



BIBLIOTECA

CONFIABILIDAD Y MANTENIMIENTO

DE EQUIPOS INDUSTRIALES

TESIS PREVIA A LA OBTENCION

DEL TITULO DE

INGENIERO MECANICO

PRESENTADA POR:

JORGE VICENTE CABEZAS ANDRADE

EGRESADO DE LA ESCUELA SUPERIOR

POLITECNICA DEL LITORAL

GUAYAQUIL, JULIO DE 1.970

620005
G.114

2999 401-00011



BIBLIOTECA

CONFIABILIDAD Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS INDUSTRIALES

AUTOR:

JORGE CABEZAS ANDRADE

CERTIFICADA POR:

Enrique Gaete Hidalgo
ING. ENRIQUE GAETE HIDALGO

DIRECTOR DE TESIS

ACEPTADA POR:

ING. HUGO TOBAR VEGA

**DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA MECANICA DE LA ESCUELA
SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

- DEDICATORIA -

A MIS PADRES Y MAESTROS



BIBLIOTECA

DECLARACION EXPRESA

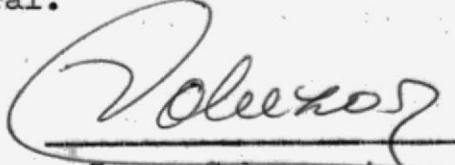
" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta Tesis, corresponden exclusivamente a l Autor".

(Artículo Sexto del Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales).



BIBLIOTECA

El patrimonio intelectual de la presente Tesis de Grado, pertenecen a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.


Jorge Cabezas A.

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento al Ingeniero ENRIQUE GAETE HIDALGO, Director de Tesis, por su valiosa colaboración en la presente tesis de grado, ya que sus conocimientos y consejos me fueron muy útiles.

También mi reconocimiento a las personas que de una u otra manera, ayudaron a feliz término de la misma.



BIBLIOTECA

LISTA DEL CONTENIDO

	Página
Título	i
Carta de Aceptación	ii
Dedicatoria	iii
Declaración Expresa	iv
Agradecimiento	v
Lista del contenido	vi
Introducción	1
CAPITULO I	11
1.1 Empleo de la Estadística y la Probabilidad en el Mantenimiento	11
1.2 Libertad de falla de un componente	23
1.3 Vida media de un componente	30
1.4 Distribución del tiempo entre descompostura	39
1.4.a Para una máquina	41
1.4.b Para varias máquinas	43
1.4.c Minimización del tiempo improductivo	45
1.5 Confiabilidad de Sistemas	48
1.5.a Sistemas en Serie y Paralelo	51
1.5.b Sistemas Redundantes	60
1.6 Mantenimiento de componentes con desgaste	62
1.6.a Políticas de Mantenimiento	63
1.6.b Simulación de prácticas posibles	66
CAPITULO II	68
2.1 Objetivo del Mantenimiento	68
2.2 Tipos de Mantenimiento	69
2.2.a Mantenimiento Progresivo	69
2.2.b Mantenimiento Periódico	71
2.2.c Mantenimiento Técnico	72
2.2.d Mantenimiento Preventivo	73
2.3 Estudio de los costos de Mantenimiento	78
2.4 Organización del servicio de Mantenimiento	89

620 0045
C114

2.4.a.	Organización del Departamento de Mantenimiento	92
2.4.b.	Control del servicio de Mantenimiento	95
2.4.b.i	Ordenes de trabajo de Mantenimiento	103
2.4.b.ii	Control de las órdenes de trabajo	107
2.4.c	Formulación del plan maestro de Mantenimiento	109
2.4.d	Supervisión del Mantenimiento	111
2.4.e	Adiestramiento del Personal	113
CAPITULO III		
	Funcionamiento Económico de un equipo.	119
3.1	Rentabilidad del Equipo	119
3.2	Cuando se debe reemplazar un equipo	125
3.2.a	En función de la vestancia	141
3.2.ii	Aplicando el modelo matemático del punto de equilibrio	142
3.2.b	Posibilidad de prolongar la vida útil de un equipo	146
3.3	Evaluación del servicio de Mantenimiento	147
CAPITULO IV		
	Herramientas y Respuestos en Mantenimiento	149
4.1	Stock de herramientas y repuestos	149
4.1.a	Niveles máximos, mínimos y críticos	150
4.1.b	Almacenamiento, Localización y Momenclatura de Repuestos	158
4.2	Clasificación de las Herramientas desde el punto de vista de su vida útil	161
4.3	Puntos básicos en el control de las herramientas	163
4.4	Prolongación de la vida de las herramientas	166
CAPITULO V		
5.1	Principios de la lubricación	171
5.2	Características de los lubricantes	174
5.3	Tipos de aceite lubricante	178
5.4	Guía básica de lubricantes	179
5.5	Clases de lubricantes	183
5.6	Lubricantes y Clave de colores	193

5.7 Deberes del Ingeniero de Mantenimiento con respecto a la lubricación	192
Apéndice	193
Bibliografía	203



BIBLIOTECA

INTRODUCCION

La Confiabilidad es un campo nuevo en la ingeniería. Se volvió identificable en los primeros años de la década de los años 1.950-1.960. Esto se debió principalmente a que se le pudo dar un valor cuantitativo al concepto de "Confiabilidad en el funcionamiento". Demos ahora el concepto de lo que significa confiabilidad.

Se han dado varias definiciones, pero la más comunmente aceptada es la siguiente: "Confiabilidad en la probabilidad de que un mecanismo realice una función específica durante un tiempo específico, bajo condiciones de operación específicas".(1) Se observa que en esta definición sobresale cuatro elementos principales que son: Probabilidad, función específica, tiempo, condiciones de operación. Estos cuatro factores son muy significativos y cada uno de ellos tiene papel muy importante. Considerémosle uno por uno:

Probabilidad, el primer elemento de la definición de confiabilidad, es un término cuantitativo porque está expresado en forma numérica tal como una factura o como un porcentaje. Significa el número de veces que podemos esperar que un evento ocurra en un número definido de intentos. Por ejemplo, si decimos que la probabilidad de funcionamiento de un aparato es de 0,65 al cabo de 100 horas de trabajo, quiere decir que solamente 65 de cada 100 aparatos funcionarán después de 100 horas de trabajo.

El segundo factor de la definición de confiabilidad es la función específica. Indica que un criterio debe quedar establecido que especifique claramente, describa o defina que es lo que se considera una función específica, de otra manera el valor de la confiabilidad no tendría sentido.

El tercer elemento de la definición es el tiempo, que es uno de los más importantes porque representa una medida del período durante el cual se espera un cierto grado de rendimiento. Es una -

de las partes fundamentales del concepto, porque sin el conocimiento de la probabilidad de que un aparato funcione por un período dado de tiempo, no hay manera de encontrar la probabilidad de completar una misión, o un trabajo que está programado para un tiempo dado.

Las condiciones de operación bajo las cuales esperamos que funcione un equipo es el cuarto elemento de la definición de confiabilidad. Factores típicos de este elemento son temperatura, humedad, aislamiento, vibración, etc. La experiencia indica que cada uno de estos factores tiene un efecto definido sobre la confiabilidad y la performance del equipo. Puede ser que a veces se confunda la confiabilidad con la calidad. Hay que tener en cuenta que la confiabilidad es un aspecto de la calidad. Por definición, calidad es el grado en que una cosa llena ciertos requisitos especificados para él. Es, sin embargo, una falta considerar la confiabilidad como sólo un aspecto de la calidad, ya que todos los demás aspectos de la calidad afectan a la confiabilidad, luego ambos términos se relacionan íntimamente, aunque tiene un carácter único cada uno bajo sus propios standards. No nos equivocamos, pues, al decir que una máquina de alta calidad tiene también una confiabilidad alta.

Si relacionamos la confiabilidad con el mantenimiento, nos daremos cuenta que una de las funciones principales del mantenimiento, quizá la más importante, es mantener en lo posible la confiabilidad de los equipos en el nivel más alto posible. Las maneras como esto puede hacerse serán tratadas detenidamente más adelante.

Una de las mayores dificultades que se presentan en el estudio de la confiabilidad es la manera de hacer su predicción. Es posible hacerlo esto por medio de las matemáticas.

Por lo que hemos explicado hasta aquí, se puede notar que la confiabilidad es una de las restricciones de la ingeniería como -

lo son también peso, capacidad, fuerza, etc., de un equipo.

Existen varios métodos para aumentar o encontrar la confiabilidad; los más usados son aquellos que se detallan a continuación:

REDUNDANCIA.- Por definición, redundancia es la técnica que emplea más de un elemento para asegurar una mejor confiabilidad. Si uno de los elementos falla, existe otro para tomar su lugar y realizar la misma función. Este es un buen sistema que el ingeniero debe tomar en cuenta aunque existe factores, como espacio, costo, peso, etc., que pueden impedir su uso. Se puede aplicar este método desde pequeños componentes hasta equipos completos. Estos quedan en stand-by hasta que se produzca una falla. Será esto explicado más tarde en detalle.

PREDICCIONES DE CONFIABILIDAD.- Para hacer estas predicciones existen varias técnicas especiales así como pruebas exhaustivas. Se reúnen todos los valores de la confiabilidad de las varias partes o componentes y se calcula la confiabilidad total, usando fórmulas y métodos que serán explicados luego.

SIMPLICIDAD.- El aumento de confiabilidad con este sistema es obvio. Mientras menos partes hayan, menores probabilidades de falla existirán. Una consecuencia lógica de esto será que entre dos equipos de las mismas características y que realicen un mismo trabajo, casi siempre será más confiable aquel que tenga un menor número de componentes y sea más simple su operación.

FACILIDAD DE REPARACION.- Si las partes de un equipo son intercambiables y fácilmente reemplazables, las fallas pueden ser reparadas rápidamente, reemplazando las partes defec

tuosas. Cuando estas reparaciones pueden hacerse fácilmente se dice que la máquina tiene una gran facilidad de mantención y reparación, y por lo tanto una elevada disponibilidad. Entendemos por disponibilidad, la probabilidad de que un aparato funcione en un instante específico de tiempo.

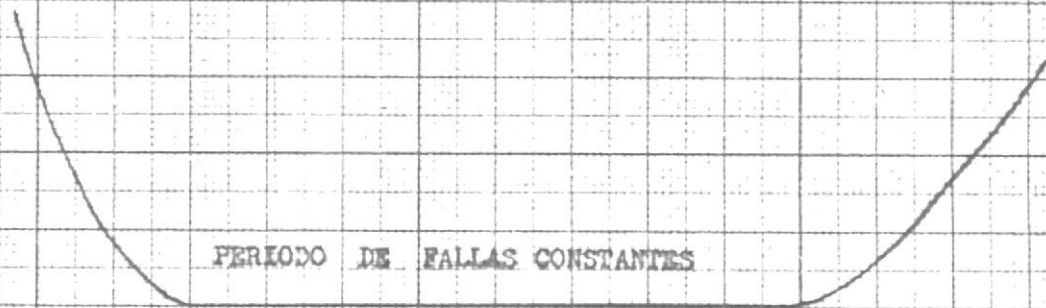
ESTANDARIZACION.- Este método consiste en el uso de piezas estandarizadas y de una confiabilidad probada. Cuando se hace el mantenimiento de un equipo y es necesario reemplazar algunas piezas, se colocan las que hayan sido probadas anteriormente y se sepa con precisión su duración o resistencia. Así tendremos una idea del tiempo en que se presentará la misma falla.

METODO DE ELIMINACION DE FALLAS.- Este método para determinar la confiabilidad se basa en que, por lo general, todo equipo pasa por tres etapas de fallas distintas y separadas. La primera etapa en que se producen las primeras fallas, es llamada también de "Mortalidad infantil", durante la cual el equipo se caracteriza para un número de fallas relativamente alto, debido a malos acoplamientos o ajustamientos en las piezas del equipo. Terminado este período entramos en el segundo que se caracteriza porque existen en él un número constante de fallas por la unidad de tiempo y se puede determinar fácilmente la confiabilidad. Este es el período de vida útil de un equipo. La tercera etapa es la llamada de desgaste, en que la frecuencia de las fallas aumentan rápidamente. Esto es una indicación de que se ha terminado el período de vida útil del equipo y este se ha vuelto viejo y desgastado. Para pasar la primera etapa lo más pronto posible es conveniente hacer funcionar el equipo de noche hasta que todas las fallas iniciales sean eliminadas y los ajustes entre las piezas se haya producido. Cuando esto haya sucedido se considera que la unidad está operable,

CANTIDAD DE FALLAS

PRIMERAS FALLAS
(MORTALIDAD INFANTIL)

FALLAS POR EDAD



PERIODO DE FALLAS CONSTANTES

TIEMPO

FIGURA N° 1 : CURVA DE LAS FALLAS EN UN EQUIPO
CON RELACION AL TIEMPO



BIBLIOTECA

y tiene una confiabilidad conocida.

La gráfica Nº 1, nos da una idea de como es la curva de las fallas con relación al tiempo en que se basa este método. Pondremos la confiabilidad en la ordenada y el tiempo en la abscisa.

PRUEBAS HASTA LA DESTRUCCION.- Es otro de los métodos para encontrar los puntos débiles del equipo, mejorarlos y así aumentar la confiabilidad. Se basa en la asunción que si un aparato está sujeto a esfuerzos anormales fallará prematuramente. Por otra parte, si la pieza resiste, se presume que se podrá confiar en ella cuando esté sujeta a condiciones menos exigentes. Esta teoría puede tener algunos méritos y probablemente es muy efectiva para algunas situaciones.

EQUIPO A CARGA PARCIAL.- Este es otro sistema que se usa para aumentar la confiabilidad de un equipo. Consiste en hacerlo trabajar solamente una fracción de su capacidad total. Este es una práctica que usualmente añade más vida útil al equipo. La desventaja es que se disminuye la eficiencia de la planta.

Estos métodos sirven al encargado del mantenimiento para aumentar o encontrar la confiabilidad de su equipo serán explicados más tarde.

Para ahorrarse muchos de estos trabajos, el ingeniero de mantenimiento puede obtener del fabricante, algunas especificaciones sobre la confiabilidad. Estas deben ser capaces de demostrar que la confiabilidad que se necesita ha sido alcanzada. En general, unas buenas especificaciones sobre la confiabilidad deben proveer medios para medir, evaluar, mejorar y predecir la confiabilidad. Cada especificación a su vez, debe definir el propósito, lugar, métodos, instrumentos, personal, circunstancia y procedimientos envueltos. Los detalles de cada especificación dependen esencialmente de las carac-

terísticas del equipo a ser evaluado y de su importancia en determinar la confiabilidad.

