio cualquiera. Los trabajos de Mantenimiento Preventivo, siempre y cuando el servicio se esté proporcionando con una calidad mayor al "límite inferior de calidad de servicio", preestablecido anteriormente o especificado en la propia máquina.

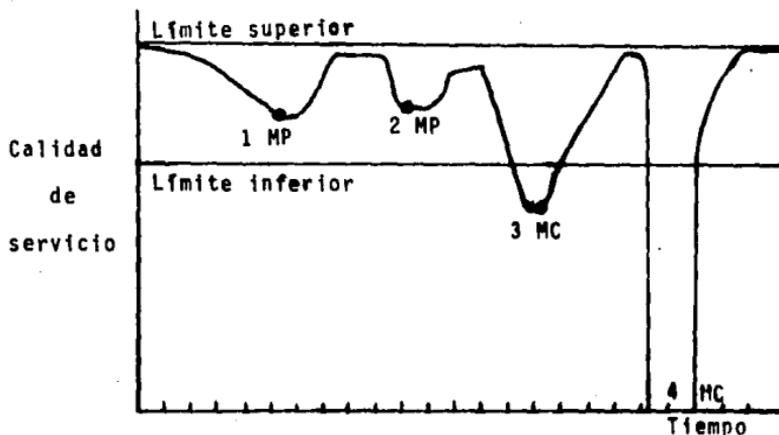


En caso de que la falla que se presente reduzca la calidad de servicio proporcionado abajo del límite inferior preestablecido, los trabajos que se desarrollen en dicha maquinaria serán de Mantenimiento Correctivo.



Este mantenimiento no puede ser programado, y lo que hay que atender es la reposición del servicio, ya sea con la ejecución de trabajos de emergencia o con el uso de otra maquinaria que lo provea, y así tendremos que en ocasiones podemos parar la maquinaria que está suministrando un servicio, siempre y cuando se haya previsto poner otra a que se haga cargo del mismo; también en este caso los trabajos desarrollados en la primera maquinaria deben ser considerados como de mantenimiento preventivo.

Hay que recordar que es el servicio al que se mantiene, y a la máquina solo se le proporciona los arreglos o inspecciones. Este concepto se aclara en la siguiente gráfica:



Aquí se observa que una máquina cualquiera está proporcionando servicio con la calidad esperada, pero conforme pasa el tiempo, las pruebas o inspecciones indican que éste se va demeritando (punto 1); esto da lugar a efectuar los arreglos necesarios en la máquina, hasta obtener nuevamente la calidad esperada; estos trabajos se califican como de Mantenimiento Preventivo y están señalados por los puntos 1 y 2 .

Sin embargo si la máquina no se atiende a tiempo por cualquier causa, la imperfección del servicio puede llegar a tal magnitud que salga del límite inferior de calidad de servi

cio como se puede apreciar en el punto 3; los trabajos que en este momento se le hagan a la máquina se consideran de Mantenimiento Correctivo.

2.2 Mantenimiento Correctivo

Al Mantenimiento Correctivo se le puede definir de la siguiente manera:

"Es la actividad humana desarrollada en máquinas, instalaciones o edificios, cuando a consecuencia de una falla, ha dejado de prestar la calidad de servicio para la que fueron diseñadas."

Como consecuencia, las labores que en éste caso se llevan a cabo, tienen por objeto la recuperación inmediata de la calidad de servicio, o sea que ésta se ubique dentro de los límites esperados (superior e inferior), ya sea que para tal efecto se hagan arreglos provisionales o definitivos o por lo menos más confiables que las soluciones de emergencia.

Los métodos del correctivo demandan de mayores tiempos de ejecución, debido a los análisis ingenieriles que hay que efectuar. Además este tipo de mantenimiento exige de una atención inmediata, por lo que las labores que se realizan no -

pueden ser programadas, solo se tramitan y controlan por medio de reportes de máquina fuera de servicio, por lo que el personal debe efectuar los trabajos absolutamente indispensables, - evitando arreglar otros elementos de la máquina o hacer cualquier trabajo adicional que no sea necesario para que pueda seguir prestando su servicio.

Este tipo de mantenimiento se divide en:

- a) Mantenimiento Correctivo Ligero
- b) Mantenimiento Correctivo a Fondo

Esta división depende de la importancia de los trabajos que hay que desarrollar para corregir la falla.

También puede ser atendido por dos tipos de personal que son:

- a) De escasa preparación, el cuál atenderá el mantenimiento correctivo ligero o sea las reparaciones menores.
- b) Personal especializado, el cuál tendrá que atender el mantenimiento correctivo a fondo, o bien puede atacar trabajos de mantenimiento correctivo ligero. Cabe aclarar que una persona especializada, con las herramientas necesarias, también puede ver trabajos de man-

tenimiento preventivo.

El mantenimiento correctivo se controla por medio de reportes, "máquina fuera de servicio", los cuáles deben ser -- atendidos de inmediato, pues un reporte de éste tipo significa siempre la pérdida de la calidad de servicio.

Este tipo de mantenimiento es el más caro por su falta de planeamiento y programación; de aquí que se tiene que tener cuidado de que al laborar en un trabajo de mantenimiento - correctivo, no se traspasen los límites de este mismo.

Es muy común entre el personal de mantenimiento, que al ocurrir una pérdida de la calidad del servicio, debido a la descompostura de una máquina, aprovecha para arreglar algunos otros elementos de ésta, cambiar piezas o hacer cualquier trabajo adicional, que no es esencial para que la máquina pueda - seguir proporcionando dicho servicio. Como ésta labor se hace de una manera casual e imprevista, es decir que no es el motivo por el cuál se averió la máquina, es difícil que se tenga todo lo necesario para el arreglo de la misma, dando por resultado que el paro se prolongue innecesariamente más allá de lo indispensable, con el consiguiente aumento en los costos por baja - producción.

Todos los casos de mantenimiento correctivo deben ha

cerse de inmediato, a fin de lograr que la máquina proporcione el servicio lo más pronto posible; después el responsable debe hacer un reporte de las anomalías, a fin de pedir posteriormente la orden de trabajo de mantenimiento preventivo y programarla en la forma antes mencionada.

Es indispensable pensar, que los trabajos de mantenimiento correctivo para que sean económicos, deben ser de emergencia; con esto no se quiere decir que deben ser mal hechos, -pués en toda emergencia se puede poner la atención y calidad debidas para que éste asegure el servicio más allá de la fecha en que se calcule que se puede hacer el mantenimiento preventivo; por lo tanto, siempre que se ejecute algún trabajo de mantenimiento correctivo, el personal de mantenimiento, debe tener el criterio lo bastante formado para efectuar los trabajos absolutamente indispensables, a fin de restablecer el servicio - de una manera rápida y segura.

Para tener un mayor índice de confianza, es necesario tener una máquina de reserva, lista para entrar en acción, si es posible automáticamente, al sufrir un paro la máquina -- que se encuentra en servicio.

Es necesario, estar checando a intervalos regulares el funcionamiento de la máquina de reserva, para checar su es-

tado. Además hay que tener en cuenta, que la confiabilidad ha de aumentarse solo en maquinaria clave, la cuál al parar ocasionaría que la producción sufriera enormemente.

2.3 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo puede ser definido como la actividad humana desarrollada en máquinas, instalaciones o edificios, con el fin de asegurar que la calidad de servicio - que éstos proporcionan, permanezca dentro de los límites presupuestos.

Se puede definir también como: La conservación planeada de fábrica y equipo, producto de inspecciones periódicas que descubren condiciones defectuosas. Su finalidad es reducir al mínimo las interrupciones y una depreciación excesiva, resultantes de negligencias.

No debería permitirse que ninguna máquina o instalación llegase hasta el punto de ruptura.

Estos trabajos generalmente se toman de las instrucciones que proporcionan los fabricantes al respecto y los puntos de vista que dan los técnicos en cada especialidad al visitar cada nueva instalación y corroborar el ambiente circundan-

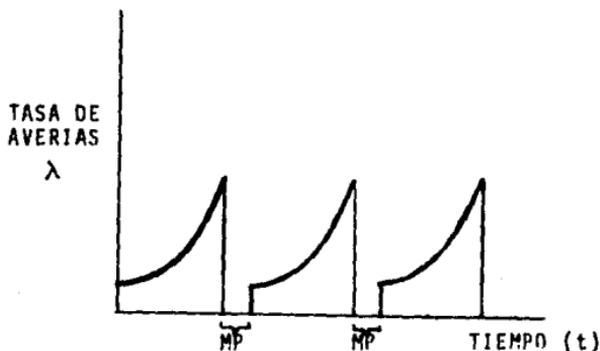
te y las condiciones que guarda el lugar o máquina.

Este tipo de mantenimiento se basa en los periodos - preestablecidos cuyo propósito es una intervención en la máquina antes de que ocurra la avería.

Cuanto mayor es el porcentaje de preventivo, normalmente disminuye la participación del de emergencia (aunque no siempre).

La planificación del mantenimiento preventivo depende de la confiabilidad de las máquinas, además se tiene que tomar en cuenta el factor "costo", ya que es antieconómico tanto submantener, como sobremantener el equipo.

El mantenimiento preventivo es caro y no siempre tiene de a reducir el de emergencia.

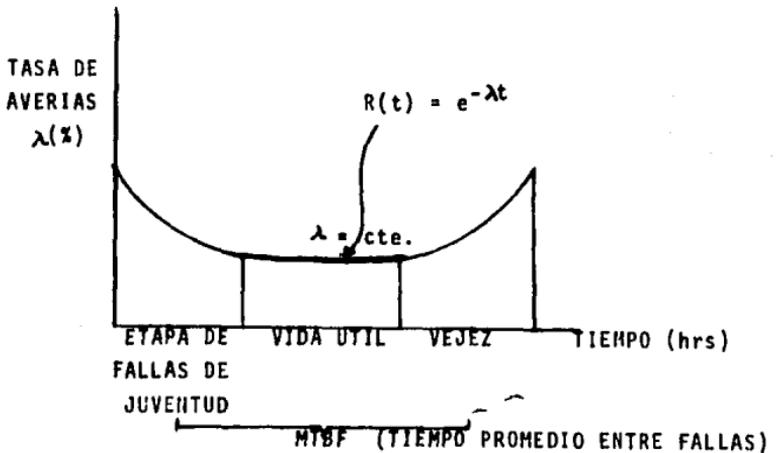


Tasa de Averfas (λ): Como se puede observar en el diagrama anterior, la tasa de averfas es la probabilidad de falla en un sistema físico y es función del tiempo $\lambda(t)$, $f(t)$.

Anteriormente los fabricantes de equipo y maquinaria industrial obtenían estadísticamente datos de tiempo de operación óptimo entre dos mantenimientos programados, de acuerdo a la tasa de averfas acumulada ($\lambda\%$).

Esto permitía pronosticar la recomendación sobre la prevención de fallas.