Los siguientes factores sumarían las necesidades de unas buenas especificaciones sobre confiabilidad:

- 1.- Definición sobre el equipo.
- 2.- Información concerniente a la edad del equipo, etapa de producción y modificaciones hechas.
- 3.- Opinión del fabricante de cual es el método **adecuado** para operar el equipo.
- 4.- Bases para medir el período sobre el que se va a medir la confiabilidad.
- 5.- Descripciones de las condiciones en que se debe operar el equipo.
- 6.- Descripción de las condiciones de mantenimiento.
- 7.- Definición del mal funcionamiento y falla del equipo en cuestión
- 8.- Descripción de procedimiento de muestreo y de computación.
- 9.- Otras consideraciones.

Muchas compañías consideran que los programas de confiabilidad son muy caros y hacen poco por encontrar programas de este tipo. Es deber del ingeniero el convencer a los directivos de las ventajas de planes de este tipo. Los siguientes capítulos discutirán - algunos de los métodos, prácticas y técnicas que el ingeniero de confiabilidad puede usar como herramienta para mantener un equipo confiable y en buen estado.

Otra manera de encontrar la confiabilidad por el método - siguiente: ya hemos visto antes lo que es la confiabilidad y en este caso, aplicaremos el llamado índice de confiabilidad; este es un número que nos indica la confiabilidad de un equipo en comparación con otros semejantes. Para determinar este índice existe un proceso que se basa en cinco factores fundamentales para determinarlo. Estos -

son para un índice perfecto de 100

Inspección visual	40
Pruebas y medidas	30
Edad	10
Medio ambiente	10
Ciclo de trabajo	10
TOTAL	100

Vamos a explicar como funcionan estos factores:

INSPECCION VISUAL.- Cuando es hecho por un técnico especializado, este es el factor más importante en la determinación del índice de confiabilidad. El técnico debe saber que observar y como evaluar lo que ve. Rara vez un equipo falla sin dar algun signo o aviso antes de que esto ocurra. El objetivo es detectar e interpretar estos síntomas antes de que la falla ocurra. La frecuencia de estas inspecciones debe ser basada en la experiencia, la vida media del equipo, las recomendaciones del fabricante y también en la edad del equipo. El técnico debe tener dos oportunidades de revisar el equipo. Primero, cuando está en operación bajo carga; segundo, cuando está parcialmente o totalmente desarmado. Un listado de inspecciones debe estar preparado para cuando esto suceda de modo que nos permita saber, después de terminar, cuales son las partes que requieran atención y preparar una estimación de los costos de reparación. Aunque cada equipo es diferente, y requiere de inspecciones diferentes, daremos a continuación una lista de cosas que se debe inspeccionar para llegar al valor de 40 que se ha asignado para la inspección visual.

Toma de fuerza	10
Conversión de energía	10
Transmisión de fuerza	10

Fundaciones, soportes, armaduras	5
Controles, sensores, indicadores	<u>5</u>
TOTAL (máx.)	40

PRUEBAS Y MEDIDAS.- Son las siguientes en importancia al determinar el índice de confiabilidad. Se basa en pruebas y medidas que se le hace al equipo, o al artículo que se está produciendo. Es imposible enumerar las pruebas que se le puede hacer al equipo, pues son distintas y diferentes para cada tipo. Se recomienda así hacer estas pruebas con personal calificado y con experiencia. Hay necesidad también de contar con los aparatos de medida apropiados como son calibradores, micrómetros, voltímetros, amperímetros, aparatos para tomar diagramas de presión y trabajo, manómetros, etc. El encargado de estas inspecciones debe dar valor a los resultados obtenidos hasta un valor máximo de 30 que es el que corresponde a este tipo de inspección.

EDAD DEL EQUIPO.- La edad tiene una influencia decisiva en la confiabilidad de un equipo. Hemos visto ya que la curva que forma el número de fallas según la edad del equipo; al principio el número de fallas es algo elevada hasta que se produzca el ajustamiento necesario del equipo y que se elimine cualquier defecto; luego viene un período de fallas constante hasta que comience a elevarse este número debido a la avanzada edad. Como ejemplo, pongamos la calificación que se podría dar a un componente cualquiera sobre el máximo de 10 asignado a la edad del equipo.

Edad-años	Calificación
0 - 2	6
2 - 12	10

Edad-años	Calificación
13 - 15	6
16 - 20	0 - 3

Vemos aquí se cumple lo explicado anteriormente.

MEDIO AMBIENTE Y CICLO DE TRABAJO.- Son factores importantes a los que se les ha asignado un puntaje de 10 a cada uno. Esto se debe a que los efectos indeseables de estos factores se reflejan más en las inspecciones visuales y en las pruebas y medidas. En lo que se refiere al medio ambiente, las características del equipo ayudan a evitar los problemas debidos a este. Esto hace que el puntaje debido al medio ambiente varíe según la protección que tenga el equipo. Damos a continuación una manera de calificar para un equipo protegido y otro sin las protecciones necesarias.

<u>Medio ambiente</u>	<u>Equipo protegido</u>	<u>Equipo sin proteger</u>
Templado, seco	10	10
Caliente (más de 40 C)	7	8
gas/vapor corrosivo	5	8
húmedo	0-4	3-7
polvo abrasivo	3-5	8
polvo conductor	2-4	7

En lo que se refiere al ciclo de trabajo, las condiciones en que se hace operar un equipo influye en la confiabilidad de este. A continuación damos una manera de calificar según la forma de operar, que puede servir para muchos tipos de equipo.

1º.- Carga:	CALIFICACION
100% de capacidad	1-4
- del 100%	1-4

2º.- Trabajo:	
Continuo	1-4
A intervalos	1-2
3º.- Arranques:	
Pocos (1/hr.)	1-2
Muchos (1/hr.)	0-1

Estas listas no son completas y pueden variar mucho de equipo a equipo. El encargado del mantenimiento deberá hacer sus propias listas y sus propias reglas para la calificación basado en el tipo de maquinaria que está tratando.

Una vez evaluado estos cinco factores se suman y el resultado es el número que llamamos índice de confiabilidad.

Nos hemos podido dar cuenta hasta aquí, que la confiabilidad y su cálculo son materias indispensables para el ingeniero mecánico y para todo aquel que trabaje en la función mantenimiento.

La presente tesis tiene también por objeto indicar qué es la función mantenimiento, las diferentes clases que existen de mantenimiento, planes, costo y maneras de realizarlo; y algunas nociones sobre la operación económica de los equipos.

Servirá esta tesis como guía para el ingeniero y el industrial en la mejor manera de conservar sus equipos en buenas condiciones con una alta confiabilidad y costos bajos.

CAPITULO PRIMERO

1.1.- EMPLEO DE LA ESTADISTICA Y LA PROBABILIDAD EN EL MANTENIMIENTO

La Estadística y la Probabilidad son armas fundamentales para el estudio de la confiabilidad y el mantenimiento. Ambas son materia muy amplias y que están perfectamente explicadas en diferentes textos. Aquí daremos solamente los conceptos que serán necesarios para nuestro estudio. Para la aplicación de la Estadística en el mantenimiento, usaremos los siguientes términos:

TENDENCIA CENTRAL.- Este término indica un valor que es el central, o está en medio del camino entre los dos límites extremos de un grupo de datos, o puede ser también un valor del que se desvían otros valores según ^{un} ~~el~~ orden cualquiera. La manera más fácil de encontrar esta tendencia central, es valiéndose de la media aritmética.

MEDIA ARITMETICA.- Es el promedio de un grupo de valores que se puede encontrar simplemente dividiendo la suma de estos valores para su número total. Por ejemplo: La media aritmética de 8, 10, 20, 4, 5, 1, es 8. El cálculo es:

$$\frac{8+10+20+4+5+1}{6} = 8$$

En términos algebraicos, quedaría:

$$\text{Promedio} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \bar{X}$$

El valor \bar{X} es el que representa generalmente el promedio de los valores de X.

Resumiendo esta fórmula podemos transformarla en:

$$\text{Promedio} = \frac{\sum X}{n} = \bar{X}$$

La letra griega Σ significa suma de todos los valores. La letra n es el número de valores.

LA MEDIANA.- La mediana representa, en un grupo de valores, aquel que se halla situada en el medio. Puede ser o no ser igual a la media aritmética, dependiendo esto si la distribución es simétrica o asimétrica. Por ejemplo, entre los números 5, 10, 8, 6, 11, la media es 8, porque existen dos números mayores 11 y 10, y dos números menores 6 y 5, también 8 es en este caso la media aritmética.

LA MEDIA GEOMETRICA.- Es la n raíz del producto de n números individuales. Por ejemplo: La media geométrica de 27 y 3. Como hay dos valores n , será igual a 2, luego la media geométrica será la raíz cuadrada de 27×3 . Si llamamos G a la media geométrica nos queda:

$$G = \sqrt{27 \times 3} = \sqrt{81} = 9$$

En términos algebraicos será:

$$G = \sqrt[n]{(X_1) (X_2) \dots (X_n)}$$

Cuando definimos la tendencia central, dejamos dicho que existía una dispersión de valores con respecto a un valor central. Para medir esta dispersión empleamos dos términos: el rango y la desviación standard.

EL RANGO.- Es la medida de la dispersión. Se obtiene restando el menor valor del mayor. Entre los números 8, 10, 20, 4, 5, 1, tendríamos:

$$R = 20 - 1 = 19$$

Si asignamos la letra R al rango nos queda:

$$R = X_h - X_1 \quad \text{donde}$$

Xh = valor mayor

Xl = valor menor

LA DESVIACION STANDARD.- Este es uno de los valores más útiles - que encontramos en una distribución. Es una medida más eficiente de como están repartidos los valores. - La desviación standard se define como la raíz cuadrada de la suma de la diferencia de los valores con su promedio elevado al - cuadrado, todo esto dividido para el número de valores. Asigna- remos la letra σ para la desviación standard y nos queda matemá- ticamente:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x-\bar{x})^2}{n}} \quad (1-1)$$

Esta ecuación significa que el promedio de los valores - es restado de cada uno de los valores individuales y elevado al - cuadrado, luego sumado y dividido para el número de valores. La - raíz cuadrada de este valor es la desviación standard. Pongamos un ejemplo sobre este caso. Encontramos la desviación standard para los siguientes valores:

$$X_1 = 20; X_2 = 15; X_3 = 20; X_4 = 25; X_5 = 20$$

Primero encontramos la media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{20+15+20+25+20}{5} = \frac{100}{5} = 20$$

Ahora restamos cada uno de los valores de este promedio y elevamos al cuadrado la diferencia.

$$\begin{array}{rcll} X_1 - \bar{x} & = & 20-20 & = 0 & 0^2 = 0 \\ X_2 - \bar{x} & = & 15-20 & = -5 & (-5)^2 = 25 \\ X_3 - \bar{x} & = & 20-20 & = 0 & 0^2 = 0 \\ X_4 - \bar{x} & = & 25-20 & = 5 & (5)^2 = 25 \\ X_5 - \bar{x} & = & 20-20 & = 0 & 0^2 = 0 \end{array}$$

$$\sum (x-\bar{x})^2 = 50$$

Luego dividimos $\sum (X-\bar{X})^2 = 50$ para $n = 5$ y nos queda

$$\sigma^2 = \frac{\sum (X-\bar{X})}{n} = \frac{10}{5} = 2$$

La desviación standard es la raíz cuadrada de este valor:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X-\bar{X})^2}{n}} = \sqrt{2} = 1,41$$

Una fórmula alternativa para encontrar el valor de la desviación standard es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n} - \bar{X}^2} \quad (1-2)$$

Vamos a dar a continuación un método para simplificar este cálculo cuando los datos son numerosos y alguno de esto se repiten. Usemos para ilustrar esto, los mismos datos que en el ejemplo anterior. Determinamos la frecuencia con que se repite estos datos y las aplicamos a la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (fX^2)}{n} - \frac{(\sum fX)^2}{n}} \quad (1-3)$$

En los datos existen tres valores de 20, 1 de 15 y uno de 25. Usaremos la letra f para indicar frecuencia:

X	Frecuencia f	fX	X	fX
20	3	60	400	1.200
15	1	15	225	225
25	1	25	625	625
TOTAL	5	100		2.150

=====

Sustituyendo en la fórmula (1-3)

$$\sigma = \sqrt{\frac{2.150}{5} - \left(\frac{100}{5}\right)^2} = 1.41$$

Cuando los datos existentes son numerosos, hay un método que simplifica aún más este proceso. Este consiste en agrupar los datos en subgrupos o celdas, y usando un origen arbitrario que -

puede ser cualquier número, aunque es ventajoso y deseable usar la mediana como origen. Para explicar mejor el método vamos a dar un ejemplo:

Supongamos que para ajustar un aparato se necesita un torque. Se ha encontrado en 50 aparatos los siguientes valores en pulgadas-libras.

40	67	73	55	60
58	53	58	57	55
60	60	65	50	65
66	51	60	70	80
67	58	75	60	60
60	60	60	43	55
60	70	73	60	60
80	45	60	55	42
75	57	59	50	60
52	70	70	60	50

Nos piden encontrar el promedio y la desviación standard. El primer paso consiste en examinar los datos para ver como pueden ser agrupados. Una regla común es la de escoger entre 10 y 20 celdas. Luego escogemos el intervalo que deben tener estas celdas; para esto es preciso encontrar el rango para poder aplicar la regla que haya de 10 a 20 celdas. El rango R es igual al torque mayor, menos el torque menor, luego:

$$R = 80 - 40 = 40$$

En este caso es conveniente hacer el intervalo entre celda y celda igual a 3. A este valor le asignaremos la letra θ . Para el intervalo de las celdas como el punto asumido como origen usaremos el signo P. Como origen asumiremos el valor de 61 por lo que las fórmulas a usarse serán:

$$\bar{X} = \text{origen asumido} + \frac{\sum f p \theta}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (f p^2)}{n} - \frac{(\sum fp)^2}{n}} \quad (1-4)$$

Cualquier valor que caiga dentro de los límites de la celda es asignado arbitrariamente al punto medio de la celda y con esto se calcula la frecuencia del punto medio de la celda. El siguiente arreglo de las 14 celdas resulta entonces:

LIMITE DE LA CELDA	PUNTO MEDIO DE LA CELDA	FRECUENCIA f	P	f P	f p ²
38,45-41,5	40	1	-7	-7	49
41,5 -44,5	43	2	-6	-12	72
44,5 -47,5	46	1	-5	-5	25
47,5 -50,5	49	3	-4	-12	48
50,5 -53,5	52	3	-3	-9	27
53,5 -56,5	55	4	-2	-8	16
56,5 -59,5	58	6	-1	-6	6
59,5 -62,5	61	15	0	0	0
62,5 -65,5	64	2	1	2	2
65,5 -68,5	67	3	2	6	12
68,5 -71,5	70	4	3	12	26
71,5 -74,5	73	2	4	8	32
74,5 -77,5	76	2	5	10	50
77,5 -80,5	79	2	6	12	72
		$\sum f = n = 50$		$\sum fP = -9$	$\sum fP^2 = 447$

Vemos en esta tabla que los intervalos de las celdas son positivos si ascienden en valor desde el origen y negativas si pasa lo contrario.