Los sistemas biofísicos se comportan según la curva de la bañera donde se observan tres etapas:



$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

- a) Primera etapa de fallas de juventud con un -
gradiente de disminución muy marcado, en los
sistemas industriales. Esto se debe a que un
equipo nuevo o recién mantenido trae fallas
incipientes por el factor humano y dichas -
averfas, en términos de probabilidad disminu-
yen debido a los ajustes, asentamientos y co-
necciones de juventud.
- b) La etapa más larga de la vida de un sistema
está caracterizada por la tasa de averfas -
constante y la más baja de toda la vida. Se
denomina vida útil y es la porción más prove-
chosa del tiempo de uso de una máquina. Las
fallas que aquí ocurren son accidentales, o
sea de tipo aleatorio.
- c) Vejez del Sistema: durante la cual se aumenta
progresivamente la tasa de averfas hasta el
colapso. Tanto la etapa (a) como la (c) obede-
cen la distribución normal estadística, pu-
diéndose determinar una Desviación Estándar.
($\sqrt{\text{STD}}$).

La existencia de diferentes condiciones, equipos, -
instalaciones, etc., ha determinado a través del tiempo la ne-
cesidad de diferentes prioridades y técnicas para la aplica--

ción del mantenimiento preventivo, mencionandose a continuación los criterios de cada una de ellas:

2.3.1 Mantenimiento Periódico.

La prioridad en el suministro del servicio, que proporciona una maquinaria, es tan grande para ciertas empresas - que es necesario reducir al mínimo, la presencia de fallas imprevistas; esto se logra generalmente, duplicando el equipo y dándole mantenimiento, a todo el conjunto simultáneamente después de ciertas horas trabajando, sin importar si se presenta una falla o no.

El mantenimiento periódico, considera que la probabilidad de encontrar cambios en las características físicas de los componentes de una maquinaria en particular, se incrementa a partir de cierto número de horas, en que la máquina se encuentra funcionando y estipula el cambio de determinadas piezas sin importar su estado, inspeccionar otras y proceder conforme el análisis de ellas, limpiar, engrasar, lubricar, etc. La atención de un equipo en el mantenimiento periódico, no produce el paro del servicio que se está proporcionando, ya que se tiene una máquina de las mismas características de la que se está manteniendo, y la cual se hará cargo del servicio que proporcionaba la anterior.

2.3.2 Mantenimiento Progresivo.

Para actividades donde la presentación del servicio por parte de una máquina, no es tan grande como para requerir que ésta última esté duplicada, o que exista equipo que permita parar la principal, sin afectación del servicio; de aquí - que lo que se aprovecha, es el tiempo ocioso para darle mantenimiento.

El objetivo de este mantenimiento progresivo, es el de realizar, trabajos al equipo en forma racional y progresivamente, bajo un programa que aproveche el tiempo, en que éste no esté prestando el servicio; ya que generalmente los tiempos ociosos, no son tan grandes que permitan desarrollar todas - las labores necesarias de una sola vez.

2.3.3 Mantenimiento Sintomático.

Las labores que aquí se realizan son respecto al estudio de los síntomas observados en el funcionamiento de un - equipo (ruidos, temperaturas anormales, lecturas de medidores, resquebrajaduras, escape de flujidos, consumo anormal, etc.).

2.3.4 Mantenimiento Mixto.

Aquí se aplican los trabajos, tanto preventivos, como correctivos de cualquier tipo, pero al mismo tiempo.

2.3.5 Mantenimiento Dirigido.

El mantenimiento preventivo dirigido, es la suma de todas las labores que se desarrollan en los demás tipos de mantenimiento preventivo y dirigidas exclusivamente a las necesidades del equipo, visto en forma individual.

Todos los trabajos que aquí se van a realizar, están anteriormente comprobados que son necesarios y por lo tanto son "dirigidos", es decir, han sido pensados y analizados previamente, de tal manera que cuando se van a realizar se sabe ya:

Que parte del equipo debe ser intervenido.

Que tipo de trabajos se le deben hacer.

Cuando se le deben hacer.

Que personal técnico lo debe hacer.

Que refacciones y herramientas se van a necesitar.

Que secuencia de trabajos debe de seguirse.

De acuerdo a la magnitud e importancia técnica de los trabajos a desarrollar, el mantenimiento preventivo se divide en dos grandes grupos:

1.- Mantenimiento Preventivo Ligero:

Está formado por los trabajos, que no necesitan de conocimientos profundos o herramientas especiales.

2.- Mantenimiento Preventivo a Fondo:

Está formado por los trabajos en los cuales es necesario el empleo de personal y herramientas especializados.

Una persona especializada, puede hacer trabajos de mantenimiento ligero, con el consiguiente aumento del costo de la mano de obra, pero ésta es una buena política, ya que evita la especialización desmedida del personal de mantenimiento y esto atacaría en perjuicio de la buena coordinación de los labores de mantenimiento, ya que no hay que olvidar que trabajos ligeros, pueden ser asignados al personal de producción.

2.4 Mantenimiento Predictivo.

Mantenimiento Predictivo Industrial es el sistema -

técnico-administrativo de diagnóstico periódico del comportamiento de equipos y maquinaria sin interrumpir su operación, - con el propósito de aumentar el aprovechamiento de la vida - útil y programar con bases reales el mantenimiento preventivo.

Los criterios de organización más comúnmente empleados son:

- 1.- Localizar máquinas o equipos averiados.
- 2.- Jerarquizar (prioridades).
 - a) Importancia.
 - b) Grado de riesgo de falla.
 - c) Costo de mantenimiento.
 - d) Costo de paro de la producción.
 - e) Complejidad tecnológica del sistema.
- 3.- Diseño de formatos administrativos para el control de la historia clínica del equipo.
- 4.- Organización del preventivo en función del predictivo.

C A P I T U L O 3**LA MANTENIBILIDAD COMO HERRAMIENTA PARA LA DETERMINACION
DEL TIEMPO DE REPARACION**

CAPITULO 3

LA MANTENIBILIDAD COMO HERRAMIENTA PARA LA DETERMINACION DEL TIEMPO DE REPARACION

3.1 Introducción

A menudo, cuando se inicia un trabajo, es necesario considerar los siguientes factores:

Tiempo del trabajo a realizar.

Costo total del trabajo.

Recurso humano necesario.

Otros recursos necesarios.

Momento en que se necesitan dichos recursos.

y se deben encontrar respuestas claras, veraces, confiables y oportunas. Más aún, como responsables de la administración del mantenimiento en cualquier Industria, así como en ésta, se debe plantear constantemente factores como los anteriores y encontrar soluciones que permitan visualizar, planear, programar y presupuestar.

¿ Qué se necesita hacer para reducir el tiempo a tanto? -

¿ Qué probabilidades hay de lograrlo ?

¿ Qué soportes se necesitan ?

Con un 80% de probabilidades de acertar:

¿ Dentro de qué margen de tiempo se realizará éste trabajo ?

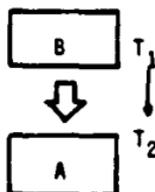
¿ Satisface ésto la disponibilidad requerida ?, es decir, el tiempo en que se planea terminar dicho trabajo.

Para lograr ésto, se necesitan armonizar éstas tareas con las demás de la Empresa, es decir, debe haber una cierta sincronización, ésto implica control en el tiempo de realización de las tareas. De ésto trata la mantenibilidad.

Tareas de mantenimiento bien planeadas y ejecutadas abren un fértil campo para aplicar mejoras en los métodos y herramientas que rindan mejores tiempos, costos, y menos riesgos de daños al trabajo, al trabajador o al ambiente; además logra lo que no es menos importante: establecer un tiempo normal de realización, con especificación de los medios y condiciones necesarias.

3.2 Concepto de Mantenibilidad

" Mantenibilidad de una Máquina es la probabilidad de restablecer el estado de esa máquina desde la situación B hasta la situación A, dentro de un margen de tiempo T_1 a T_2 , valiéndose de los medios y recursos M ".



Este concepto eslabona el logro de metas claramente establecidas con un tiempo de realización, mediante el empleo de medios y soportes bien definidos, a partir de situaciones bien definidas.

Esto implica rigor en el conocimiento de lo que se tiene, en el planteamiento de lo que se quiere y en el dominio de los recursos con que se cuenta. Cuando se controlan éstos 3 campos, la mantenibilidad es muy alta; los tiempos de realización serán establecidos de antemano con alta precisión. Esto no quiere decir que éstos tiempos sean muy breves. Los tiempos pueden ser grandes o pequeños, pero lo que es grande es la confianza en su establecimiento. Estos tiempos han sido obtenidos estadísticamente y se ha trabajado con las causas de las des--

viaciones y se ha logrado un promedio con muy poca desviación. Este logro permite planear y presupuestar.

Cuando se logra controlar las causas de desviación del promedio, generalmente también se logra disminuir el tiempo promedio de reparación, lo cual es de lo más importante por aumentar la disponibilidad del equipo.

Debido a ésta relación, frecuentemente se confunde el concepto de alta mantenibilidad, con alta disponibilidad. También se puede confundir el concepto mantenibilidad con el de reparabilidad. Este último se refiere a la factibilidad de levantar el nivel de una máquina de B a A, expresándose que una máquina es más reparable que otra, cuando se logra en menor tiempo o con menor costo.

Ejemplo:

Si en una máquina las fallas tipo U se han presentado 30 veces y se ha encontrado que consumen un tiempo fuera de servicio promedio de 115 minutos; con una desviación estándar de 12 minutos, se puede establecer con un 66% de seguridad, que la próxima vez que se presente la falla tipo U en esa máquina, se reparará en no más de 120 minutos, puesto que:

$$120 - 115 = 5 \quad \text{y:} \quad 5/12 = 0.4167$$

Lo cuál en la tabla de áreas bajo la curva normal arroja:

$$5/12 = 0.4167 \Rightarrow 0.16$$

Y entonces:

$$P = 0.5 + 0.16 = 0.66$$

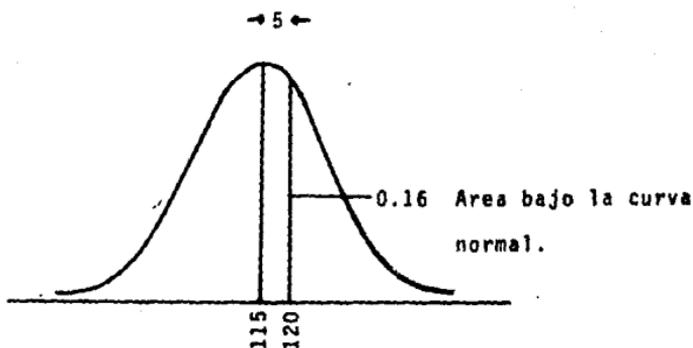


FIG. 1

También se puede establecer con un 95% de seguridad, que la próxima vez que se presente la falla tipo U en esa máquina, se reparará en no más de 135 minutos, dado que:

$$135 - 115 = 20 \quad y \quad z = 20/12 = 1.66 \Rightarrow 0.45$$

y entonces se tiene:

$$0.5 + 0.45 = 0.95$$

También se puede ver de otra manera, que el intervalo de tiempo en que se reparará la máquina es:

$$\begin{aligned} (z) (\sigma) \pm (\mu) \\ (1.66) (12) \pm (115) \end{aligned}$$

donde:

μ = media

σ = desviación estándar

Por lo tanto, la máquina se reparará en no menos de 95 min. y en no más de 135 min.