Aplicamos ahora la fórmula para encontrar \bar{X}

$$\bar{X} = \text{origen supuesto} + \frac{\sum fP}{n}$$

$$X = 61 + \left(\frac{-9}{50} \right) \cdot 3 = 61 - 0,54 = 60,46$$

Luego el promedio de los torques es 60,46

Pasamos ahora a calcular la desviación standard σ

Usamos la fórmula (1-4):

$$\sigma = \theta \sqrt{\frac{\sum fP^2}{n} - \left(\frac{\sum fP}{n}\right)^2}$$

$$\sigma = 3 \sqrt{\frac{447}{50} - \left(\frac{-9}{50}\right)^2} = 3 \sqrt{8,94 - 0,0324}$$

$$\sigma = 3 \sqrt{8,928} = 3(2,99) = 8,97$$

La desviación estandard será entonces 8,97

USOS DE LA PROBABILIDAD

Recordemos el concepto de Confiabilidad. "Es la probabilidad que un mecanismo realice su función adecuadamente por pe ríodo de tiempo establecido bajo condiciones de operaciones establecidas". Vemos aquí que uno de los conceptos fundamentales en la definición, es el de la probabilidad. Daremos entonces algunas nociones de probabilidad que serán útiles en nuestro estudio.

El concepto de probabilidad es muy conocido por la generalidad de las personas. Se sabe que en general la probabilidad es:

$$P = \frac{\text{Número total de éxitos de un evento}}{\text{Número total de eventos}}$$

A esta definición debemos añadir algunas leyes y sistemas que tienen su base en la probabilidad.

LEY DE LAS SUMAS.- Se usa esta ley para calcular la probabilidad total cuando el evento puede ocurrir de diferentes maneras, cada una de las cuales es mutuamente exclusiva. Esto quiere decir que de dos eventos A y B, sólo A o B, puede ocurrir al mismo tiempo. La ley en sí dice que la probabilidad de -

que un evento ocurra en cualquiera de las posibles maneras, cuando cada una de las posibles maneras es mutuamente exclusiva, es la suma de las probabilidades de ocurrencia de las diferentes posibles maneras. Por ejemplo, la posibilidad de que salga "cara" al arrojar una moneda al aire es de un $1/2$ y de que salga "cruz" $1/2$. Por la ley de la suma, la probabilidad de que salga cara o cruz es la suma de las posibilidades de los dos casos y esto es igual a 1.

LEY COMPLEMENTARIA.- Esta es otra ley importante, se usa cuando se desea conocer la probabilidad de que un evento no ocurra conociendo las probabilidades de que el evento ocurra. La ley dice que la probabilidad que un evento ocurra más la de que el evento no se realice es igual a 1, o sea, llamando E al evento:

$$P(E \text{ ocurra}) + P(E \text{ no ocurra}) = 1$$

LEY DE LA MULTIPLICACION.- Dice que si un evento está hecho por un número de subeventos separados e independientes, la probabilidad de que el evento suceda es igual al producto de las probabilidades de que suceda cada sub evento. Por ejemplo, si para que se realice un evento se necesita que se produzca los subeventos A y B, y las probabilidades de que sucedan cada uno son $P(A)$ y $P(B)$, la probabilidad de que ocurra el evento será:

$$P(E) = P(A) P(B)$$

Una vez vista estas leyes como pasaremos a revisar algunos arreglos de las probabilidades que serán útiles más tarde. Estos arreglos son las permutaciones y las combinaciones.

PERMUTACIONES.- Supongamos que se nos pregunta cuantos diferentes arreglos, siempre con un orden o una secuencia, -

se pueden hacer con las letras A, B, C, de manera que cada arreglo sea diferente a los demás y contenga todas las letras. Los arreglos nos quedan así:

ABC	BAC
ACB	CAB
BCA	CBA

Para poder ponerlo en lenguaje matemático, con el ejemplo anterior, hagamos las permutaciones de n objetos tomados r a la vez. En el ejemplo, $n = 3$ y $r = 2$, Nos queda:

AB	CA
BA	CB
AC	BC

Sacamos entonces la siguiente regla para las permutaciones:

Regla (n,r) : Si un evento A puede suceder de n maneras y un evento B de r maneras, los dos eventos pueden sucederse de $n \cdot r$ maneras, siempre que los eventos sean igualmente ocurribles.

$$P(n,r) = n(n-1)(n-2)\dots [n-(r-1)] \frac{(n-r)(n-r-1)(n-r-2)\dots}{(n-r)(n-r-1)(n-r-2)\dots}$$

$$P(n,r) = \frac{n!}{(n-r)!}$$

La anotación algebraica para denotar permutación es:

$${}^n P_r$$

n = Número de cosas que van a ser escogidas

r = Número de cosas diferentes que aparecen en cada permutación.

COMBINACIONES.- En general, las combinaciones son más importantes en los problemas estadísticos que las permutaciones. Habíamos dicho que en las permutaciones el orden o la secuencia es importante. En las combinaciones, mientras el arreglo tenga el número de diferentes cosas envueltas, no importa el

orden. Como podemos calcular el número de combinaciones del número de permutaciones, y eliminando la ordenación, podemos ver que una relación matemática existe entre los dos conceptos que se pueden expresar así:

$$\text{Nº total de combinaciones} = \frac{\text{Nº total de permutaciones}}{\text{Nº de permutaciones del Nº de cosas que aparecen en C/v permutación.}}$$

Esto puede ser expresado matemáticamente de la siguiente manera:

$$C(n,r) = \frac{P(n,r)}{r!}$$

Para ilustrar mejor este punto vemos que en el ejemplo de las permutaciones, existen 6 para las letras A, B, C. Pero como el orden no tiene consecuencias en las combinaciones, solo existe una.

Una de las distribuciones más útiles para nuestro estudio es la distribución normal. Esta es representada por una curva en forma de campana, llamada también curva normal. Esta describe el comportamiento de una variable Y con respecto a otra variable X.

La ecuación matemática que describe la curva normal es:

$$Y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(xi-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

σ = desviación standard

X_i = valores individuales

Y = altura de la curva en cualquier punto a lo largo de la escala X. Es también el valor de la frecuencia del valor X

\bar{X} = promedio de todos los valores.

La derivación de la ecuación de esta curva se puede obtener de cualquier libro de estadística.

Un estudio de la curva normal indica que posee ciertas ca-

racterísticas que pueden verse en la figura N° 2. Se ve que el 99,73% de la curva está dentro del límite de tres desviaciones standard y el 68,26% dentro de 1. Se hace aparente que para la curva normal, la desviación normal es aproximadamente igual a un 1/6 del rango. Estas características de la curva normal son importantes porque proveen un medio de hacer estimaciones rápidas de las probabilidades de ocurrencia. Esto podemos explicarlo si ponemos un ejemplo: las especificaciones para cierto tipo de aparato son que tenga una resistencia de 100 ohms con una variación de + 5%. Se ha seleccionado una muestra de 50 aparatos. Se encontró que la resistencia promedio es de 100 ohms y la desviación standard es de 5.0 ohms. Qué porcentaje de los aparatos serán rechazados si se los inspecciona todos?

Si se asume una distribución normal la curva normal queda como el de la figura N° 3.

La curva fue trazada midiendo tres desviaciones standard para cada lado desde la media de 100 ohms. Se muestran los límites superior e inferior que coinciden en 1 desviación standard, exactamente. El límite superior (LS) está a 105 ohms y el límite inferior (LI) en 95 ohms. Cualquier aparato dentro de estos dos límites será aceptable. El área de las colas será la de los desechados, esta área es también indicadora del porcentaje de la muestra que no llena las especificaciones. Luego el tanto por ciento defectuoso indicado por la muestra debe ser esperado también en la totalidad de los aparatos.

Para determinar el porcentaje de aparatos buenos, vemos que los límites están a una desviación standard del promedio 100, a ambos lados; luego el 68,26% de los aparatos estarán buenos y el 31,74% serán rechazados. Cuando los límites no están situados exactamente sobre las desviaciones standard usamos tablas para áreas bajo la curva normal se encuentran en cualquier libro de es

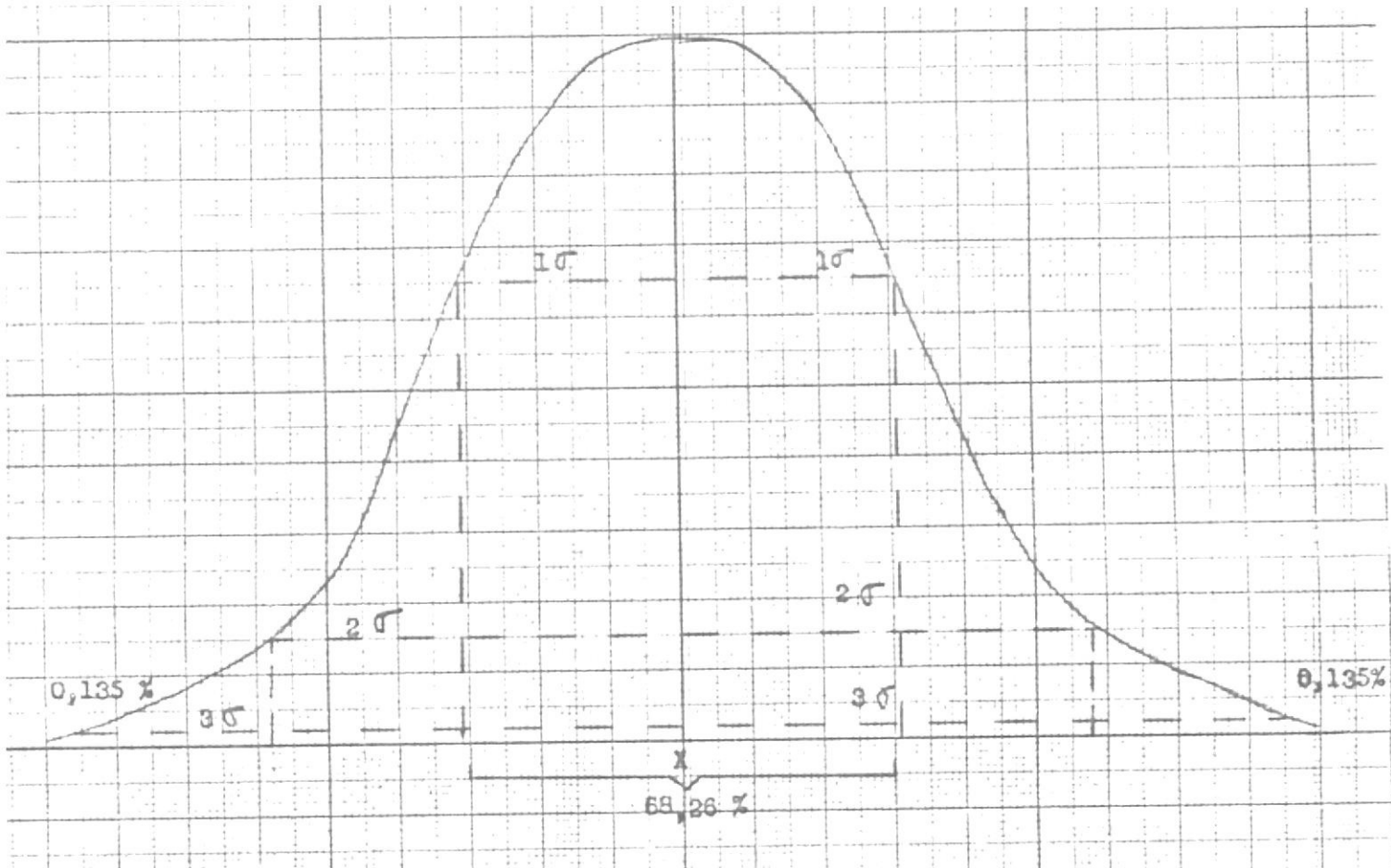


FIGURA N° 2 : CARACTERISTICAS DE LA CURVA NORMAL

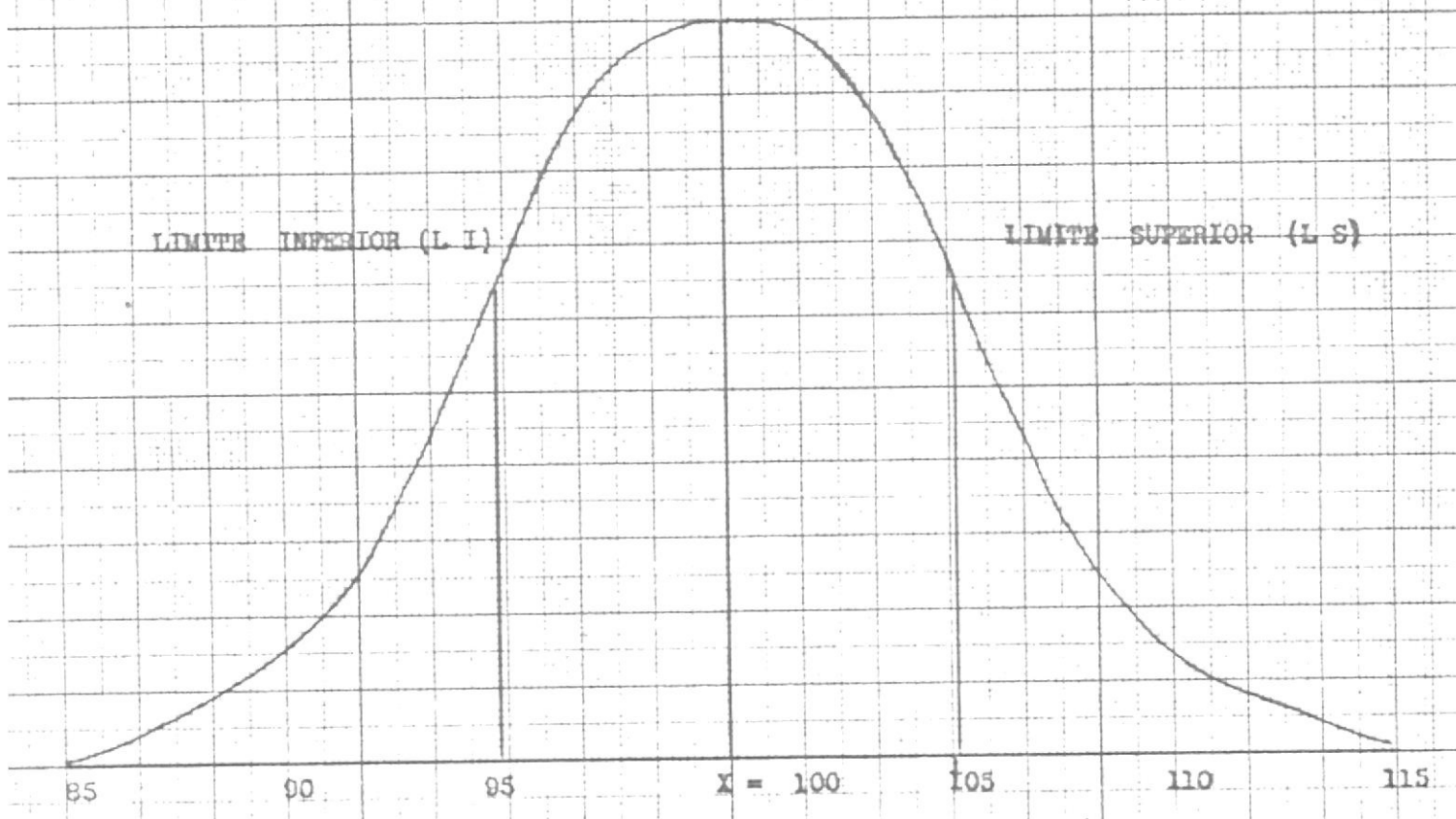


FIGURA N° 3 : LIMITES EN LA CURVA NORMAL

tadística. Supongamos que en el ejemplo anterior los límites sean 94 ohms y 106 ohms. En este caso usamos la fórmula

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (1-5)$$

El límite es un punto situado a Z desviaciones estandard del promedio. X_i es el valor de X que corresponde a Z y nos queda para el ejemplo:

$$Z = \frac{106}{5} - \frac{100}{5} = \frac{6}{5} = 1.2$$

Buscamos en la tabla y para $Z = 1,2$ nos da 0,8849, luego el porcentaje de aparatos que tendrán un valor mayor de 106 ohms será $1 - 0,8849 = 0,1159$ o sea 11,59%. El área para el lado izquierdo es

$$Z = \frac{94 - 100}{5} = \frac{-6}{5} = -1,2$$

En este caso el área es leída directamente y nos dá 11,59%.

La suma de estos dos lados nos da 23,02% que es el porcentaje de aparatos.

Otra de las distribuciones útiles que usaremos en este tratado es la distribución Chi-Cuadrado (χ^2), que tiene muchos usos estadísticos que nos servirá también para determinar los límites de confianza de un componente. La distribución χ^2 puede ser definida mediante el teorema que dice que si se extraen todas las muestras posibles de tamaño de una población normal con media igual a μ y varianza igual a σ^2 y para cada muestra se computa μ^2 donde:

$$\sum \mu^2 = \sum \left(\frac{X - \mu}{\sigma} \right)^2 = \frac{\sum (X - \mu)^2}{\sigma^2} = \chi^2 \quad (1-6)$$

La distribución de frecuencias de $\sum \mu^2$ sigue la distribución de χ^2 con n grados de libertad (o sea $V = n$) En la figura puede observarse las curvas de la distribución de χ^2 con 1, 4 y 5



BIBLIOTECA

FRECUENCIA
DE
OCURRENCIA

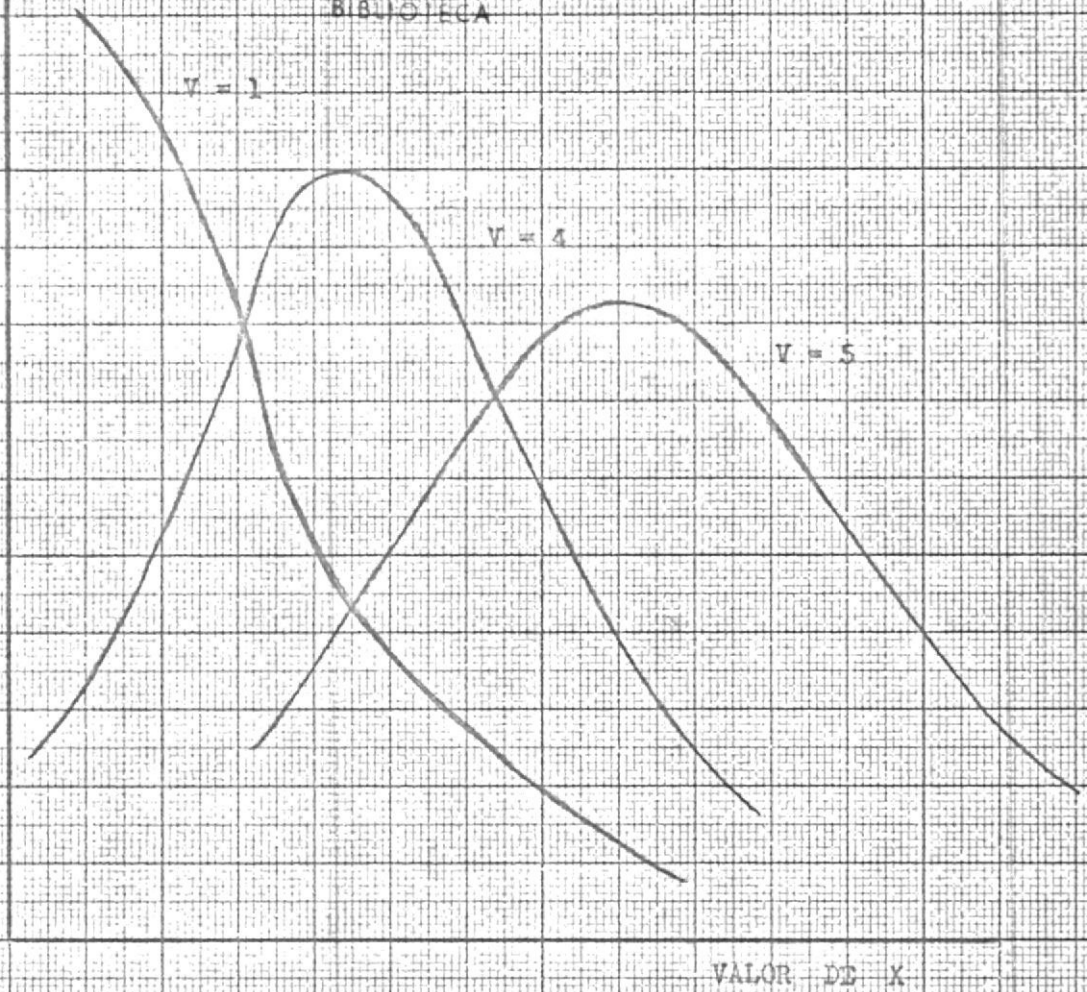


FIGURA N° 4 : DISTRIBUCION CHI CUADRADO

grados de libertad. Cuando $n = 30$, la curva se vuelve normal. -
Para hallar el área bajo las curvas recurrimos a las tablas.

1.2. LIBERTAD DE FALLA DE UN COMPONENTE

Cuando un mecanismo está sujeto a fallas que ocurren a intervalos al azar, podemos hacer uso de los conocimientos de probabilidad para encontrar una fórmula que nos permita hallar una manera de calcular la libertad de falla o confiabilidad de este mecanismo.

Para deducir esta fórmula, comenzamos con los conceptos básicos de probabilidad. La probabilidad de que un evento suceda A, se define como la fracción que resulta de las veces que ha tenido éxito el evento A sobre el número total de ensayos. Si denominamos X a los éxitos y Y a los fracasos, nos queda la probabilidad de que suceda el evento A será:

$$P(A) = \frac{X}{X + Y}$$

Tenemos para nuestra deducción, un número de componentes que van a ser ensayados durante un tiempo t. A esto lo llamaremos N_0 . Al final del tiempo t N_f componentes habrán fallado, y N_s componentes sobrevivirán la prueba. Luego $N_0 = N_s + N_f$. La confiabilidad o la probabilidad de sobrevivir, expresada como fracción nos queda:

$$R(t) = \frac{N_s}{N_0} = \frac{N_s}{N_s + N_f} \quad (1-7)$$

Obviamente, mientras la prueba continúa, N_s disminuye porque más y más componentes fallan. De igual manera también la confiabilidad disminuye proporcionalmente. Luego la confiabilidad está medida en función del tiempo de operación t. De la misma manera codefinimos la confiabilidad podemos deducir la probabilidad de falla que llamaremos Q.

$$Q(t) = \frac{Nf}{N_o} = \frac{Nf}{N_s + Nf} \quad (1-8)$$

Si aplicamos la ley complementaria de la probabilidad, deducimos que en un tiempo t nos queda:

$$R + Q = 1$$

Esto se debe a que los eventos son complementarios y mutuamente exclusivos.

El número de sobrevivientes en una prueba sería:

$$N_s = N_o - Nf$$

y la confiabilidad o probabilidad de falla, puede ser escrita de la siguiente manera:

$$R(t) = \frac{N_s}{N_s + Nf} = \frac{N_o - Nf}{N_o} = 1 - \frac{Nf}{N_o} \quad (1-9)$$

Si diferenciamos esta ecuación con respecto al tiempo

$$\frac{dR}{dt} = \frac{d(1 - \frac{Nf}{N_o})}{dt} = \frac{1}{N_o} \frac{dNf}{dt} \quad (1-10)$$

Esto es debido a que N_o es constante. Reagrupando esta ecuación nos queda:

$$\frac{dNf}{dt} = \frac{N_o dR}{dt} \quad (1-11)$$

Esta es la razón con la cual los componentes fallan. Debido a que $Nf = N_o - N_s$

$$\frac{dNf}{dt} = \frac{d(N_o - N_s)}{dt} = \frac{dN_s}{dt}$$

Esto puede ser definido como la razón negativa con que los componentes sobreviven. El término dNf/dt puede ser también interpretado como el número de componentes que fallan durante el intervalo de tiempo dt , o sea, entre el tiempo t y $t + dt$, y es equivalente a la razón con que los componentes sobrevivientes al tiempo t , están fallando. Al tiempo t , todavía tenemos N_s compo-

mentes en la prueba; por lo tanto dNf/dt caerá fuera de estos Ns componentes. Si dividimos ambos miembros de la ecuación (1-11) para Ns , obtendremos la razón de falla, o la probabilidad instantánea de falla para un componente que llamaremos λ

$$\lambda = \frac{1}{Ns} \frac{dNf}{dt} = \frac{Nc}{Ns} \frac{de}{dt} \quad (1-12)$$

Habíamos encontrado que $R = Ns/No$, por lo tanto podemos escribir $No/Ns = 1/r$, y esto lo sustituimos en el lado derecho de la ecuación (1-12) y tenemos:

$$\lambda = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt} \quad (1-13)$$

que es la más general expresión para la libertad de falla, ya que puede ser aplicada para confiabilidades exponenciales así como para no exponenciales. En general, λ es función del tiempo de operación t , porque hemos visto que R y dR/dt son funciones de t . Sólo en un caso la ecuación dará una constante, y es cuando las fallas ocurren exponencialmente a intervalos de tiempo al azar. Si arreglamos e integramos la ecuación (1-13) obtenemos una fórmula que nos sirve para calcular la confiabilidad.

$$\lambda dt = - \frac{dR}{R}$$

$$\int_0^t \lambda dt = - \int_1^R \frac{dR}{R} = - \ln R$$

$$\ln R = \int_0^t \lambda dt$$

resolviendo para R y sabiendo que cuando $t = 0$, $R = 1$, tenemos:

$$R(t) = e^{\int_0^t \lambda dt} = \exp \left[- \int_0^t \lambda dt \right] \quad (1-14)$$

Hasta ahora en esta deducción no hemos hecho ninguna suposición respecto a la razón de falla λ , por lo tanto, λ puede ser cualquier función variable e integrable del tiempo t . Luego, en la ecuación (1-14), $R(t)$ describe matemáticamente la confiabilidad de su manera más general y se aplica a todos los posibles casos de las distribuciones de falla (3)

Si especificamos que λ es constante en la ecuación (1-14) el exponente se vuelve:

$$-\int_0^t \lambda dt = -\lambda t$$

y de esta manera se obtiene la fórmula de la confiabilidad para una razón constante de falla que es:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1-15)$$

El período en que la fórmula que hemos encontrado es válida se lo conoce como "Período de vida útil". Este período varía en longitud según los diferentes mecanismos. Es entonces importante que el tiempo t de la fórmula $R(t) = e^{-\lambda t}$ nunca exceda el de la vida útil del equipo.

Demos un ejemplo, para poder entender la fórmula que hemos desarrollado. Supongamos que un mecanismo tenga una vida útil de 1.000 horas, y una razón de falla constante $\lambda = 0,0001$ por hora. Para predecir la confiabilidad de este equipo durante cualquier período dentro de las mil horas, usamos la fórmula (1-15)

$$R = e^{-\lambda t} = e^{-0,001 \cdot 1000} = e^{-0,1} = 0,9048$$

Una característica importante es que, durante el período de vida útil, la confiabilidad de un mecanismo es aproximadamente la misma durante intervalos de tiempo iguales. Esto quiere decir que la confiabilidad en las primeras 10 horas es la misma que para las 10 horas finales, si el equipo ha sobrevivido hasta las 990 horas.

Podemos decir, poniendo todo lo anterior en palabras, - que la confiabilidad de un aparato, o la probabilidad de que este no falle durante un intervalo dado de tiempo, siempre que el mecanismo haya sobrevivido hasta el principio del intervalo, y que la edad del mecanismo sea tal que no llegue al final del período de vida útil dentro de ese intervalo, puede ser calculada por la

fórmula encontrada más arriba. Una medida muy útil en el cálculo de la confiabilidad es el llamado "tiempo medio entre fallas". - Puede ser medido directamente en horas y es el inverso de la razón de fallas λ y lo denominaremos con la letra m

$$m = 1/\lambda$$

La fórmula (1-15) entonces se transforma en:

$$R(t) = e^{-t/m}$$

Para ilustrar mejor todo lo que hasta aquí hemos deducido, plantearemos la función $R(t) = e^{-\lambda t}$ en un eje de coordenadas con el valor de R en las ordenadas y el valor de t en las abscisas, y usando como medida de tiempo, el tiempo medio entre fallas. El gráfico es el de la figura Nº 5. Discutamos este gráfico. La gráfica que se ha obtenido representa las características de supervivencia de un mecanismo cualquiera que tiene una razón de fallas constante. Existen las siguientes consideraciones: Primero, es necesario comprender que el tiempo t en la abscisa no es el tiempo total acumulado de horas de servicio que tiene el mecanismo, - sino las horas del período de operación arbitrariamente escogido. En $t=0$ se designa el comienzo del período de tiempo escogido de de operación, y no el tiempo en que el equipo fue puesto en operación por primera vez. Llamaremos por eso al tiempo t, tiempo de la misión. Se asume que el mecanismo no llegará al final de su período de vida útil dentro del tiempo de misión. Podemos asumir entonces que la confiabilidad R es igual a 1, cuando $t=0$, lo que quiere decir que el mecanismo ha sobrevivido hasta el comienzo de la misión.

La segunda asumpción es que $\lambda =$ constante.