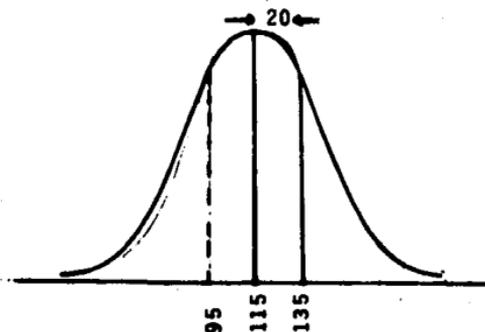


FIG. 2

Y se puede establecer con un 68% de seguridad, que - la próxima vez que se presente la falla tipo U en esa máquina, se reparará en un lapso entre 103 y 127 minutos y así se puede decir, que en cuanto a la falla tipo U, la máquina en cuestión tiene la "mantenibilidad" de 68%, entre 103 y 127 minutos.

En una máquina, sin embargo, pueden presentarse muchos tipos de falla y cada uno puede tener diferentes grados - de mantenibilidad y diferentes márgenes de tiempo.

Para la máquina de este ejemplo, en la tabla I, aparecen los valores de confiabilidad, márgenes y frecuencia de - ocurrencia para 9 tipos de falla registrados.

Para hablar de mantenibilidad de ésta máquina en con junto, se tiene que disponer la información en otra forma, -- para hacerla manejable . Pero de ésto se hablará más adelante en el punto 3.3.14

TABLA I

TIPO DE FALLA	MANTENIBILIDAD EN %	MARGEN DE TIEMPO (min)	FRECUENCIA DE OCURRENCIA
M	68%	690-760	3
N	50%	2,500	1
O	50%	1500-1800	2
P	68%	190-430	4
Q	68%	350-390	6
R	68%	480-530	4
S	68%	200-260	10
T	96%	21-29	42
U	68%	103-127	30

Los tiempos aquí realizados, se obtienen a partir de -- ciertos recursos por parte de gente capacitada y con cierta experiencia. Si para la próxima ocasión que se presentase la falla tipo U, no se utilizaran los mismos recursos, o ni la misma persona ejecutara los trabajos de reparación, el tiempo empleado sería diferente, así como la mantenibilidad.

Así, se puede ver, que la mantenibilidad no es solo una característica de la máquina en cuestión, sino de las circunstancias del sistema total, del que la máquina forma parte.

A continuación se verán los factores ambientales del sistema que influyen en la mantenibilidad de sus elementos.

3.3 Factores que influyen en la mantenibilidad.

Las causas más comunes que dan por resultado una "baja mantenibilidad" se pueden resumir en tres grupos:

- a) No tener claramente establecidos los parámetros a alcanzar en cuanto a características finales de la máquina o, establecer parámetros muy difíciles de alcanzar con los medios con que se cuenta.
- b) No tener una noción clara o realista de la situación de que se parte o, plantear una estrategia equivocada.
- c) No contar con un control o manejo adecuado de los medios, recursos o soportes necesarios.

El punto a) se da con mayor frecuencia en las operaciones nuevas, o conducidas por personal nuevo en ellas, en don

de el optimismo hace que se espere más de lo alcanzable, con los medios con que se cuenta.

Es el registro o procesamiento de la experiencia adquirida por aproximaciones sucesivas, la que establece el punto óptimo a alcanzar en cada caso.

El mejoramiento en este punto demanda:

- 1.- Conocimiento de la utilización final del producto.
- 2.- Conocimiento profundo de la operación.

El punto b), al igual que el anterior, incide con mayor frecuencia en las operaciones nuevas, o planteado por personal nuevo en ellas, dando por resultado soluciones irrealas, debido a la ignorancia o conocimiento incompleto.

Nuevamente hay que llevar un registro cuidadoso y analizar posteriormente las experiencias adquiridas, para que de aquí se puedan plantear soluciones reales. Es el aprendizaje a través de la práctica.

El proceso de mejoramiento en este punto demanda ca-

pacitación y adiestramiento en:

- 1.- Métodos de diagnóstico.
- 2.- Métodos de ejecución y ajuste.
- 3.- Métodos de programación y control.

También demanda mejoramiento en el abastecimiento y disponibilidad de:

- 4.- Información técnica general y especializada.
- 5.- Herramienta general y especializada.
- 6.- Medios de maniobra y transporte locales y -
generales.
- 7.- Instrumentación.

Por otra parte, también demanda optimización en cuanto a:

- 8.- Accesibilidad y espacio disponible.
- 9.- Normalización y modularidad de equipo y --

maquinaria.

El punto c) ocurre con mayor frecuencia en plantas - insuficientes en sistemas, cuyo control es muy vago o deficiente o en plantas insuficientes en recursos.

El mejoramiento en este punto demanda:

- 1.- Adecuación de políticas de mantenimiento.
- 2.- Disponibilidad de refacciones.
- 3.- Optimización del número de personal.

A continuación se toca más ampliamente cada uno de - estos puntos.

3.3.1 Conocimiento de la utilización final del producto.

Es indispensable este conocimiento para el responsable de fijar los requisitos mínimos a llevar por la máquina - y/o equipo y sus sistemas, con el objeto de que el producto una vez procesado en ella y con el resto de las operaciones, rinda

una parte que armonice con el todo y éste cumpla con el cometido para el que se construyó.

Este conocimiento debe compartirse con los responsables de control de calidad y con los diseñadores y debe exponerse muy claramente al personal de mantenimiento, para que tenga una idea más clara de lo que se quiere lograr.

3.3.2 Conocimiento profundo de la operación.

Debe tener este conocimiento, tanto la persona responsable de fijar los requisitos mínimos a llenar por la máquina para aceptarla en operación, cuanto más para el responsable de reparar esa máquina.

Este es el conocimiento de como es que la máquina hace lo que hace y porqué deja de hacerlo. Este conocimiento debe lograrse mediante la aportación del personal de producción, mantenimiento y del fabricante de la máquina.

Un buen conocimiento de esto repercute en una mejor operación, minimizando riesgos y optimizando los resultados.

3.3.3 Mejoramiento en los métodos de diagnóstico.

Un buen diagnóstico percibe la información disponible, registra los síntomas y los organiza en un cuadro identificando el problema.

Para lograr ésto, se necesita conocer ampliamente el funcionamiento de la máquina, así como de sus partes.

En seguida se busca toda la información disponible, que puedan aportar, principalmente los operadores, procesistas, etc., que permita adquirir el conocimiento de antecedentes, peculiaridades, etc.

Además, es de gran ayuda, contar con los planos, diagramas, folletos, etc., de la máquina y con el instructivo de diagnóstico de fallas, que de no tenerlo, debe de integrarse poco a poco, además de llevar por escrito todas las experiencias adquiridas, para que tripulaciones futuras puedan utilizar esa información.

3.3.4 Métodos de ejecución y ajuste.

Esta es la parte substancial del trabajo de manteni-

miento.

Muchas de las veces, ésta es la parte del proceso de mantener, que menos tiempo consume, pero también es cierto que es el origen de muchos trabajos innecesarios.

Los parámetros a cuidar en una buena ejecución son:

- 1.- Efectividad en los logros.
- 2.- Seguridad para evitar riesgos de daños mediatos e inmediatos a: la máquina y sus partes, el equipo humano ejecutor, la herramienta, equipo o instrumental, el ambiente.
- 3.- Pulcritud en el acabado del trabajo en cada una de sus fases.
- 4.- El tiempo de ejecución.
- 5.- La comunicación y consignación de información.

Una buena ejecución evita los retrabajos por reparaciones mal hechas y minimiza las repercusiones de daños causada

dos a partes sanas antes de la intervención.

Se le debe recomendar a la gente encargada de la ejecución, que consigne por escrito las acciones e información.

Además debe pasar por escrito, en cada paso, la herramienta o medios a emplear y los parámetros a lograr y una estimación del tiempo de ejecución.

3.3.5 Métodos de programación y control.

Los métodos de diagnóstico, ejecución y prueba, necesitan estar respaldados por buenos métodos de asignación de tareas a las gentes y de recursos, tomando en cuenta prioridades, capacidades, especialidades, etc.

Asimismo, se requieren buenos métodos de verificación de los avances y los tropiezos, que permitan identificar dónde y cuando reforzar, agilizar, promover, comunicar, obtener, etc., a fin de dar continuidad y fluidez a la acción en todos los frentes en que se desarrolla, pero particularmente en aquellas tareas que constituyen la trayectoria crítica.

También es sabido por todos, que resulta nefasto tan

to el sobrecargar, como subcargar o fraccionar el trabajo de una persona. Así mismo, a veces el volumen de trabajo que demandan las tareas, es superior a lo esperado y es mejor no iniciar una tarea a la cuál no se le podría dar continuidad, si su volumen es demasiado para nuestra disponibilidad.

Por otra parte, cuando la tasa de llegadas en un momento dado rebasa la disponibilidad de recursos para prestar a atención y se forman colas de espera en cada puesto de trabajo, entonces es necesario jerarquizar éstas atenciones de acuerdo a un criterio preestablecido.

El criterio más simple es: "primeras llegadas, primeras atenciones y no suspensiones", pero esto frecuentemente no es lo más conveniente desde el punto de vista global de la empresa.

Algunos factores que se pueden contemplar y que resultan convenientes adoptar en la forma de un sistema de índices de jerarquía serían los siguientes:

Trascendencia del paro en la planta.

Trascendencia del paro en la línea.

Efecto del paro en el producto.

Efecto del paro en los materiales y el equipo.

Efecto del paro en la seguridad.

Efecto del paro en el cumplimiento de compromisos.

Efecto del paro en la imagen.

Otros.

3.3.6 Información Técnica General y Especializada.

En muchas ocasiones se requiere ejecutar tareas de muy diversa índole tecnológica y el personal de mantenimiento no tiene los conocimientos suficientes para realizar dicho trabajo.

Para ayudarse a hacer frente a éste hecho, debe de contarse con amplia información que cubra los campos tecnológicos y administrativos, enriquecida con catálogos comerciales actualizados y folletos especializados sobre selección, aplicación y cuidados de partes, componentes, etc., que editan los mismos fabricantes.

El tiempo de realización de las reparaciones, en mucho depende de la cantidad disponible de información con que se cuente y de lo accesible que sea ésta en el momento en el que se le necesita.

3.3.7 Herramientación General y Especializada

La organización en este punto reclama de trabajo cu
dado en 3 áreas:

- 1.- Dotación general
- 2.- Dotación por máquina
- 3.- Dotación por puesto

Trabajo que debe realizarse en 2 fases:

La fase inicial y,

La fase de continuidad

La fase inicial comprende el arranque de las opera-
ciones. Aquí se dotan las herramientas por el puesto que desem-
peña cada persona, haciendo hincapié en que la dotación de he-
rramienta es al puesto y no a la persona que ocupa el puesto,
pero que la custodia de esa herramienta la hace la persona y -
responde por ellas.

En la fase de continuidad se cuidan 2 aspectos:

- 1.- La conservación de lo dotado

Aquí se hacen revisiones periódicas de lo dotado, pa-
ra que el responsable haga un reporte de la pérdida o deterioro

de la herramienta, con descuento en la proporción de la responsabilidad encontrada.