En casos prácticos de confiabilidad, usualmente queremos predecir la probabilidad de éxito durante un tiempo de misión. Es tos tiempos de misión son usualmente mucho más cortos que la vida útil de un equipo, y también más cortos que el período medio entre

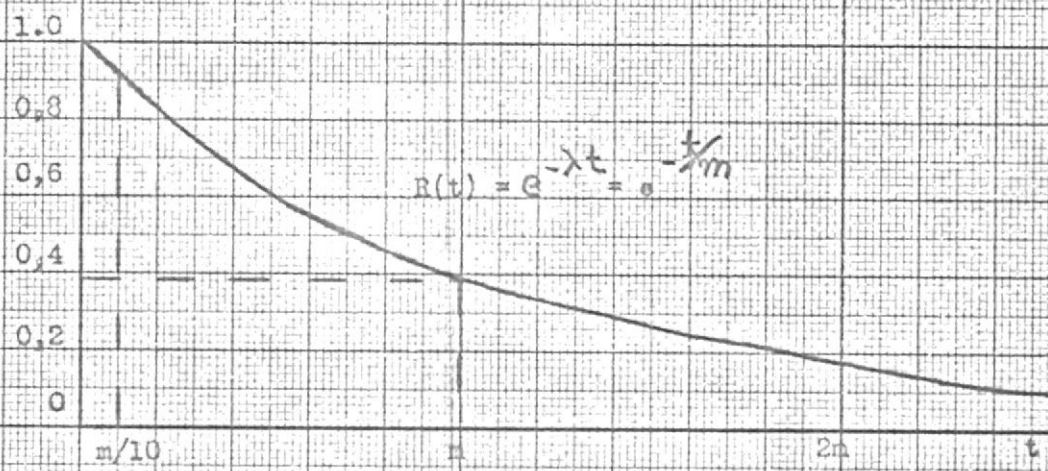
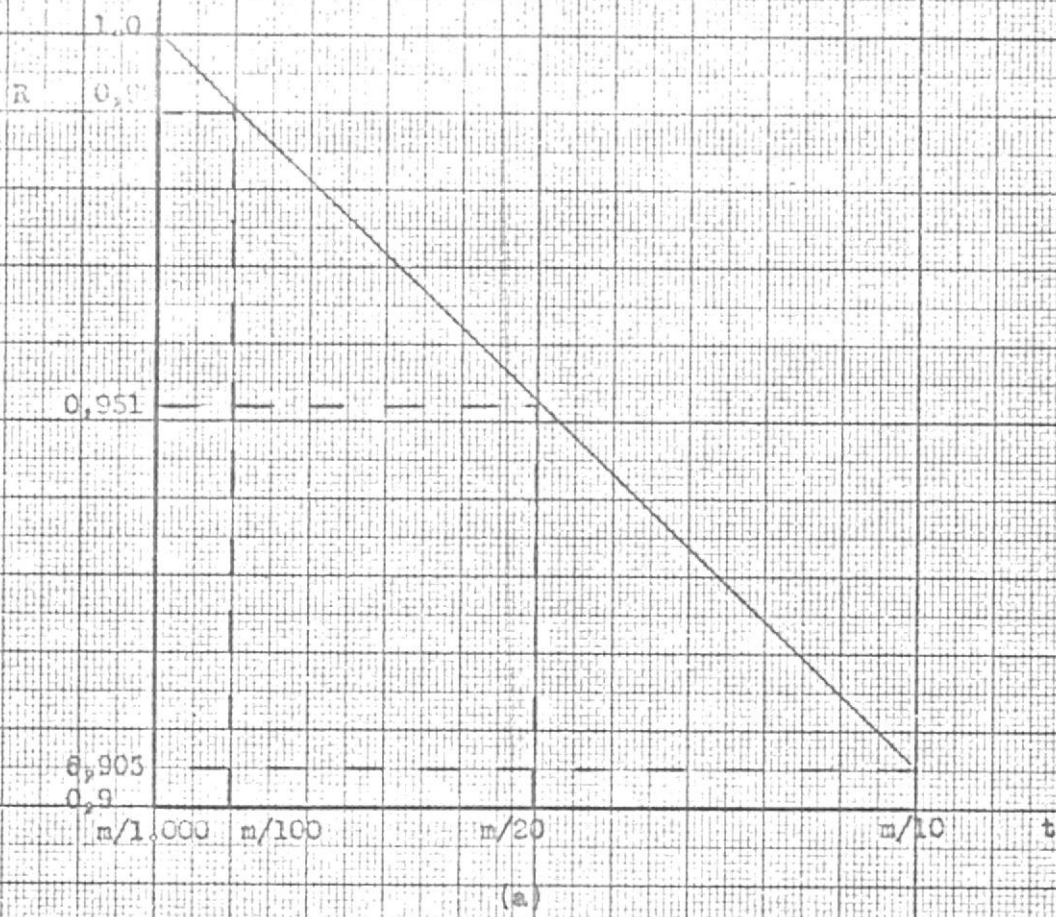


FIGURA Nº 5 : CURVA ESTANDARIZADA DE LA CONFIABILIDAD
 (a) PROCIÓN SUPERIOR
 (b) LA CURVA

fallas. Por eso se hacen casi siempre predicciones de confiabilidad que corresponden al extremo superior de la gráfica, nominado con la letra (A).

Existen algunos puntos notables en la gráfica de la curva que sirven para una predicción rápida de la confiabilidad. Para un tiempo de operación $t = m$, el mecanismo tiene una confiabilidad del 37%. Esto significa que cuando se ha llegado al tiempo medio entre fallas, 37 de cada 100 equipos estarán todavía en operación, mientras que 63 habrán fallado. Para $t = m/10$, la curva muestra una confiabilidad $R = 0,9$. Para $t = m/100$, $R = 0,99$; para $t = m/1000$ $R = 0,999$

Estos puntos de la curva se puede aplicar a cualquier componente o sistema de componentes que se comporte exponencialmente. Por lo tanto una curva de confiabilidad que use m como unidad de tiempo, la llamaremos curva estandarizada.

Debemos anotar aquí, que el período de funcionamiento de un componente no siempre se mide en unidades de tiempo, o en m . En ciertos casos es conveniente cambiar el tiempo por otros parámetros que caracterizan mejor la vida de un equipo. Por ejemplo, para interruptores, relays, válvulas, el número de operaciones o ciclos, es una medida mejor que las horas de trabajo. En tales casos, se cambia en la abscisa de la curva de confiabilidad, a una escala de ciclos, y m se vuelve el número medio de ciclos entre fallas. La ecuación de la confiabilidad se transforma en:

$$R(c) = e^{-\lambda c} = e^{-c/m} \quad c = \text{ciclos} \quad (1-16)$$

En la ecuación (1-10) hemos introducido el término dR/dt que lo vamos a discutir ahora. En la figura 5, en que se ilustra gráficamente la confiabilidad, vemos que dR/dt representa la inclinación de la curva en cualquier punto t . Nos damos cuenta que esta inclinación es siempre negativa y que decrece desde un valor

-1/m en t = 0, hasta 0 en t = ∞ Esta característica negativa es tá expresada por la ecuación:

$$\frac{dR}{dt} = - \frac{1}{N_0} \frac{dNf}{dt}$$

En esta ecuación dNf/dt es la frecuencia con que las fallas ocurren, durante un tiempo cualquiera en una prueba en que no se reemplacen los elementos que fallen. Cuando dNf/dt se grafica contra el tiempo t, obtenemos la distribución de fallas de todos los componentes originales N₀. Y si graficamos (1/N₀)(dNf/dt) obtendremos la curva de la frecuencia de fallas por componentes. Tendrá el mismo carácter que la anterior, sólomente que sus ordenadas estarán divididas todas por la constante N₀ A, esta curva la llamaremos "función de la densidad de falla" o f(t), según Basovsky (4) y será igual a:

$$f(t) = \frac{1}{N_0} \frac{dNf}{dt} = - \frac{dR}{dt} \quad (1-17)$$

El área total bajo esta curva equivale a la unidad, o el 100 por ciento. La razón de falla de la ecuación (1-13) podemos escribirla entonces:

$$\lambda = - \frac{1}{R(t)} \frac{dR}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1-18)$$

que significa que la razón de falla a cualquier tiempo t, equivale al valor f(t) dividido para la confiabilidad, ambos tomados al tiempo t. Se aplica a todas las distribuciones sean exponenciales o no.

En el caso especial que λ sea constante, la distribución es:

$$f(t) = - \frac{dR}{dt} = \frac{d e^{-\lambda t}}{dt} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1-19)$$

En este caso especial, la razón es constante.

1.3.- VIDA MEDIA DE UN COMPONENTE

Los términos "Vida Media de un Componente" y "Tiempo Medio entre Fallas" se usan a menudo como sinónimos y aquí serán usados de este modo. Usaremos la letra m para indicar el tiempo medio entre fallas, y el término \bar{m} para la vida media.

Cuando existe una razón de falla constante, el tiempo medio entre fallas es el recíproco de este valor. Esto se puede traducir como el tiempo total de operación dividido para el número total de fallas. Expresado matemáticamente nos queda:

$$m = \frac{1}{r} = \frac{T}{f} \quad (1-20)$$

r = razón de fallas por hora

f = total de fallas, durante un intervalo de tiempo

T = tiempo total en horas.

Si el valor de m se ha calculado de varias muestras variará de muestra en muestra. Sin embargo la variación será menor si se cogen números suficientemente grandes de muestras.

Al medir el tiempo medio entre fallas de un aparato estamos estableciendo niveles de confianza. El nivel de confianza está asociado con las probabilidades, o sea del número de veces que un evento resulta al intentarlo. En otras palabras, cuando se dice que hay un nivel de confianza del 90%, significa que de cada 100 intentos que se haga, 90 resultarán éxitos.

Habíamos llamado \bar{m} a la vida media de un componente. Los valores máximos y mínimos de \bar{m} serán los límites del nivel de confianza del tiempo entre fallas.

Habíamos visto que la vida media es igual a:

$$\bar{m} = \frac{\text{Tiempo total de prueba}}{\text{número total de fallas}}$$

En lenguaje matemático, cuando la distribución de fallas es exponencial, la vida media es:

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^f t_i + \sum_{j=1}^s t_j}{f} \quad (1-21)$$

donde:

- f = número total de fallas observadas
- i = 1, 2, 3, 3...f
- t_i = tiempo de falla de observación
- S = número de observaciones terminadas sin falla
- j = 1,2, 3, 3...j
- t_j = tiempo de terminación (sin falla) de la observación j

En esta ecuación, el numerador es simplemente la totalidad de las observaciones hechas, mientras el denominador es el número total de fallas.

El numerador consiste en dos componentes: las observaciones que han terminado en falla y que están representada por

$$\sum_{i=1}^f t_i$$

y las observaciones que han terminado por otra razón, pero no por falla representado por:

$$\sum_{j=1}^s t_j$$

Con estas bases la fórmula puede ser escrita de la siguiente manera:

$$m = \frac{\text{Suma de observaciones malas} + \text{Suma de observaciones buenas}}{\text{Total de fallas}}$$

El significado pues, del término vida útil de un componente, es el de decirnos cual es la confiabilidad de un componente durante su vida útil y esa información tiene mucha importancia. Un

componente con un tiempo medio entre fallas de 100.000 horas tendrá una confiabilidad de 99,99 o 0,9999 en un período de 10 horas. También quiere decir que si operamos 100.000 de estos componentes durante 1 hora, sólo habrá una falla. Estos componentes darán sistemas confiables mientras no se exceda su vida media, porque entonces comenzarán sus fallas por desgaste y será imposible predecir la razón de fallas. Una regla muy útil en la confiabilidad será entonces: reemplazar los componentes mientras fallan durante su período de vida útil, y reemplazar el componente preventivamente, aunque no haya fallado, cuando ha llegado al fin de su vida útil.

Es sumamente importante para nosotros como hemos visto - determinar el tiempo medio entre fallas m . Daremos entonces a - continuación un método para poder encontrar este tiempo.

Debemos tomar en cuenta que se trata del tiempo entre fallas al azar, o sea cuando el componente se comporta exponencialmente. El componente se encuentra entonces en su período de vida útil. El valor exacto de la vida media de un componente no puede saberse, pero podemos acercarnos mucho si tomamos un gran número de muestras. Entonces todo lo que podemos dar es una aproximación razonablemente buena.

La manera como podemos encontrar esta estimación del tiempo medio entre fallas es midiendo el tiempo t_i entre fallas y dividiendo para el número de observaciones. Sin embargo en la práctica debemos tener en cuenta que los componentes pueden fallar por azar y por desgaste. Expliquemos esto, supongamos que tenemos una muestra de 100 componentes en el cual tenemos que medir el tiempo medio entre fallas m del lote. El principal problema que encontramos desde el comienzo es que no sabemos cuanto tiempo disponemos para la prueba. Es obvio que no podemos esperar que los 100 componentes fallen para tener las 100 medidas para poder formar la

media aritmética.

$$m = \frac{t_i}{n}$$

donde $n = 100$. Esta espera podría durar años según el componente que sea. Aún si dispondríamos de estos años, surgiría la pregunta de cuantos de los componentes han fallado al azar y cuantos por desgaste debido a la edad. Casi podemos asegurar que la mayoría habría fallado por **desgaste**. Por lo tanto la media que obtendríamos no sería sólo la de fallas al azar si no que incluiría fallas por **desgaste**.

Debemos por lo tanto, limitar la duración de la prueba a un tiempo en que estamos seguros no habrán fallas debido al **desgaste**. Entonces para llevar a cabo la prueba dejamos que solamente una fracción de los 100 componentes fallen. Tomemos por ejemplo, 5 fallas. Después que hayan fallado estos 5 elementos **descontinuamos** la prueba. Tenemos entonces 5 medidas de tiempo **de falla** para los 100 componentes; asumiendo que las 5 fallas se deban al azar, podemos calcular el tiempo medio entre fallas al **azar** para los 100 componentes. Esto se obtiene sumando los **tiempos de operación** de los 100 componentes y dividiendo esto para el número de fallas al azar, 5, que ocurren durante la prueba. En **el numerador** tenemos la prueba la suma de los tiempos de operación observados de los 100 componentes que es:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + 95t_5$$

donde t_1, t_2, t_3 , etc., son los tiempos en que los 5 componentes que fallaron **estuvieron funcionando**. La prueba se paró al tiempo t , cuando falló el quinto componente, al cual todavía quedaban 95 componentes funcionando. Entonces aquí, podemos aplicar la fórmula (1-25) y nos quedará:

$$\bar{m} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_f + (n-f) t_n}{f}$$

donde n = número de componentes

f = número de fallas observadas

$(n-f)$ = número de componentes que no fallaron

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^f t_i + (n-f) t_f}{f}$$

Un punto importante para encontrar la vida media de un componente, es el determinar el tamaño de la muestra con que se va a hacer la prueba. Esto depende del tiempo disponible para la prueba y de la precisión con que se desea el resultado. Pongamos un ejemplo, al suponer que la razón de falla de una pieza de un equipo eléctrico, un resistor, debe estar alrededor de $\lambda = 0,00001$ o sea que m debe ser 100.000 horas, quisiéramos tener 25 medidas del tiempo de falla para tener una precisión suficientemente buena, usando las ecuaciones enunciadas anteriormente. Se pregunta cuantos resistores debemos usar si el tiempo que disponemos para nuestra prueba es de 1.000 horas, lo que queremos saber es la probabilidad de falla de 25/n componentes que resulta de una prueba de 1.000 horas, donde n es el número de componentes que se debe poner a prueba. Tendremos una probabilidad de falla igual a:

$$1 - e^{-\lambda t} = 25/n.$$

donde $\lambda = 0,00001$ y $t = 1.000$ horas

$$n = \frac{25}{1 - e^{-\lambda t}} = \frac{25}{1 - e^{-0,00001 \times 1000}} = \frac{25}{0,00995} = 2520$$

Esto significa que debemos probar alrededor de 2.500 piezas. En general, con un tiempo t disponible, una razón esperada de falla λ y cuando m debe ser medido con una precisión correspondiente a f , fallas al azar, la fórmula general es:

$$n = \frac{f}{1 - e^{-\lambda t}} = \frac{n}{Q(t)} \quad (1-22)$$

donde $Q(t)$ es la probabilidad de falla de un componente en un período de operación t .

Una vez encontrado el tiempo medio entre fallas, debemos preocuparnos hasta que punto son confiables estos datos. Para averiguar debemos buscar el nivel de confianza que tiene la distribución de estos datos. Existe una relación entre la precisión de la estimación y el tamaño de la muestra. Solamente una muestra de tamaño infinito puede dar un resultado con el 100% de precisión.

Para calcular los niveles de confianza debemos aplicar los conocimientos que ya hemos visto de la distribución estadística de la estimación. Uno de los conceptos es la distribución standar, - cuya fórmula es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (t_i - m)^2}{n-1}}$$

Una vez encontrado esto, buscamos los límites inferiores y superiores, después de haber asignado el nivel de confianza. En lo que se refiere a confiabilidad estamos más interesados casi siempre en el límite inferior de la vida media de un componente que su límite superior. En este caso aplicamos el caso ya explicado anteriormente del límite de confianza de un solo lado.

Como sólo el límite inferior interesa, debemos buscar entonces que la vida media de un componente exceda un valor mínimo de $100(1-\alpha)$. Si designamos por K el número de errores estandar, que debemos substraer a m , nos quedará que el área a la izquierda es α y a la derecha $(1-\alpha)$. Denominando L al límite inferior, - vemos que el porcentaje correspondiente a este punto es:

$$L = m - K \alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1-23)$$

Luego la vida estimada para que el componente rebase el límite inferior es:

NIVEL DE CONFIANZA

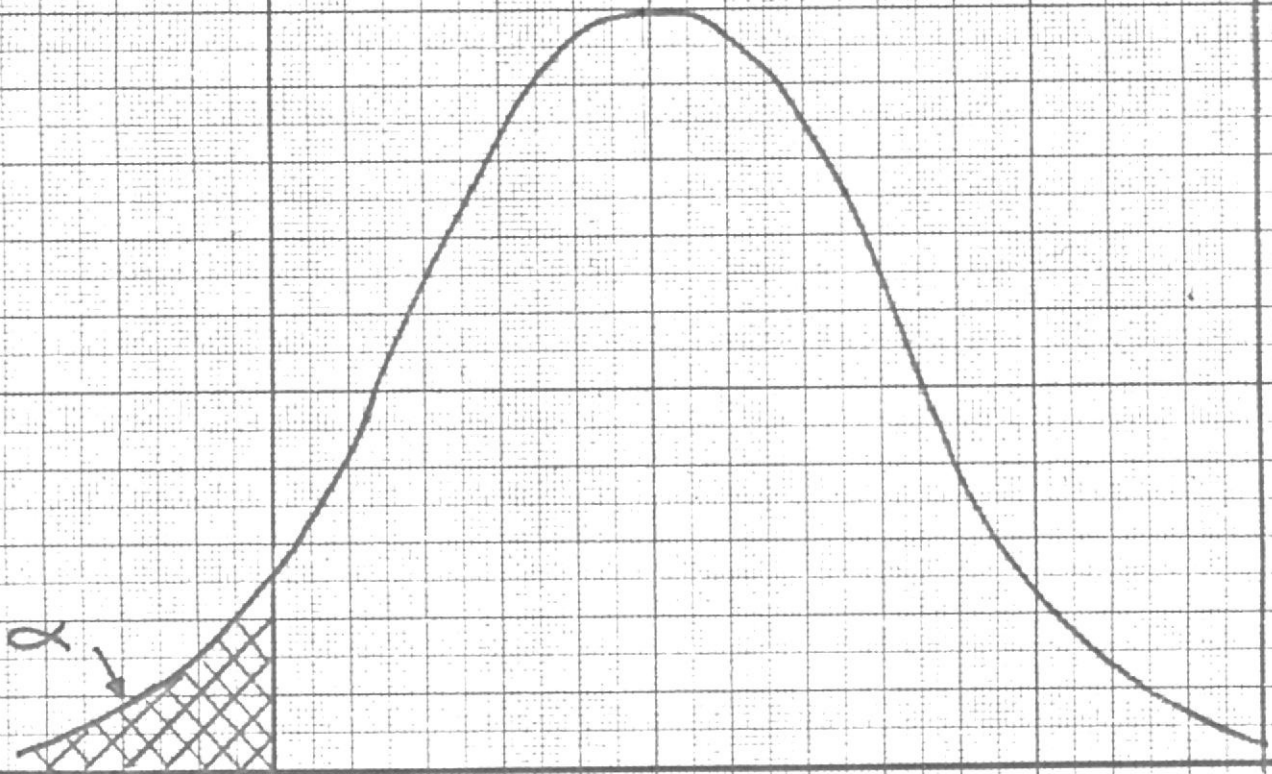


FIG. No. 6: NIVEL DE CONFIANZA



BIBLIOTECA

$$m \geq L + K \alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1-24)$$

Si esta ecuación no es satisfecha, o sea que las pruebas muestran que m es menor que el requerido, el componente no alcanza la vida útil deseada.

Si la muestra es suficientemente larga, o sea que n es por lo menos 25, la siguiente tabla nos muestra si el tiempo medio estimado llena los requisitos de que el verdadero m no sea menor que el límite inferior L .

K	m estimado debe exceder a	Nivel de confianza especificado $100(1-)$
0,25	$L + 0,25 S/n$	60
0,52	$L + 0,52 S/n$	70
0,84	$L + 0,84 S/n$	80
1,28	$L + 1,28 S/n$	90
1,64	$L + 1,64 S/n$	95
2,33	$L + 2,33 S/n$	99

Cuando el número de pruebas que se han hecho, es menor que 25, podemos usar la distribución X , ya estudiada anteriormente. Usaremos en este caso también solo el límite inferior de confianza, que es el que nos interesa, entonces con el número de pruebas que se han hecho y el nivel de confianza que hemos establecido, buscamos en las tablas de Chi-cuadrado, y obtendremos las veces que este nivel de confianza ha sido sobrepasado.

De esta manera se ha dado algunos métodos para poder encontrar la vida media de un componente y su nivel de confianza.

1-4.- DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DESCOMPOSTURAS

Tener un conocimiento sobre la distribución del tiempo entre descomposturas es un factor básico en la formulación de planes generales de mantenimiento. Estas distribuciones muestran el tiempo que se espera funcione un equipo, sin interrupciones y sin necesidad de repararlos. Para encontrar el tiempo entre descomposturas tenemos que estar seguros que el equipo o componente se halla fuera del período de fallas llamado "Mortalidad Infantil", o sea, las fallas que se producen en las primeras horas de funcionamiento de un equipo, debido a malos ajustes, acoplamientos, piezas defectuosa. - Debe hallarse también fuera del período de fallas por desgaste, o sea el período en el cual empieza a fallar por edad del equipo.

Si el equipo o componentes se halla fuera de estos dos períodos, entonces estará en su período de vida útil y se podrá calcular el tiempo entre descomposturas. Cuando esto suceda, el mecanismo se comporta exponencialmente.

Habíamos visto que la función exponencial de la densidad de falla viene dada por:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1-18)$$

donde λ es la razón constante de falla. La probabilidad de falla la habíamos encontrado por medio de la integración de la razón de falla.

$$Q(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1-20)$$

que es la probabilidad de falla en un tiempo t. Sabemos también que:

$$R(t) + Q(t) = 1$$
$$R(t) = 1 - Q(t) = e^{-\lambda t}$$

donde R (t) es la confiabilidad.

La función exponencial de densidad tiene un valor característico, llamado medio. Este se obtiene formando lo que se llama el "Primer momento" $\int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$ de la función de densidad f(t) e integrado el primer momento sobre todo el rango de f(t)

Para la función exponencial de densidad nos queda:

$$M = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (1-28)$$

Este es el llamado tiempo medio entre fallas y es el recíproco de la razón de falla.

Este valor medio también puede obtenerse integrando la confiabilidad $R(t)$ sobre todo su rango de manera que m es teóricamente igual al área bajo la curva de confiabilidad entre $t = 0$ y $t = \infty$

$$m = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = -\left[\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} \right]_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda}$$

Podemos ahora reemplazando valores, dar las siguientes fórmulas:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} = \frac{1}{m} e^{-t/m} \quad (1-29)$$

$$Q(t) = 1 - e^{-t/m} \quad (1-30)$$

$$R(t) = e^{-t/m} \quad (1-31)$$

Estas fórmulas se usarán más adelante, con los valores de m y λ

Las distribuciones del tiempo entre fallas muestran la frecuencia con que las máquinas funcionan sin necesidad de reparar los, en un número determinado de horas de operación. Esto se representan generalmente como distribución de la fracción del tiempo entre descomposturas que exceden a un tiempo de funcionamiento dado, como se muestra en la figura Nº 8. Estas distribuciones tienen diferentes formas, dependiendo de la naturaleza del equipo que se trate. Por ejemplo, una máquina sencilla con pocas piezas móviles, tenderá a descomponerse a intervalos regulares, a partir de su última operación. Esto es, muestra una variación mínima en su distribución del tiempo entre descomposturas. La curva a de la figura representa bien esta situación. Un elevado porcentaje ocurre cerca del promedio del tiempo entre fallas m , y solamente pocas ocurren en los extremos.

Cuando la máquina es más compleja, es decir, está compuesta de muchas piezas y mecanismos, cada una con su propia razón de falla, se encuentra una mayor variabilidad del tiempo entre descomposturas como es el caso de la curva b de la figura.

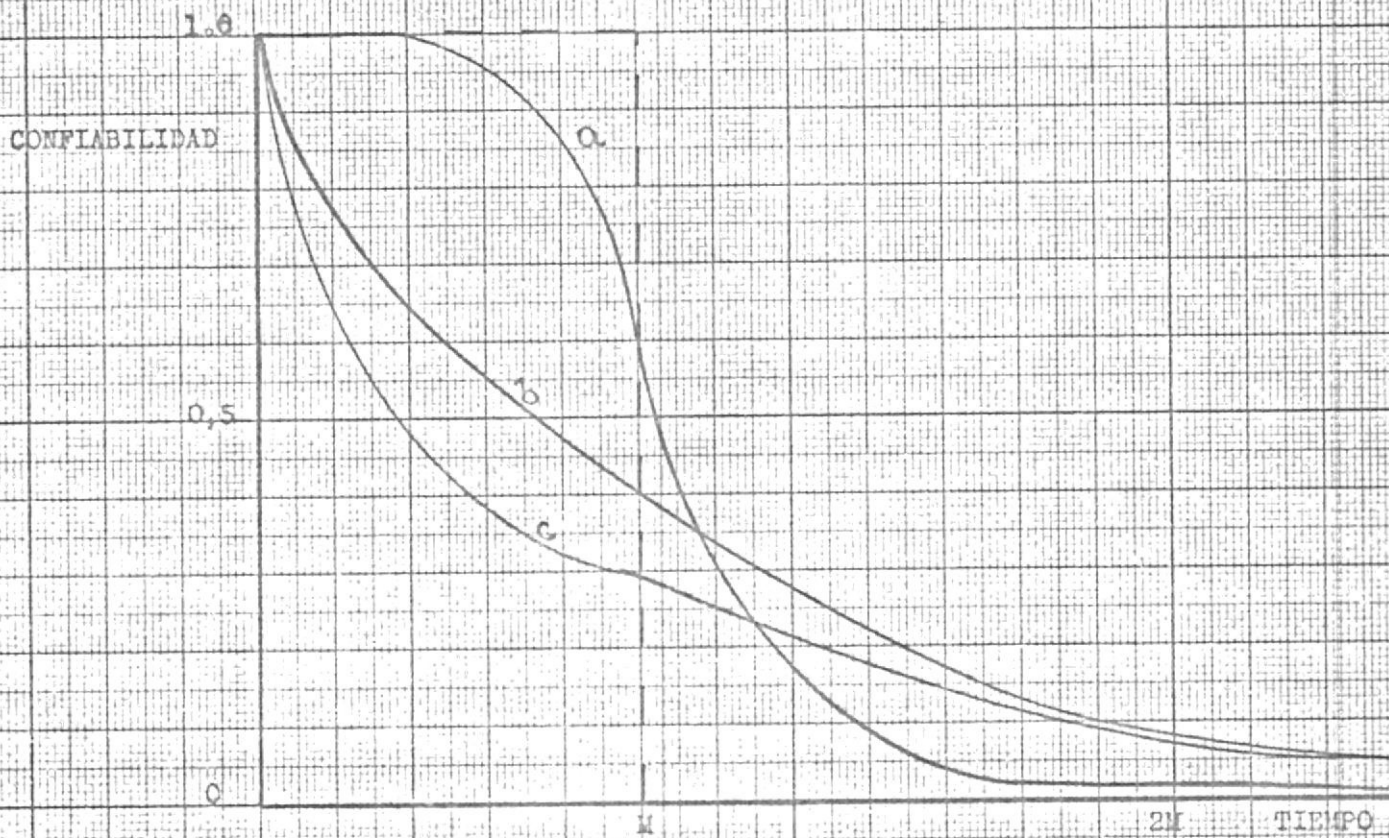


FIGURA N° 7 : DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO ENTRE DESCOMPOSTURAS

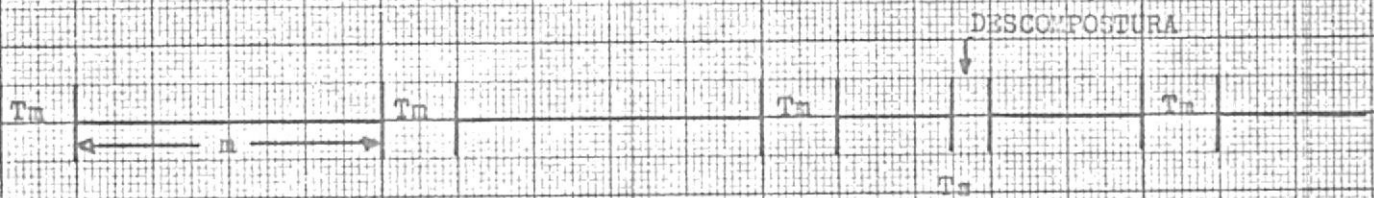


FIGURA N° 8 : REGISTRO DEL TIEMPO DE OPERACION, MANTENIMIENTO Y REPARACION DE UNA MAQUINA

Para completar el panorama de distribuciones con respecto al tiempo entre descomposturas, tenemos la curva c que representa la distribución en un tiempo medio entre fallas m , pero con una gran variabilidad. Una gran proporción de las descomposturas ocurren justamente después de la reparación, y por otra parte, un gran número de componentes tienen una vida mayor de trabajo. La curva c puede ser la típica de máquinas que requieren ajustes dedicados. Si los ajustes están hechos correctamente, la máquina puede trabajar por un período largo, pero si no, puede necesitar reajustes y reparaciones casi inmediatos.