2.- El reanálisis de las dotaciones

En esta fase se ve la conveniencia de contar con alguna herramienta o instrumento el cuál no se tiene, sin antes tomar en cuenta algunos factores que podrían ser los siguientes:

- Con qué frecuencia se utilizaría
- Cuál sería la relación costo-beneficio de adquirirla
- Cuál sería el ahorro-perjuicio de no hacerlo
- Qué daños a sufrido el equipo por ello

Por otro lado, se podría tomar en cuenta lo siguiente:

- Existe alguna herramienta de uso tan infrecuente que se pueda prescindir de ella

3.3.8 Medios de maniobra y transporte

Para un tiempo de reparación corto y seguro, debe --

contarse con los medios de maniobra y transporte adecuados. Estos medios deben de identificarse con anticipación, evitando en lo posible las improvisaciones de último minuto.

Sin embargo, como no todas las contingencias se pueden prever, deben de aprovecharse las soluciones que día a día se dan, para enriquecer el acervo de medios y métodos de trabajo.

En ocasiones se tiene la incertidumbre de decidir si una determinada maniobra o acarreo, se hará con el trabajo manual a base de esfuerzo por parte del mismo personal o por la compra o renta de medios que faciliten o expediten dicha maniobra. Para decidir se tendrán que ver algunos puntos como:

- 1.- Ver la conveniencia de hacer dicha compra o renta.
- 2.- Ver si es rentable la inversión.
- 3.- Ver si se justifica el gasto.

En ocasiones que la respuesta no es tan obvia y debe hacerse un bosquejo de la información disponible, sobre los hechos relevantes y una vez así encontrar la respuesta.

3.3.9 Instrumentación.

Siempre que se encuentre con que cierta tarea está - resultando en retrabajos, cabe la posibilidad de que se deba a una inadecuada instrumentación. A veces sin el instrumento - adecuado es casi imposible realizar ciertas tareas, pero muchas veces esta carencia se deja ver en la baja calidad y demora de los trabajos y por consiguiente retrabajos inoportunos.

3.3.10 Accesibilidad y espacio disponible.

En muchas ocasiones al personal de mantenimiento se le demanda realizar ciertos trabajos, cuyo acceso a los mismos no es fácil, el espacio es reducido y las maniobras se dificultan.

Muchas de estas verdaderas trampas se evitan con un diseño cuidadoso, otras con una instalación adecuada, es razón por la cual mantenimiento debe opinar y recomendar al diseñar, especificar, comprar e instalar.

3.3.11 Normalización de equipo y maquinaria.

Si hemos de contar en mantenimiento con gente exper-

ta (experto es aquél que conoce los riesgos y sabe evitarlos) para lograr una alta mantenibilidad, debe limitarse la variedad de equipos por atender.

Sin embargo, como quiera que sea, el cambio es inevitable, se debe controlar, dosificar, aprender a comparar para, en su momento, recomendar y especificar y, en su oportunidad, substituir.

La tendencia para mejorar la mantenibilidad sería:

- 1.- Reducir el número de marcas y modelos hacia la que mejor se comprende en nuestro medio.
- 2.- Encausarse hacia lo que está mejor soportado en el país y en la región.

3.3.12 Adecuación de políticas de mantenimiento.

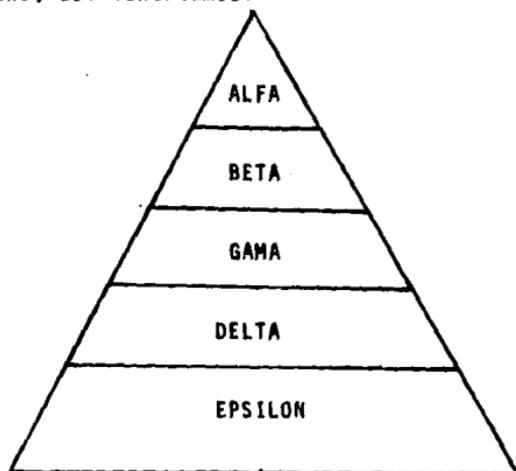
En las políticas de mantenimiento que influyen más - en la mantenibilidad está la del establecimiento del nivel de conservación.

De manera general se puede establecer un nivel máximo en el cual se deben de cuidar más de cerca los detalles, de

mandándose más destreza, esmero, tiempo, etc., y se debe realizar con una mayor frecuencia de aplicación con el fin de sostenerlo; es decir no pasar por alto ningún detalle.

De este nivel hacia abajo se abandonan los detalles, llegando al último nivel establecido, en el cual se atiende únicamente lo indispensable para sobrevivir al día.

En conclusión podemos establecer una pirámide de niveles que van de acuerdo a las actividades que se pueden realizar en cada uno; así tendríamos:



ALFA: En éste nivel de conservación se cuidan más de cerca los detalles, aplicándose en alto grado minuciosidad, tiempo, esmero, etc., teniendo una mayor frecuencia de aplicación.

BETA: Aquí no se demanda tanta destreza y aplicación del mantenimiento con tanta frecuencia como en el anterior.

GAMA: Tiene como fines principales el evitar enfermedades de trabajo y accidentes leves.

DELTA: El evitar paros en la producción es su meta a realizar.

EPSILON: Atiende exclusivamente lo indispensable para sobrevivir al día y evitar riesgos de accidentes graves.

Se debe establecer desde el inicio el nivel de conservación que se desea en cada área, que debe respaldar la política adoptada, llevando una lista y programa de servicios que le corresponda.

Otra política de mantenimiento que va a afectar a la mantenibilidad es la del nivel de obsolescencia y reposición o sea, reparar o reponer.

Otra más es la de hacer o comprar hecho, relacionada con la de hacer en planta o dar a contrato.

3.3.13 Disponibilidad de refacciones y - materiales.

El tiempo que se toma para efectuar una reparación y el tiempo consumido para lograr las refacciones o materiales - necesarios es, el más impredecible, dañando los programas de - producción.

Para evitar estos problemas, el mejor camino es el - preventivo: evitar comprar máquinas con componentes especiales o de procedencia extraña donde no sea difícil conseguir las - refacciones genuinas.

Además al comprar una máquina nueva es recomendable comprar un lote de refacciones de ésta con la finalidad de reducir los costos futuros de su compra y por ende reducir los - tiempos consumidos en encontrar dichas refacciones (siendo éstas de fabricación especial).

3.3.14 Los parámetros de la mantenibilidad.

Como se veía en el punto 3.2 de este capítulo en el que se trataba el caso más simple de mantenibilidad de una máquina conocida para una falla específica, en el cual estadísti

camente se determina el valor promedio y la desviación estándar de la duración del trabajo de reparación, bajo condiciones bien esclarecidas y mediante el empleo de un listado bien definido de recursos.

Cuando se cuenta con este tipo de información para todas las clases de fallas que se han presentado en un plazo dado -dos o tres años es un término aceptable- y además la incidencia con que cada una se presenta tal como se aprecia en la tabla II, se puede estimar la mantenibilidad total de la máquina como conjunto, lo cual resulta de mayor utilidad.

Es común esperar una distribución exponencial de estas cifras. En otras palabras, habrá muchos servicios de corta duración y muy pocos de larga duración, tal como expresa la ecuación fundamental de esta distribución:

$$n = N e^{-t/D}$$

en donde n es el número de servicios de duración t y D es el tiempo promedio de reparación:

$$\bar{D} = \frac{\sum \mu n}{N}$$

en la Distribución Exponencial, el número de eventos n que suceden con duración 0 a t se obtiene por la ecuación:

$$n = N (1 - e^{-t/\bar{D}})$$

resultando que el 63% de las reparaciones tienen una duración igual o menor que el promedio, tal como se ilustra en la Figura 3.

En la misma forma, el 90% de los casos tienen una duración de $2.3 \bar{D}$ o menor, tal como se muestra en la Figura 10.

Del mismo modo, el 95% de los casos tienen una duración de $3 \bar{D}$ o menor, como se ilustra en la misma figura.

TABLA II
MANTENIBILIDAD DE LA MAQUINA 1.100

TIPO DE FALLA	MANTENIBILIDAD %	MARGEN EN MIN.	NUMERO DE CASOS n	PROBABILIDAD	PROHEDIO
M	68	690 - 760	3	0.0294	725
N	50	2500	1	0.0098	2500
O	50	1500 - 1800	2	0.0196	1650
P	68	190 - 430	4	0.0392	310
Q	68	350 - 390	6	0.0588	370
R	68	480 - 530	4	0.0392	505
S	68	200 - 260	10	0.098	230
T	96	21 - 29	42	0.4118	25
U	68	103 - 127	30	0.2941	115
TOTAL:			N = 102	1.000	$\bar{D}=198.5155$

En el ejemplo de la Tabla II resulta que la mantenibilidad de la máquina, sería de 63% dentro de 200 min. o bien de 90% dentro de 460 min. y también de 95% dentro de 600 min. o 10 hrs.

En este caso el margen de 600 min. comprenderá todos los casos siguientes:

42 de 25 min.
 30 de 115 min.
 10 de 230 min.
 4 de 310 min.
 6 de 370 min.
4 de 505 min.

96 casos de 102 que se han
 presentado.

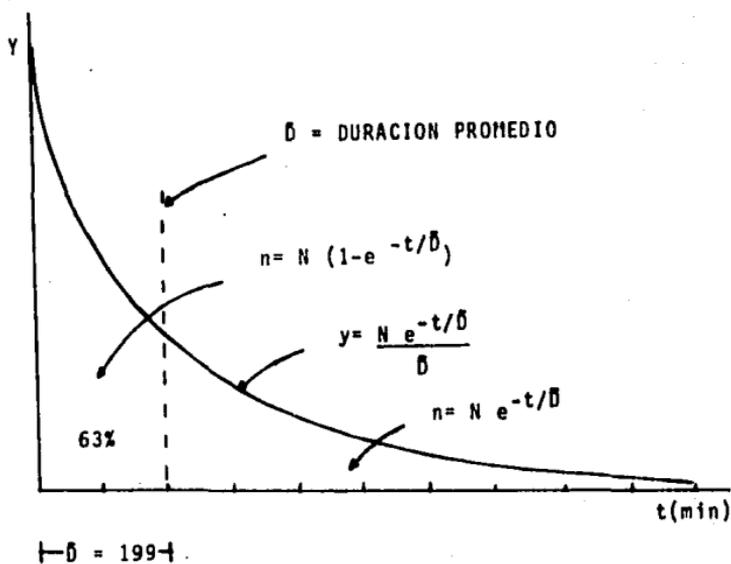


FIGURA 3

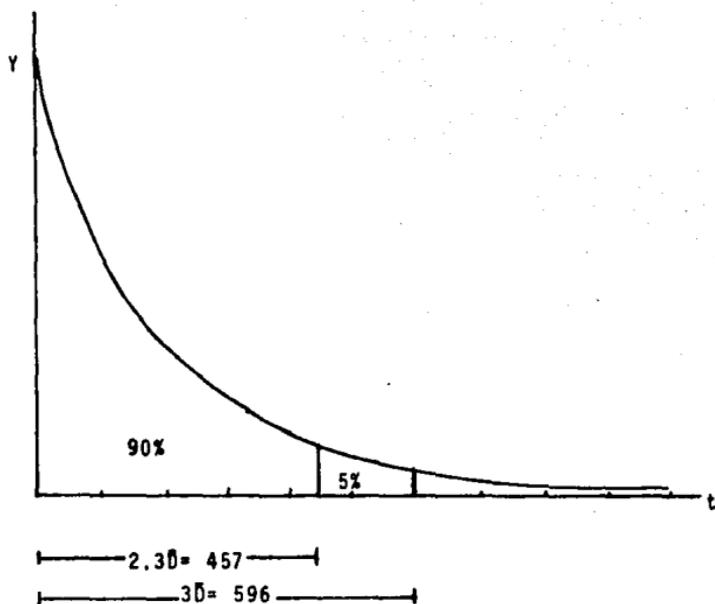


FIGURA 4

En la misma forma se puede estimar la mantenibilidad de un taller de M máquinas cuando conocemos el tiempo promedio D de reparación de cada una y el número de veces V que incide - cada una de ellas en el total V , tal como se ilustra en la tabla III.