1-4 - a) PARA UNA MAQUINA

Tenemos una política de mantenimiento, en la que se presupone una inspección y quizá el cambio de piezas fijas, después de que la máquina ha trabajado un período determinado de tiempo, que podría ser el tiempo medio entre fallas. Al tiempo que se realiza la inspección y la reparación, podemos llamarlo período de mantenimiento preventivo. Si observamos al personal que realiza este trabajo, veremos, haciendo un buen número de observaciones, que le toma un tiempo promedio T_m , el llevar a cabo el mantenimiento preventivo. Se podrá observar también que un porcentaje de fallas ocurrirá antes de que haya terminado el tiempo medio entre fallas. En este caso el personal de mantenimiento repara el equipo en un tiempo promedio T_s . Esto se puede representar gráficamente como vemos en la figura N° 8.

La probabilidad de que ocurra una falla entre dos períodos de mantenimiento depende del tiempo medio entre fallas y la duración del período normal de mantenimiento, así como también de la variabilidad del tiempo entre descomposturas del equipo. Cuando existe una baja variabilidad, las descomposturas ocurrirán en pocas ocasiones. En la práctica se ha encontrado que se obtiene aún mejores resultados disminuyendo a un 80% el tiempo entre inspecciones o reparacio-

nes. Si la distribución fuera más variable, para el mismo tiempo medio entre reparaciones ocurrirán un mayor número de descomposturas. Entonces podemos deducir, que para cualquier clase de distribución, el acortar el tiempo medio entre fallas dará como resultado menos descomposturas entre los períodos de mantenimiento, y alargarlo producirá el efecto contrario. Suponiendo que ya sea que el mantenimiento preventivo o la reparación ponga a la máquina en condiciones óptimas de operación para períodos de funcionamiento de igual duración, el porcentaje del tiempo de funcionamiento de una máquina depende de la relación del tiempo de mantenimiento al tiempo medio entre fallas, para una distribución dada del tiempo entre descomposturas. Podemos mostrar esto en la figura Nº 10, tomada del libro de E. Buffa, para las distribuciones mostradas en la figura Nº 7. - Notamos en esta figura que sólo se ha tomado el tiempo medio entre fallas hasta el 80% o sea que estamos siguiendo la regla de reducir el tiempo entre períodos de mantenimiento.

Cuando el tiempo entre períodos de mantenimiento es corto, digamos un 50% de m , la máquina trabaja solo una fracción pequeña de tiempo m . Esto se debe a que la máquina se para muchas veces debido al mantenimiento preventivo. Si alargamos el tiempo entre mantenimientos, ocurren más descomposturas que necesitan reparación. - Esto viene a beneficiar las distribuciones de tipo b y c, que como ya habíamos dicho, eran curvas de gran variabilidad, y cuyas fallas al azar ocurren a lo largo de todo el tiempo medio entre fallas. El beneficio se obtiene, ya que durante las fallas, se aprovecha que el equipo está parado, para reparaciones e inspecciones que pueden evitar futuras fallas. Sin embargo, la curva a, tiene un máximo, es decir, un tiempo de mantenimiento óptimo que eleva al máximo el porcentaje de tiempo de trabajo de la máquina. Esto se debe a la pequeña variabilidad del tiempo entre descomposturas como se ve en la figura.

Para la curva a alargar el tiempo entre períodos de mantenimiento a más del 70% reduce la fracción del tiempo de trabajo de la máquina, en virtud de que las descomposturas son más probables. Para las distribuciones más variables de las curvas B y c, esto no es cierto, debido a que las descomposturas son más probables a lo largo de sus distribuciones que en el caso de la curva a. Pueden construirse curvas semejantes que muestren el porcentaje de tiempo en que la máquina esté en mantenimiento y el porcentaje del tiempo en que la máquina esté en reparación.

1-4 - b) PARA VARIAS MAQUINAS

Para los sistemas de varias máquinas que están en operación durante t horas, por lo que ha hemos deducido anteriormente, tendrán t/m fallas, cuando m es el tiempo medio entre fallas. Estas fallas producen por lo tanto t/m reparaciones fuera de horario. Estas fallas las podemos repartir entre las diferentes máquinas que componen el sistema. Encontramos esto de la siguiente manera: t/m; t/m₂; t/m₃ etc., que serían las reparaciones hechas en cada una de las máquinas que componen el sistema, que a su vez tienen un tiempo medio entre fallas m₁, m₂, m₃, etc. El número total de reparaciones para un sistema que opera durante t horas podemos deducirlo por una simple sumatoria:

$$\frac{t}{m_1} + \frac{t}{m_2} + \frac{t}{m_3} + \dots + \sum_{i=1}^m \frac{t}{m_i} = \sum_{i=1}^m \lambda_i t \quad (1-28)$$

Podemos encontrar por experiencia, que el tiempo promedio para reparar la máquina N° 1 es T₁, para la segunda máquina T₂, etc. entonces el total de horas-hombre H₀ que necesitaremos, podemos deducirlo por otra sumatoria:

$$H_0 = \frac{t}{m_1} T_1 + \frac{t}{m_2} T_2 + \frac{t}{m_3} T_3 + \dots = \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{m_i} t = \sum_{i=1}^n (\lambda_i T_i) t \quad (1-29)$$

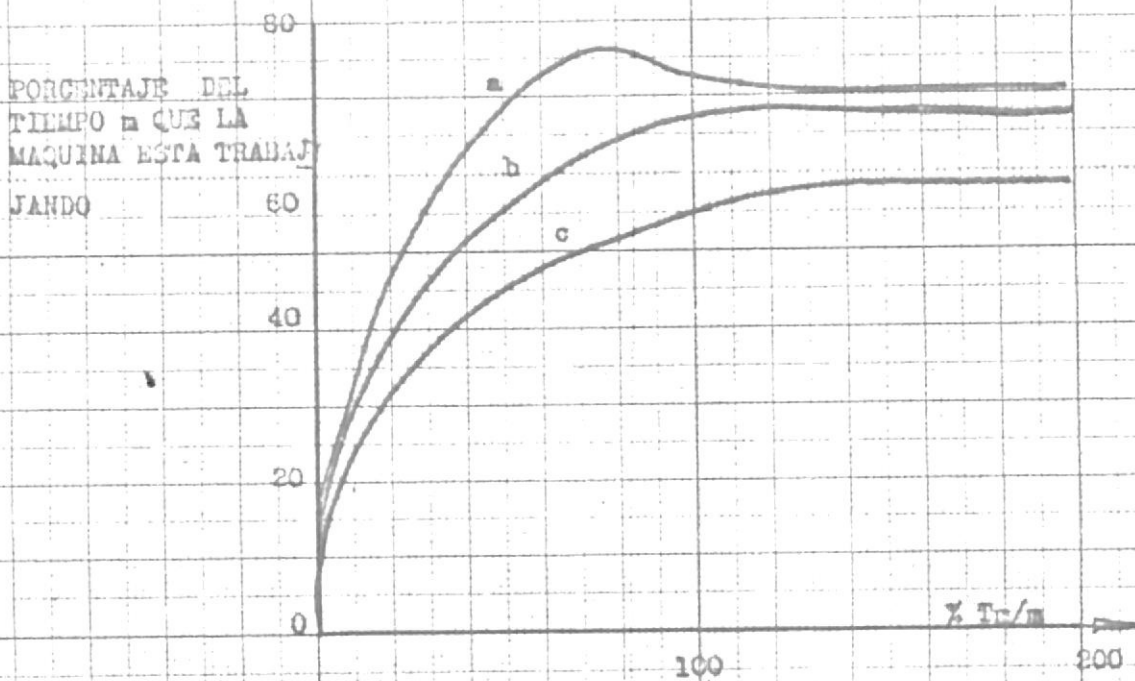


FIGURA N° 9 : DISTRIBUCION DEL PORCENTAJE DEL TIEMPO QUE UNA MAQUINA ESTA THABAJANDO PARA TRES DISTRIBUCIONES DEL TIEMPO ENTRE DESCOMPOSTURAS

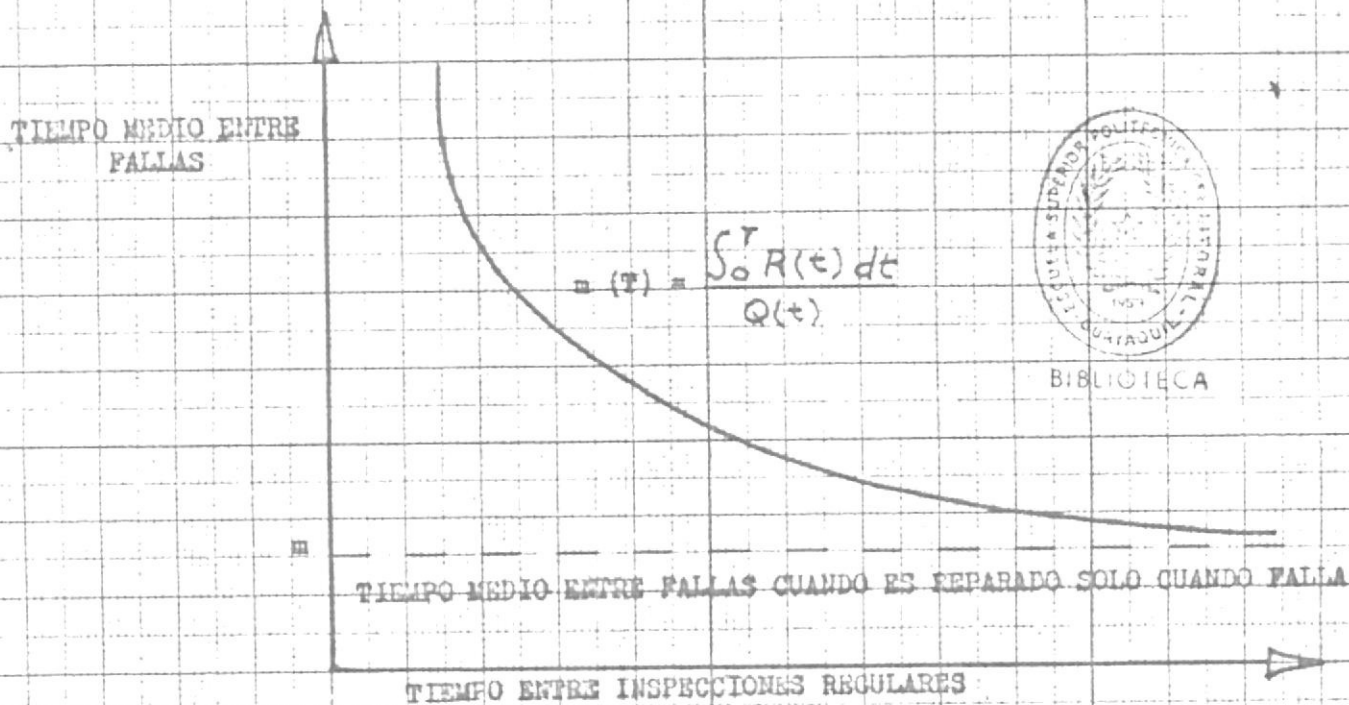


FIGURA N° 10 : RELACION ENTRE EL TIEMPO ENTRE INSPECCIONES REGULARES Y EL TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS.

Consideremos ahora los efectos de una política de mantenimiento en la confiabilidad de sistemas para varias máquinas. Como ya habíamos visto si un sistema no está afectado por fallas debido al desgaste, la confiabilidad durante un tiempo de T_0 horas será:

$$R(T_0) = e^{-T_0/m}$$

Demos un ejemplo práctico. Si fijamos el tiempo de inspección u overhaul de una máquina para cada 800 horas, y si hemos encontrado anteriormente que el tiempo medio entre fallas es de 4.000 horas, la probabilidad de que el sistema funcione sin fallas en las 800 horas, o sea su confiabilidad será:

$$R = e^{-T_0/m} = e^{-800/4.000} = e^{-0,2} = 0,81873$$

Esto significa que esperamos que alrededor del 82% de las máquinas lleguen a las 800 horas, y la probabilidad de falla $Q(t)$ será del 18%.

Pasaremos ahora a encontrar un nuevo tiempo, que llamaremos tiempo promedio, que será el tiempo medio entre reparaciones programadas y no programadas. Según Bazobsky (4) este tiempo será igual a

$$T_{avg} = m \cdot Q(t) \quad (1-30)$$

En nuestro ejemplo:

$$T_{avg} = 4.000 \cdot 0,18 = 730 \text{ horas.}$$

Con esto queremos decir que el tiempo promedio se puede encontrar multiplicando el tiempo medio encontrado entre fallas, por la probabilidad de falla del período propuesto para las inspecciones. También podemos decir que la confiabilidad se puede aumentar disminuyendo el período entre inspecciones.

En la figura 10 encontramos la relación que existe entre el tiempo entre inspecciones regulares y el tiempo medio entre fallas. Mientras menor es el tiempo entre inspecciones, mayor será el tiempo medio entre fallas. Si aumentamos el tiempo entre inspecciones, dis

minuirá el tiempo medio entre fallas.

En la figura 11, para comprender mejor lo anterior, usamos la probabilidad de falla. Vemos como la probabilidad de falla aumenta hasta llegar a la probabilidad de falla del componente más débil si no hacemos ninguna inspección o reparación.

Cada vez que hacemos una inspección, vemos que la probabilidad de falla baja a 0. Mientras mayor sea el tiempo que dejemos entre inspecciones, mayor será la probabilidad de una falla. Si disminuimos el tiempo entre inspecciones, menor será la probabilidad de falla.