TABLA III MANTENIBILIDAD DEL TALLER

MAQUINA No.	PROMEDIO EN MINUTOS \bar{D}	NUMERO DE CASOS V	PROBABILIDAD
1.100	200	102	0.0586
1.101	240	75	0.0431
1.102	180	65	0.0374
1.103	120	170	0.0977
1.104	70	190	0.1092
1.105	310	3	0.0017
1.106	250	80	0.0459
1.107	390	30	0.0172
1.108	65	130	0.0747
1.109	150	44	0.0252
1.110	290	28	0.0160
1.111	85	180	0.1034
1.112	115	90	0.0517
1.113	120	5	0.0028
1.114	170	20	0.0114
1.115	130	83	0.0477
1.116	100	3	0.0045
1.117	80	15	0.0086
1.118	40	42	0.0241
1.119	150	140	0.0804
1.120	45	240	0.1379
TOTAL:	$\bar{M} = 165$	$U = 1740$	1.0000

En este ejemplo la mantenibilidad del taller sería - 63% dentro de 165 min., o bien, 90% dentro de 380 min.

3.3.15 Optimización del número de personas de servicio.

Cuando el personal de servicio de mantenimiento es demasiado pequeño en comparación con el volumen de trabajo a realizar, las colas de espera por atención se alargan, se malterminan las labores, se posponen reparaciones que degeneran en males mayores, se propicia maquinaria con demasiado desgaste acumulado y ésto trae como consecuencia el incumplimiento de compromisos.

Cuando el número de personal es excesivo, en comparación con la demanda real, hay ocio. Comienza a haber envíos de trabajo, así como dificultad de comunicación y control e implica sobrecarga a la supervisión del personal.

La determinación del tamaño óptimo de personal depende de los siguientes factores dinámicos:

- Tasa de llegada de trabajos
- Duración de los trabajos.
- Disponibilidad requerida para producción.

y por otro lado, depende del equilibrio entre el costo de dar el servicio y el costo de no darlo.

La duración de los trabajos depende como ya se ha visto, de los factores de mantenibilidad y su obtención se logra en base a estadísticas previamente analizadas.

C A P I T U L O 4**TECNICAS DE REEMPLAZO Y MUESTREO**

CAPITULO 4

TECNICAS DE REEMPLAZO Y MUESTREO.

4.1 Tipos de reemplazo

La selección, el uso, la conservación, etc., son problemas importantes en las fábricas y empresas.

Para la selección y el reemplazo de maquinaria, se - debe tener en cuenta algunas consideraciones como son:

- 1.- Aspectos técnicos y
- 2.- Aspectos económicos

Estos aspectos implican que se planteen las siguientes preguntas:

¿ La maquinaria elegida desarrollará el trabajo necesario de una mejor manera, con el grado de exactitud exigido y con la capacidad necesaria ?

¿ Estará justificada económicamente por los ahorros que se tengan en costo, tiempo, calidad

de trabajo, mano de obra, materiales, métodos de trabajo y con un mejor control de producción ?

Debido a la gran variedad de productos y a los diferentes tipos de servicio que reciben las máquinas, existen diferencias, en la naturaleza y capacidad de la maquinaria implantada, desde el punto de vista técnico.

Algunos factores que se toman en cuenta para reemplazar la maquinaria de trabajo son:

- 1.- Aumentar la capacidad productiva
- 2.- Reducir los costos
- 3.- Reemplazar la maquinaria obsoleta
- 4.- Reemplazar la maquinaria averiada
- 5.- Buscar un aumento de producción
- 6.- Buscar semiautomatizar
- 7.- Buscar mejorar el control de calidad, etc.

Antes de reemplazar algún tipo de maquinaria es necesario seguir un programa bien definido para evitar problemas posteriores, y analizar si ésta cumple con algunos factores tanto técnicos como económicos.

- Por baja capacidad
- Por un costo excesivo de mantenimiento
- Por decadencia de su eficiencia
- Bajo la vida de servicio desigual

4.1.1 Reemplazo por obsolescencia.

Este tipo de reemplazo se presenta cuando las máquinas ya no cumplen con los objetivos y son constantemente objeto de estudios por los avances tecnológicos. Para evitar un rediseño en las máquinas existentes que resulte costoso, se busca en éste tipo de reemplazo tener mayor eficiencia, mejor calidad, mayor producción, evitar costos de producción.

La obsolescencia se define como la disminución de la eficiencia del equipo cuando todavía está bueno, en comparación con la eficiencia que realmente pueda obtenerse.

La obsolescencia de una máquina o equipo da como resultado el aumento de sus costos, en comparación a la maquinaria disponible actual.

Algunos factores que determinan la obsolescencia son:

TECNICOS

- 1.- ¿Cuál es el desgaste de la maquinaria actual?
- 2.- ¿Es baja la capacidad de la maquinaria?
- 3.- ¿Es la maquinaria óptima para la clase y el tamaño del trabajo?
- 4.- ¿Tiene la capacidad requerida?

ECONOMICOS

- 1.- ¿Tienen un costo elevado las reparaciones de la maquinaria existente?
- 2.- ¿Se obtiene mayor producción con la nueva - maquinaria?
- 3.- ¿Es costeable realizar algunas modificaciones en la maquinaria existente para realizar los actuales y nuevos trabajos?
- 4.- ¿Se reduce el desperdicio de los materiales con la nueva maquinaria?

Estos son algunos tipos de reemplazo:

- Por obsolescencia
- Por deterioro

- Mayor consumo de combustible y energía eléctrica debido a la menor eficiencia en su diseño.
- Retraso en la producción debido a las velocidades más bajas.
- Costos más elevados de mantenimiento y reparaciones a causa de la planeación inferior del diseño.
- Menor seguridad debido a los cálculos del diseño.
- Mayor cantidad de desperdicios en la producción.
- Mano de obra y supervisión elevada debido al diseño.
- Mayor área de trabajo por el diseño menos compacto.

Con un mejor diseño se reducirá la mano de obra, la supervisión, los desperdicios y el área de trabajo.

4.1.2 Reemplazo por deterioro

Si una máquina por el trabajo que realiza sufre alguna falla y la reparación no es costeable para que se use la ma

quinaria como es debido, lo que se necesita, es que la máquina se reemplaze por otra.

El deterioro comprende la disminución de la eficiencia de un equipo en comparación con la eficiencia cuando el equipo era nuevo.

Cuando se presenta el deterioro existen algunos factores que aumentan el costo, como lo son:

- Aumento del consumo de combustibles y de energía eléctrica, como consecuencia de la disminución de la eficiencia de la máquina.
- Incremento en el mantenimiento y en reparaciones por fallas que traen como consecuencia el aumento en el tiempo ocioso de la mano de obra de producción, ocasionado por las constantes interrupciones debido a estas fallas.
- Mayor mano de obra a causa de una baja producción.
- Un mayor costo de inspección debido a la pérdida de eficiencia y seguridad.

4.1.3 Reemplazo por baja capacidad

Este tipo de reemplazamiento surge cuando en la industria una máquina o la maquinaria en general no satisface la demanda requerida por ser insuficiente la capacidad de la maquinaria existente, de ahí que se requiera de maquinaria con mayor capacidad, que cumpla con la demanda requerida. Este tipo de reemplazo plantea algunas alternativas: como:

- Adquirir una o varias máquinas similares a las actuales.
- Mejorar su sistema para aumentar su capacidad.
- Adquirir una maquinaria de mayor capacidad.

4.1.4 Reemplazo por un costo excesivo de mantenimiento

Se presenta cuando la maquinaria sufre fallas continuas, teniendo que ser reparada y dándole un mantenimiento con mayor frecuencia, siendo que algunos elementos se deterioran mas rapidamente. Cuando estos elementos son piezas necesarias que no son vitales en el funcionamiento de la máquina, los costos no son elevados, de ahí que las reparaciones son menores. En el caso que las fallas se presenten en partes vitales y sus

costos fueran mayores, afectarían el costo del funcionamiento de la maquinaria, causando ésto un excesivo mantenimiento y - por consiguiente un aumento considerable del porcentaje en el costo de mantenimiento, de ahí que se propicie el reemplazo - de la máquina.

4.1.5 Reemplazo por decadencia de su eficiencia

Este reemplazamiento se presenta cuando la maquinaria por el uso, sale de un rango confiable de operación y trae como consecuencia gastos no previstos en algún "ajuste", siendo que en ocasiones éstos son elevados, repercutiendo en una elevación de los costos en la operación de la máquina. Los costos de mantenimiento que son efectuados por una mayor frecuencia en las reparaciones, influye directamente en la decisión de un reem--plazo de la maquinaria.

4.1.6 Reemplazo bajo la vida de servicio desigual.

Este reemplazo se efectúa cuando la vida de servicio es desigual y a un costo que va en ascenso cuando el equipo se deteriora.

El reemplazo depende del costo de un nuevo equipo y el costo de mantener la eficiencia de la máquina en estudio. La base para este reemplazamiento será una simple comparación económica del costo de mantenimiento, con el costo de reemplazo.

4.2 Técnicas de Muestreo.

Existen diversas técnicas de muestreo, todas ellas - con la finalidad de extraer una muestra a partir de una población dada.

Aquí se mencionarán solo algunas, con el fin de dar una idea general de su aplicación en el presente trabajo.

4.2.1 Muestreo Aleatorio Simple.

De todos los métodos que se utilizan en el muestreo probabilístico, el muestreo aleatorio simple es el más sencillo y en el que se basan todos los demás.

Una muestra de n elementos de una población es aleatoria cuando la muestra se selecciona de tal modo que cada posible conjunto de n elementos tiene la misma probabilidad de ser

extraído. Siendo N de tamaño bastante grande, el número de esos posibles conjuntos es, naturalmente muy elevado, Ese número puede ser calculado mediante la siguiente expresión:

$$\frac{N!}{n! (N-n)!}$$

Si los N elementos de una población total se numeran en serie de 1 a N , se puede extraer una muestra aleatoria más fácilmente y confiable mediante la utilización de tablas de números aleatorios ya elaboradas.

4.2.2 Muestreo Aleatorio con y sin reemplazamiento.

La extracción de un elemento integrante de una muestra puede ser seleccionado de dos maneras: una es su selección una y otra vez conociéndose con el nombre de muestreo aleatorio con reemplazo. La otra es cuando solamente puede seleccionarse una vez, recibiendo el nombre de muestreo sin reemplazamiento.

Una población finita muestreada con reemplazamiento puede considerarse infinita, ya que pueden extraerse muestras

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

de cualquier tamaño sin agotar la población.

4.2.3 Distribución Muestral de Medias.

Si Y_i ($i=1,2,\dots,N$) representa la variable que se estudia, la desviación estándar, σ , de la población está definida por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{N - 1}}$$

\bar{Y} es la media de la población de las Y_i .

Se designa \bar{y} como la media de la muestra.

En una muestra aleatoria simple de tamaño n , el error estándar de \bar{y} es:

$$\sigma_{\bar{y}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{1 - \theta}$$

Siendo $\theta = n/N$, es la fracción de muestreo.

$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ es el error estándar de una media de muestras (S)

$1 - \theta$ es la corrección de población finita.

Para el error estándar "estimado" de la media de muestra, se tiene:

$$s\bar{y} = \frac{s}{\sqrt{n}} \sqrt{(1-\theta)}$$

Siendo S la desviación estándar de la muestra calculada.

Para estimar el total de población de la variable en estudio, la estimada es $N\bar{y}$ y su error estándar estimado es:

$$SN\bar{y} = \frac{NS}{\sqrt{n}} \sqrt{(1-\theta)}$$

Para una población finita, así como infinita se tiene:

$$\bar{y}_i = \bar{y}$$

4.2.4 Distribución muestral de proporciones.

En muestreo aleatorio simple por atributos, donde ca

da miembro de la muestra está clasificado en una de dos clases, se tiene:

$$S_p = \sqrt{\frac{pq}{n}} \sqrt{(1-\theta)}$$

para una población finita.

Y la media está dada por:

$$\mu_p = p$$

La fórmula para S_p , es válida solo si cada unidad de muestreo está clasificada como entero en una de las dos clases.

Tamaño de la muestra:

Por razones prácticas y lógicas, la información que nos da la muestra será de gran utilidad si permite llegar a una conclusión. Tomando en cuenta que se va a generalizar a partir de una muestra, la conclusión alcanzada será incierta, insegura para cualquier suceso, de ahí que sería necesario -- hallar alguna medida para el grado de incertidumbre que lleva consigo.

Esta medida puede ser determinada a partir de un intervalo de confianza cuya finalidad es conocer el grado de certeza que implican estos límites dependiendo de que la media se encuentre o no dentro de los límites establecidos.

Así se tiene que:

$$\bar{y} \pm t \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

\bar{y} es la media muestral

t es el límite de confianza que se utilice (valor encontrado en tablas de áreas bajo la curva normal)

S es la desviación estándar muestral

n es el número de elementos

La determinación del número de observaciones o tamaño de la muestra se obtiene a partir de:

$$n = (ts/K\bar{y})^2$$

Donde:

K es el porcentaje de error admisible o permitido en la media

muestral.

4.2.5 Muestreo Sistemático.

Si los miembros de una población que se va a muestrear están dispuestos en orden, el orden correspondiente a los números consecutivos, se puede utilizar este tipo de muestreo.

Si una muestra de tamaño adecuado, puede obtenerse tomando cada décima unidad de la población, una de las diez primeras unidades así ordenadas se elige al azar. La muestra se completa seleccionando cada décima unidad del resto de la lista. Si la primera unidad acumulada es la cuarta, la siguiente será la décimo cuarta, la vigésimo cuarta, la trigésima cuarta, etc.

A esta forma de selección se le llama muestreo sistemático.

Los errores estándar de las medidas que se obtienen de la muestra sistemática, serán los mismos, por término medio, que los obtenidos de muestras aleatorias simples.

Pero si el orden en que se disponen los elementos de la población no es aleatorio, la muestra sistemática no será puramente aleatoria. Los estratos diferirán entre sí.

En las condiciones descritas, una muestra que contenga una unidad de cada estrato, será preferible a una muestra aleatoria simple.

4.2.6 Muestreo Aleatorio Estratificado.

En este tipo de muestreo, la población se divide en partes, denominadas estratos. De cada estrato se toma una muestra, del tamaño especificado.

Lo que se busca con la estratificación es homogeneidad "dentro" de las clases o estratos y heterogeneidad "entre" las mismas, para obtener mayor precisión en relación al muestreo aleatorio simple.

Se utiliza como estimada de la media poblacional:

$$\bar{y}_{st} = \frac{\sum N_h \bar{y}_h}{N}$$

Donde:

N_h es el número total de unidades de muestreo en el estrato h .

\bar{y}_h es la media de muestra en el estrato h .

$N = \sum N_h$ es el tamaño de la población

O también:

$$\bar{y}_{st} = \frac{1}{N} \sum N_h \bar{y}_h = \sum W_h \bar{y}_h$$

Donde:

$W_h = N_h/N$ es el peso relativo adjunto a cada estrato.

La media aritmética de las observaciones de muestra ya no es la estimada, en el caso de utilizar la asignación proporcional como procedimiento para determinar los tamaños muestrales.

Aquí lo que se hace es tener la misma fracción de muestreo para cada estrato, es decir:

$$f_{h1} = f_{h2} = f_{h3}$$

$$\frac{n_1}{N_1} = \frac{n_2}{N_2} = \dots = \frac{n_h}{N_h} = \frac{n}{N}$$

De aquí se desprende que:

$$W_h = \frac{N_h}{N} = \frac{n_h}{n}$$

De donde:

$$\bar{y}_{st} = \sum W_h \bar{y}_h = \frac{\sum n_h \bar{y}_h}{n} = \bar{y}$$

puesto que $\sum n_h \bar{y}_h$ es el total de todas las observaciones de la muestra.

Con asignación proporcional se evita el cálculo de la media ponderada. La muestra se pondera por sí sola.

El error estándar estimado de \bar{y}_{st} es:

$$s(\bar{y}_{st}) = \sqrt{\frac{\sum W_h^2 s_h^2}{n_h}}$$

donde S_h^2 es la varianza de muestra en el estrato h-ésimo, - es decir:

$$S_h^2 = \frac{\sum (Y_{hi} - \bar{y}_h)^2}{n_h - 1}$$

donde Y_{hi} es el i-ésimo miembro de la muestra del h-ésimo estrato.

Esta fórmula para el error estándar de \bar{y}_{st} supone que se utiliza el muestreo aleatorio simple dentro de cada estrato, y no incluye la corrección de población finita. Si las fracciones de muestreo ϕ_h exceden el 10% en algunos estratos, entonces se utiliza la fórmula más general:

$$S(\bar{y}_{st}) = \sqrt{\sum \frac{W_h^2 S_h^2 (1 - \phi_h)}{n_h}}$$

Con la asignación proporcional, las fracciones de muestreo ϕ_h son todas iguales y la fórmula general se simplifica a:

$$S(\bar{y}_{st}) = \sqrt{\frac{\sum W_h S_h^2}{n}} \sqrt{1 - \phi}$$

Si, además, las varianzas de población son las mismas en todos los estratos, se simplifica a:

$$S(\bar{y}_{st}) = \frac{S_w}{\sqrt{n}} \sqrt{1-\beta}$$

dónde S_w es la desviación estándar global dentro de estratos en lugar de la desviación estándar de muestra, S .

C A P I T U L O 5**PREDICION DE FALLAS MEDIANTE LA CONFIABILIDAD Y PROGRAMACION
DE INTERVALOS ENTRE MANTENIMIENTOS**

CAPITULO 5

PREDICCIÓN DE FALLAS MEDIANTE LA CONFIABILIDAD Y PROGRAMACION DE INTERVALOS ENTRE MANTENIMIENTOS.

5.1 Fallas de equipos industriales

Uno de los problemas más serios que se presentan para el mantenimiento, provienen del hecho de que el departamento de mantenimiento, recibe la máquina como "paciente" una vez que está en operación y sin embargo los problemas de mantenibilidad y de confiabilidad, se engendran desde el proyecto, fabricación, comercialización, instalación y operación.

La incumbencia del mantenimiento debe empezar desde el proyecto o en su caso desde el proceso de adquisición.

Según la Ley de Pareto, un 80% de fallas en equipos y maquinaria en toda la planta industrial, son causados por un 20% de máquinas. En general dicha ley establece que en los sistemas físicos, un 20% de acción total posible, resulta en un 80% del efecto total, como se ilustra en la figura 1 :

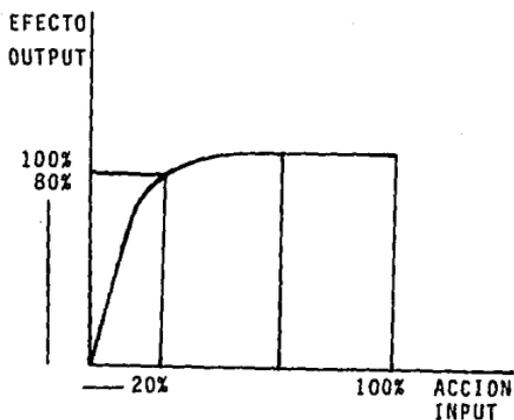


FIG. 1
LEY DE PARETTO

Cabe mencionar, que el factor humano es el que ocupa el alto porcentaje de falla y la baja confiabilidad.

5.1.1 Fallas por diseño inadecuado

En muchas ocasiones, debido al poco desarrollo tecnológico de un equipo comercial, se presentan irracionalidades o fallas que se convierten en problemas de mantenimiento.

Para remediar este problema, y evitar que el manteni

miento, tenga que resolver problemas que no le atañen, se sugiere la integración de este departamento con proyectos y compras, para impedir que entren en operación máquinas con fallas de diseños insipientes.

5.1.2 Fallas de fabricación y control de calidad

El departamento de mantenimiento muchas veces recibe equipos, maquinaria y refacciones con fallas de fabricación y problemas de baja calidad. Aunque existe la posibilidad de reclamarle al proveedor, se recomienda un rechazo antes de la entrada al almacén, mediante una sencilla inspección a cargo de recepción o en su caso por una persona autorizada por mantenimiento, por lo cuál, en muchas industrias el almacén depende del departamento de mantenimiento.

5.1.3 Fallas por instalación incorrecta

Lógicamente la instalación de un equipo o máquina, debería corresponderle al fabricante o a un contratista asignado por el mismo. La práctica de asignar esta tarea al mantenimiento, ayuda a deslindar de la responsabilidad al fabricante. El departamento de mantenimiento debería efectuar un peri-

taje de la calidad de la instalación antes de asumir la responsabilidad sobre la máquina, ya que si acepta una instalación incorrecta, será desfavorable desde el punto de vista técnico-económico, al tratar de corregir las fallas derivadas de esta instalación mal hecha.

5.1.4 Fallas por cambio de régimen de operación

Por falta de planificación y adecuación de los programas de producción, frecuentemente se obliga al equipo o máquina, a trabajar fuera de las especificaciones nominales para las cuáles fué diseñado.

Estas exigencias provienen del área de producción - por lo general y el departamento de mantenimiento se ve forzado para modificar la operación y en ocasiones hacer cambios constructivos y rediseños sobre la marcha de la máquina o equipo.

Si es inevitable esta modificación, el mantenimiento debe disponer de toda la documentación técnica posible.

5.1.5 Fallas por mantenimiento deficiente

La labor de mantenimiento presupone un equipo en operación normal aquel que no tenga las fallas incipientes anteriormente mencionadas. El ingeniero de mantenimiento debe asignar las tareas de supervisión, para no cargar con las fallas de los demás y poderse dedicar a la predicción y prevención de fallas.

5.1.6 Fallas por baja confiabilidad

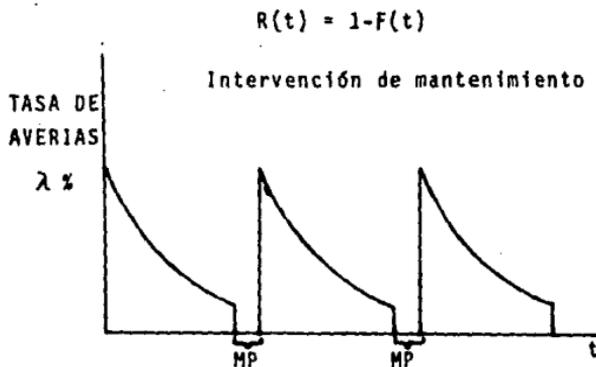
En el caso de adquisición de equipos usados debe existir un método de evaluación mediante la inspección rigurosa con el fin de evitar problemas posteriores de baja confiabilidad.

Se recomienda verificar toda clase de signos vitales tales como: temperatura, vibración, ruido, aceite (color), presión, parámetros eléctricos y hacer una curva de confiabilidad de ser posible en base a la historia clínica por parte del usuario anterior.

5.2 Predicción de fallas mediante la confiabilidad

Para poder comprender mejor este punto es recomendable hacer referencia al Capítulo 2 inciso 2.3

Confiabilidad de un sistema es la probabilidad de sobrevivencia o de que funcione un equipo (maquinaria) correctamente dentro de los límites específicos, al menos durante un cierto periodo de tiempo determinado y en condiciones externas específicas y se obtiene restando la tasa de averías (λ) de 1 (suma de probabilidades de que un sistema falle o no falle =1).



El peligro que se corre en la implantación del mantenimiento preventivo (programado) es que se puede interferir en la vida útil del equipo y después del mantenimiento la tasa de averías aumentará por fallas de juventud. Es evidente de que el preventivo es necesario, pero la clave es determinar -

cuando, para lo cual se debe de involucrar un sistema de chequeos periódicos de signos vitales de la máquina para monitorear en cada momento, en que fase de la vida se encuentra el equipo.

En la confiabilidad se consideran dos tipos de sistemas:

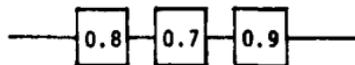
Sistema con elementos en serie:

Es aquél en que todos los componentes están interrelacionados, de tal manera que el sistema falla si cualquiera de los componentes falla. La probabilidad R_s de funcionamiento del sistema, es el producto de todas las R_i (probabilidad de funcionamiento de cada i elemento).

$$R_s = R_1 R_2 \dots R_n$$



EJEMPLO:



$$R_s = (0.8) (0.7) (0.9) = 0.504$$

Sistema con elementos en paralelo:

Es aquél que solo falla, si todos los componentes -

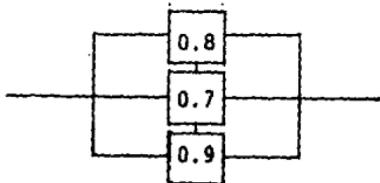
fallan. La probabilidad de que el elemento i falle es, $1-R_i$ y la de que todos los n elementos fallen es, suponiendo independencia,

$$F_p = (1-R_1) (1-R_2) \dots (1-R_n)$$

La probabilidad de que el sistema funcione es:

$$R_p = 1 - F_p = 1 - (1-R_1) (1-R_2) \dots (1-R_n)$$

EJEMPLO:



$$R_p = 1 - (1-0.8) (1-0.7) (1-0.9) = 0.994$$

Cuando n elementos están conectados en paralelo, cada uno con la misma R , se tiene entonces:

$$R_p = 1 - (1-R)^n$$

En la industria de procesos continuos, como en éste caso, se encuentran arreglos en serie de diversos elementos - electromecánicos, como por ejemplo:

En esta industria para que el sistema funcione deben operar: la banda transportadora, el sistema de dosificación - de agregados y la banda transportadora de vaciado final. Si - uno y solo uno de estos elementos falla, fallará toda la línea, por eso se recurre a la muchas veces costosa duplicación de - equipos (stand - by), formando conexiones en paralelo.

Dos elementos de misma probabilidad de falla conecta dos en paralelo tendrán tres veces mayor confiabilidad que los mismos elementos en serie.

5.3 Predicción de fallas y obtención del intervalo - óptimo entre mantenimientos.

En base a los tiempos entre fallas de un equipo estadísticamente distribuidos se llegó a la determinación de aplicar el muestreo aleatorio simple, ya que la maquinaria empleada en esta empresa se encuentra en la etapa más larga de la vida de un sistema, llamada vida útil y que se caracteriza por - tener la tasa de averías más baja y constante de toda su vida.

Las fallas que aquí ocurren son accidentales, o sea, de tipo aleatorio y el muestreo aleatorio simple nos dice que si n elementos de una población se numeran en serie de 1 a n , se puede extraer una muestra aleatoria más fácilmente y confia

ble mediante la utilización de tablas de números aleatorios.

En base a ésto, se puede determinar cuantificando la confiabilidad mediante la probabilidad de ocurrencia y determinar los intervalos óptimos entre dos mantenimientos programados, que a su vez sirven para determinar períodos de diagnóstico del mantenimiento predictivo.

CASO PRACTICO 1. Banda Transportadora.

Para la obtención del intervalo óptimo entre mantenimientos, se realizó una secuencia o algoritmo de pasos a seguir:

- 1.- Tabular datos de tiempos entre fallas TBF (time between failures) de la maquinaria en cuestión. Incluir exclusivamente datos de tiempo entre fallas accidentales y no tiempos utilizados para paros programados.
- 2.- La tabulación debe ser del TBF más corto hacia el más largo, asignándoles números naturales consecutivos ($n = 1, 2, 3, \dots, N$), donde N es el número

total de valores tabulados. Columnas 1 y 2.

- 3.- Calcular la probabilidad de obtener tiempo entre dos fallas, mayor que cada uno de los tabulados y anotar dichos datos en la tercer columna siguiendo la fórmula:

$$R(t) = [(N-n) + 1] / (n+1)$$

n	TBF (hrs.)	R (t)	F (t)
1	810	0.933	0.067
2	1530	0.867	0.133
3	2000	0.800	0.200
4	2470	0.733	0.267
5	3000	0.667	0.333
6	3050	0.600	0.400
7	3230	0.533	0.467
8	3380	0.467	0.533
9	3516	0.400	0.600
10	3708	0.333	0.677
11	3786	0.267	0.733
12	4368	0.200	0.800
13	4400	0.133	0.867
14	4532	0.067	0.933

- 4.- Calcular la probabilidad de fallas en el tiempo (t) o menor, según la fórmula:

$$F(t) = 1 - R(t)$$

y tabular estos datos en la 4a. columna.

- 5.- En la gráfica 1 señale los valores de $R(t)$ contra TBF, obteniendo una serie de puntos dispersados. Ajuste visualmente y aproxime una recta - que represente el comportamiento de dichos puntos. Esta es la curva de la confiabilidad.

- 6.- Donde la curva de la confiabilidad corta a la línea auxiliar B de la gráfica 1, hay que trazar - la línea vertical 1 hasta el valor de la abscisa (TBF), se anota el valor obtenido para cálculos posteriores $\eta = 3500\text{hrs.}$

- 7.- Desde el punto de la gráfica 1 (para $R(t) = 0.01$) y $t = 100$, trazar una línea paralela 2 a la curva de confiabilidad hasta que intersecte al eje vertical o la ordenada ($R(t)$) de éste punto de - intersección, graficar línea-horizontal 3 hasta que corte las tres escalas auxiliares de la gráfica y anote valores.

Para nuestro caso:

$$\beta = 3.00$$

$$\mu/\eta = 0.893$$

$$\alpha/\eta = 0.324$$

A partir de estos valores se puede calcular el tiempo medio entre fallas : $MTBF = (\mu/\eta) \times \eta$

$$MTBF = 0.893 \times 3500 = 3125.5 \text{ Hrs.}$$

8.- Comparar MTBF con la media aritmética, cálculo - de tiempos entre fallas, siguiendo la fórmula:

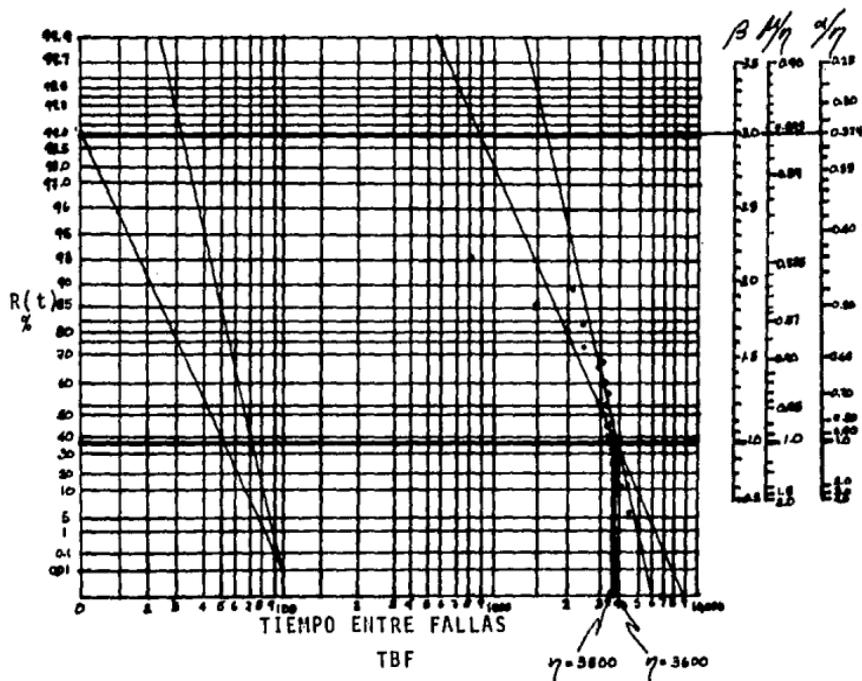
$$\bar{x} = \sum(TBF) / N = 3127 \text{ Hrs.}$$

Nota: Si \bar{x} no difiere de MTBF por más-menos $\pm 20\%$ se considera correcta la interpolación gráfica de la curva de confiabilidad, y si no es así hay que volver a ajustar para que queden iguales.

9.- La ecuación para la curva de confiabilidad definitiva es la función confiabilidad para el equipo en cuestión.

GRAFICA 1

Gráfica para encontrar la
curva de confiabilidad y
valores de β , $M\eta$ y α/η



$$R(t) = e^{-(t/\eta)^{\beta}}$$

$$R(t) = e^{-(t/3500)} \times 3.00$$

$R(t)$ es la probabilidad de que el equipo no falle durante el intervalo de 0 a t .

t = tiempo del intervalo $(0, t)$, y

η y β son parámetros de escala.

10.- Intervalo óptimo entre mantenimientos.

a) MDT1 es el tiempo medio designado de paro en el caso de fallas imprevistas.

b) MDT2 es el tiempo medio designado de paro para el caso de mantenimiento programado.

El modelaje matemático presupone que $MDT1 > MDT2$ y para nuestro caso:

$$\frac{MDT2}{MDT1} = \frac{1}{3}$$

Se plantea la siguiente pregunta: ¿ Existe intervalo óptimo entre dos mantenimientos ? ; en la respuesta estadística predicable, se puede determinar si es preferible pro

gramar el mantenimiento o simplemente reparar la emergencia -- cuando ocurra la falla.

Esta pregunta puede ser determinada usando la gráfica 2. De la gráfica 1 se obtuvo el valor de $\beta = 3.0$. La intersección de éste valor y $MDT2/MDT1 = 0.33$, es un punto arriba de la línea de la gráfica 2 y éste confirma que existe un intervalo óptimo entre mantenimientos. Si la intersección ocurre abajo de la línea, la política debe ser de reparar o reemplazar en caso de falla.

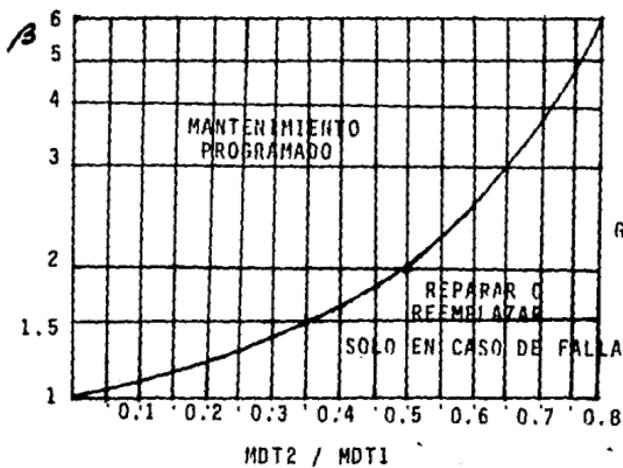
11.- Designar $T(o)$, como el intervalo óptimo entre mantenimientos.

Pasando a la gráfica 3, se tiene que: Para el valor conocido de $MDT2/MDT1$, intersectar la curva y bajar verticalmente hasta cortar la abscisa y de esta manera se obtiene el valor de Z . Para este caso, $Z = -1.0$. Ahora se calcula el valor de \bar{T} de la siguiente manera:

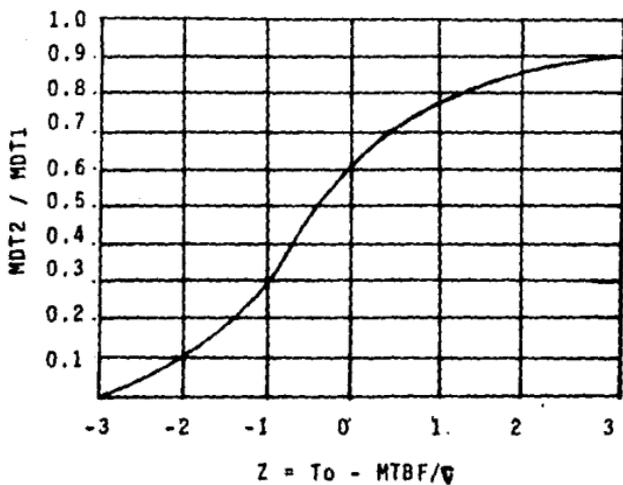
$$\begin{aligned}\bar{T} &= (\alpha / \eta) \eta = 0.324 \times 3500 \\ &= 1134 \text{ hrs.}\end{aligned}$$

Nota: Ese valor también se toma en cuenta en $MDT2$.

Finalmente se despeja el $T(o)$ de la fórmula para Z ,



GRAFICA 2



GRAFICA 3

como sigue:

$$Z = T(o) - MTBF/\bar{q}$$

$$T(o) = Z \bar{q} + MTBF.$$

En este caso se tiene:

$$T(o) = -1.0 \times 1134 + 3125$$

$$T(o) = 1991 \text{ hrs.}$$

Suponiendo que la banda opera continuamente 24 hrs. al día, el tiempo óptimo o entre mantenimientos programados -- sería de 83 días o aproximadamente de 3 meses.

Limitaciones prácticas:

En este caso se ve que para que la banda no falle antes de 1991 hrs., la probabilidad es de 0.83.

Si las condiciones de operación requieren de una confiabilidad de por ejemplo 0.90, el tiempo $T(o)$ de 1991 hrs. optimiza la disponibilidad de la banda, pero no cumple con la -- confiabilidad. Entonces se debe hacer un compromiso entre ambos requerimientos de confiabilidad y disponibilidad. Por ejemplo para este caso escogemos un $T(o) = 1440$ hrs. o sea 2 meses, verificando que la nueva confiabilidad será de 0.93 (93%), claro está que se trata de una solución de tipo económico, ya que a mayor confiabilidad habrá más programados y esto abate la --

disponibilidad del equipo, aparte de incrementar el costo de mantenimiento y ocasionar paros en la producción.

5.4 Caso Práctico 2. Compresor

En este ejemplo se tienen los siguientes tiempos entre fallas (TBF) distribuidos aleatoriamente y representan 8 - paros accidentales, como se muestra en la tabla:

n	TBF (hrs.)	R (t)	F (t)
1	2100	0.888	0.111
2	2480	0.777	0.222
3	3100	0.666	0.333
4	3400	0.555	0.444
5	3520	0.444	0.555
6	3710	0.333	0.666
7	3800	0.222	0.777
8	4200	0.111	0.888

$R(t)$ se calculó siguiendo la fórmula:

$$R(t) = \left[\frac{(N-n) + 1}{n+1} \right]$$

$F(t)$ se calculó siguiendo la fórmula:

$$F(t) = 1 - R(t)$$

Ahora se señalan los valores de $R(t)$ contra TBF y se aproxima una recta que represente el comportamiento de dichos puntos. Como se veía anteriormente esta es la curva de la confiabilidad. El valor que se obtiene es $\eta = 3600$. Al igual que en el caso anterior también se obtienen de las tres escalas -- auxiliares los siguientes valores:

$$\beta = 3.5$$

$$\frac{A}{\eta} = 0.90$$

$$\frac{\alpha}{\eta} = 0.28$$

A partir de estos valores se puede calcular el tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$\text{MTBF} = \left(\frac{4}{\eta} \right) \times \eta = 0.90 \times 3600 = 3240$$

La media aritmética se obtiene a partir de:

$$\bar{x} = \frac{\sum (\text{TBF})}{N} = \frac{26304}{8} = 3288.75$$

Para este ejemplo se tiene:

$$\frac{\text{MDT2}}{\text{MDT1}} = \frac{1}{3}$$

La desviación estandar se calcula de la siguiente -- manera:

$$\sigma = \left(\frac{\alpha}{\eta} \right) \eta = 0.28 \times 3600 = 1008$$

Para el valor conocido de $\text{MDT2}/\text{MDT1}$, se interseca -- con la curva de la gráfica 3 y de ahí se obtiene el valor de Z

$$Z = - 0.50$$

Finalmente se obtiene el tiempo óptimo o entre mantenimientos programados:

$$T(o) = Z \sqrt{V} + MTBF$$

Para este caso en particular se tiene:

$$T(o) = - 0.5 \times 1008 + 3240$$

$$T(o) = 2736 \text{ hrs.}$$

Suponiendo que el compresor trabaja 24 hrs. continuas el tiempo óptimo o entre mantenimientos programados es de aproximadamente 4 meses.

Para este ejemplo se ve que el compresor trabajará con una confiabilidad del 84%, antes de 2736 hrs.

Luego entonces, se debe realizar programa de mantenimiento preventivo.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

El objetivo del presente trabajo de investigación es el de mostrar, que en base a la determinación de los tiempos - entre fallas, de cualquier maquinaria o equipo y conociendo el tiempo de reparación que se emplea en cada trabajo, se pueden elaborar los programas de mantenimiento preventivo necesarios o bien tomar la decisión de reparar o reemplazar y de esta manera, asegurar la disponibilidad de las máquinas.

Si todos y cada uno de los departamentos que constituyen la empresa, contribuyen a la obtención de una utilidad o beneficio, también para el departamento de mantenimiento es objetivo primordial el impulsar y cooperar a la generación de utilidades por la empresa, siendo pues necesario, conservar las instalaciones que intervienen en la producción, en un estado - de eficiencia máxima y a un costo mínimo.

En ocasiones, existe la necesidad de efectuar algunos trabajos lo más rápido posible, para no perder la continuidad del proceso productivo, además de que éstos van a proporcionar a la maquinaria, el grado de confiabilidad necesario.

Ahora bien, una buena planeación del mantenimiento -

preventivo, nos evita el submantener, así como el sobremantener el equipo, además de una importante disminución de los costos.

También la mantenibilidad nos sirve para establecer el tiempo normal de realización de los trabajos con la especificación de los medios y recursos necesarios, siendo una herramienta que nos ayuda a programar más eficazmente al preventivo, conociéndose mejor el lapso que se va a llevar la realización de cada actividad.

Es necesario combinar las opiniones de personas con nociones empíricas, que han dedicado parte de su vida en el -- campo del mantenimiento, con los conocimientos técnicos y ffsjco-matemáticos de gente preparada e involucrar conocimientos - administrativos para lograr una buena programación estadística mente realizada de las actividades.

Las cuestiones de mantenimiento no deben ser dejadas a la suerte o a la memoria de una o varias personas; deben ser designadas específicamente y cumplidas rutinariamente.

Podemos decir finalmente, que la programación de las actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y mantenibilidad tienen la finalidad de asegurar la disponibilidad de -

la maquinaria y conservarla en un estado de eficiencia máxima y a un costo mínimo.

En la actualidad la Industria Mexicana no tiene establecida una metodología bien clara de esta manera de programar y conservar los equipos y más bien es deficiente en esta área, por lo cuál se vislumbra la necesidad de implementar este tipo de sistema, que le ayudaría a tener un mejor control de este aspecto y por consiguiente un ahorro importante, dada la situación actual del país.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Curso Vitesa. "Diagnóstico de averías y mantenimiento predictivo". Impartido en Kelsey Hayes de México. 1985.
- 2.- Dounce Villanueva Enrique. La Administración en el mantenimiento. Editorial Continental, S. A. México, 1982.
- 3.- E. T. Newbrough. Administración de Mantenimiento Industrial. Editorial Diana. México, 1982.
- 4.- Cochran G. William. Métodos Estadísticos. Editorial Continental, S. A. México, 1984.
- 5.- Morrow L. C. Manual de Mantenimiento Industrial. Editorial Continental, S. A. México, 1974.
- 6.- Ullman E. John. Métodos Cuantitativos en Administración. Editorial Mc. Graw-Hill. México, 1980.

- 7.- Maynard B. Harold. Manual de Ingeniería de la Producción Industrial. Editorial Reverté, S. A. México, 1980.