1-4 - c) MINIMIZACION DEL TIEMPO IMPRODUCTIVO

Si suponemos que toda máquina va a fallar alguna vez, veremos que el tiempo que pasa parada es un tiempo improductivo, pues no rinde ningún beneficio. El reducir este tiempo a su mínimo posible es una de las tareas del mantenimiento preventivo.

Se pueden hacer algunas generalizaciones acerca de las políticas de mantenimiento preventivo, a partir de los conceptos que hemos desarrollado. Cuando la máquina tiene una poca variabilidad como las de la curva a en la figura N° 7, significa que podemos predecir con cierta precisión cuando ocurrirán la mayor parte de las descomposturas. Entonces podemos establecer un período normal de mantenimiento preventivo, el cual anticipa bastante bien las descomposturas y minimice por lo tanto el tiempo improductivo.

Es igualmente importante la relación del tiempo de mantenimiento preventivo al tiempo de reparación. Si lleva al mismo tiempo efectuar el mantenimiento que reparar la máquina, no existe ninguna ventaja en el mantenimiento preventivo, el cual en realidad, tiene el efecto de reducir la cantidad de tiempo que la máquina pueda trabajar. Sin embargo, el efecto de los costos por tiempo improductivo puede modificar las condiciones enunciadas. Por ejemplo, -

λ RAZON DE FALLA

$$\lambda(t) = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt}$$

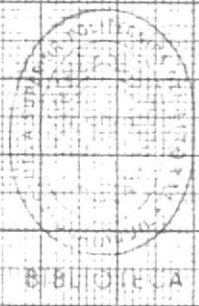
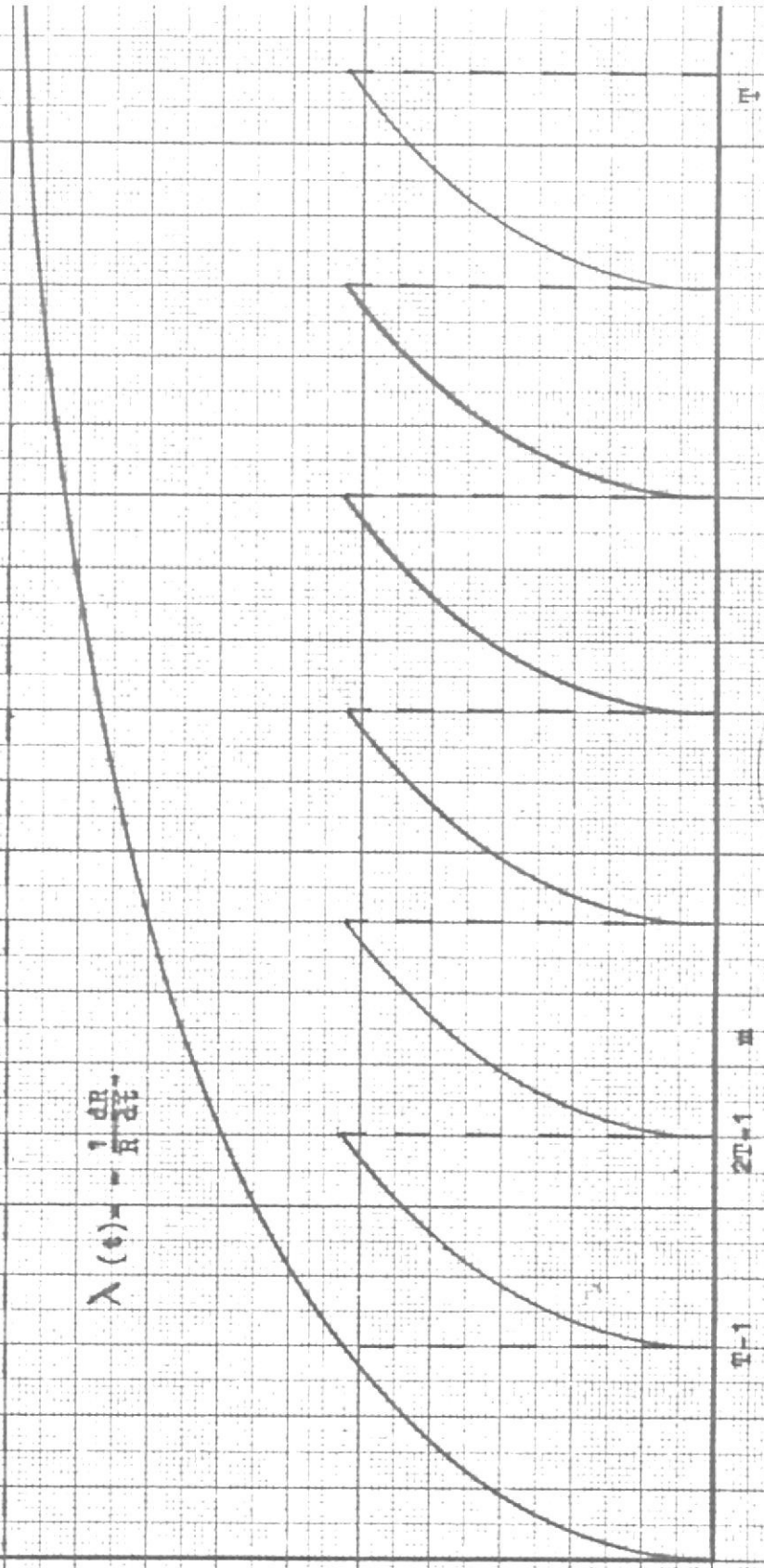


FIGURA # 21: RAZON DE FALLA DE UN EQUIPO CON Y SIN MANTENIMIENTO

una máquina en una línea de producción; si la máquina se para, se puede parar la línea entera, lo que acarrearía costos de mano de obra elevados por ociosidad. También no es conveniente cuando el daño puede causar otros daños mayores dentro de la maquinaria, o cuando la materia prima en proceso puede destruirse o dañarse, si es que tiene que esperar por mucho tiempo. En estos casos el mantenimiento preventivo es deseable.

Debe tratar de hacerse este mantenimiento cuando la planta está normalmente parada. Hay que buscar una solución óptima que minimice los costos totales por tiempo improductivo, o sea los costos de mantenimiento preventivo más los costos de reparación. El efecto de los costos del tiempo improductivo sería el de justificar períodos normales de mantenimiento menores y el justificar que se hagan reparaciones más rápidamente (a mayor costos) cuando estas ocurren. Sin embargo, existen muchos casos donde la mano de obra extra no aceleraría el trabajo de reparaciones. En tales casos, el tiempo total de reparaciones puede acortarse mediante trabajo extra por la noche, o en fines de semana, con costos mayores de mano de obra. Las soluciones óptimas especificarían el período normal de mantenimiento preventivo, el tiempo ocioso de las máquinas y el tiempo ocioso del personal de reparación. Deben lograr un equilibrio entre los costos por tiempo improductivo y los de mantenimiento.

Un caso especial se presenta cuando las ventas son tales que la planta debe operar a plena capacidad para satisfacer la demanda. Bajo estas circunstancias el reducir el tiempo de trabajo de una máquina debido a reparaciones y a mantenimiento preventivo, reduce el número de unidades que se puede vender y por lo tanto afecta el ingreso de la empresa. Entonces la política se inclina aún más en favor de acortar los períodos normales de mantenimiento preventivo y poner un esfuerzo en reparar las máquinas más rápidamente cuando ocurre una descompostura.

La situación que hemos discutido para una sola máquina - contiene los elementos básicos de una política general, los cuales pueden aplicarse en el caso de varias máquinas aunque existen variaciones. Supongamos que cuando las máquinas se dañan, el personal de reparaciones las arregle en un tiempo promedio T como en el caso anterior. Si el personal de reparaciones está trabajando ya en una máquina, las máquinas que posteriormente se dañen, deben esperar para recibir servicio y los costos de tiempo improductivo se incrementará con este retraso. Podemos reducir la posibilidad de que esto pase al aumentar el número del personal de reparación, - aunque esta solución también cuesta dinero e incrementará además el tiempo que este personal estará ocioso esperando que ocurran descomposturas. Entonces el problema consiste en alcanzar un equilibrio entre los costos del tiempo improductivo de las máquinas y los costos del tiempo ocioso del personal de mantenimiento.

Cuando los tiempos entre descomposturas siguen la distribución exponencial, y cuando los tiempos de reparación están también exponencialmente distribuidos, la media del número de máquinas en funcionamiento puede relacionarse con la proporción entre el promedio de tiempo entre descomposturas y el promedio de tiempos de servicios, o sea, T_a/T_s , como se muestra en la figura N° 12. Este gráfico se puede usar de la siguiente forma: supongamos que tenemos 8 máquinas y la demanda actual nos obliga a tener por lo menos 5 máquinas funcionando permanentemente.

Colocamos en el eje de las ordenadas la media del número de máquinas y en la abscisa la relación T_a/T_s . De la curva $K = 8$, obtenemos el valor de T_s/T_s correspondiente a un promedio de 5 máquinas funcionando. Nos da un valor cercano a 7. Esto significa que - si el tiempo medio entre descomposturas fuera de 70 días, entonces las instalaciones y el personal de mantenimiento deberá ser suficiente para dar servicios a las máquinas en un tiempo promedio.

MEDIA DEL #
DE MAQUINAS
FUNCIONANDO

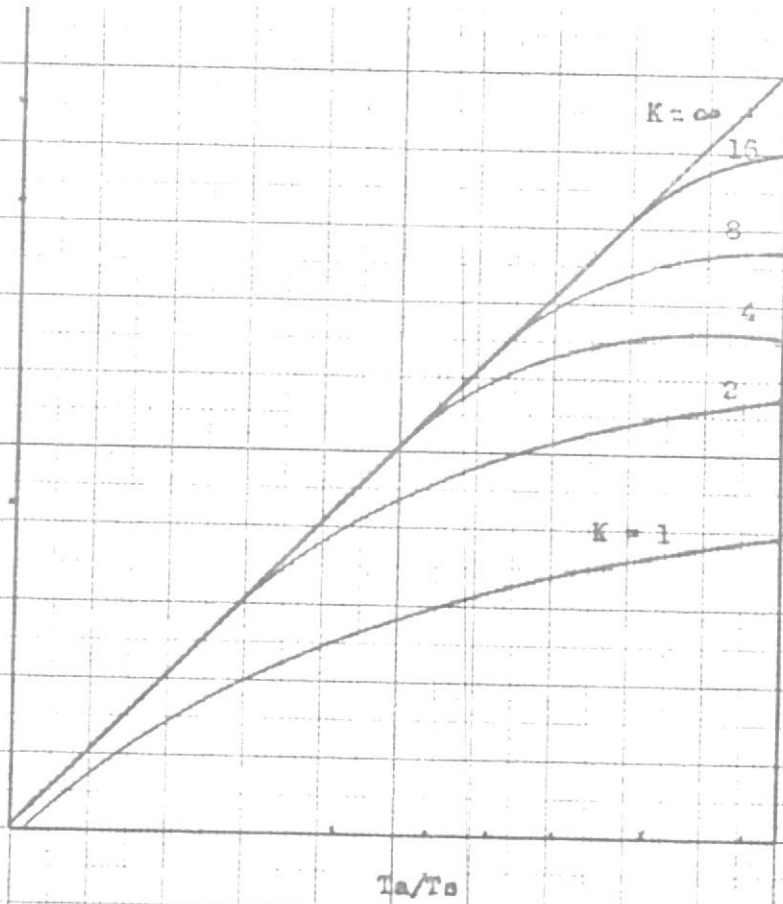


FIGURA N° 12 : MEDIA DEL NUMERO DE MAQUINAS FUNCIONANDO, CUANDO LOS TIEMPOS ENTRE DESCOMPOSTURAS Y DE REPARACION ESTAN DISTRIBUIDOS EXPONENCIALMENTE

PORCENTAJE
OCUPADO DEL
PERSONAL

100

50

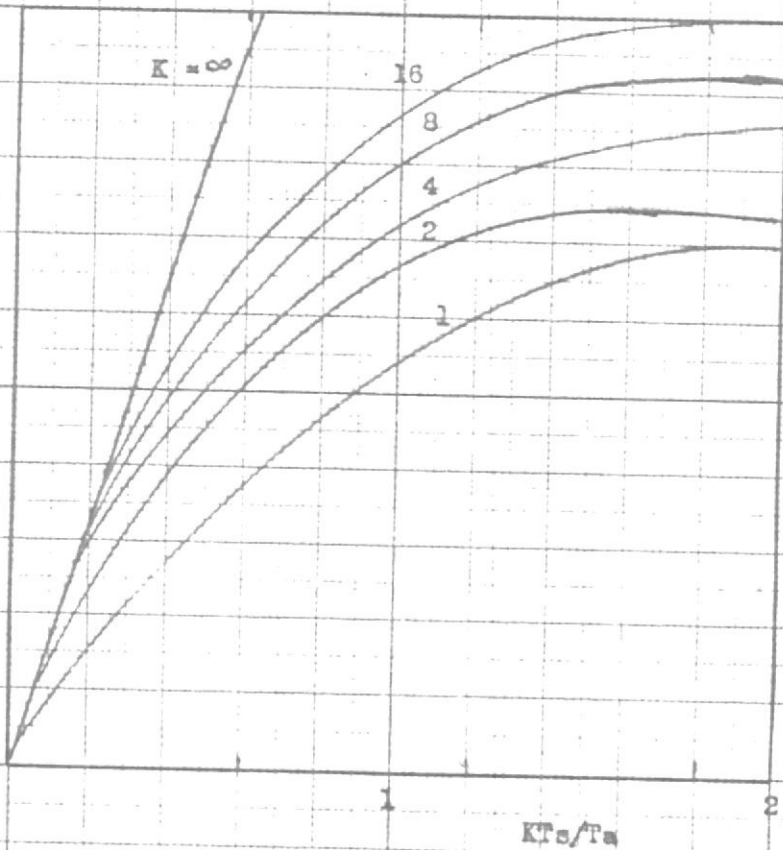


FIGURA N° 14 : PORCENTAJE DEL TIEMPO QUE EL PERSONAL DE REPARACION ESTA OCUPADO, CUANDO LOS TIEMPOS ENTRE DESCOMPOSTURAS Y REPARACION ESTAN DISTRIBUIDOS EXPONENCIALMENTE.

$$T_s = \frac{70}{7} = 10 \text{ días} = \frac{T_a}{7}$$

Para proporcionar este nivel de servicio, el personal deberá estar ocupado casi el 80% del tiempo, lo que observamos en la figura N° 14.

Como tenemos $K = 8$ y $T_s/T_a = 1/7$, colocamos la relación KT_s/T_a en la abscisa y en la ordenada el tiempo en porcentaje que está ocupado el personal. Usando la curva para $K = 8$, estamos en capacidad para encontrar este porcentaje. El objeto es minimizar el tiempo improductivo, además de los costos de mantenimiento, suponiendo que T_s se pueda reducir al incrementar el personal.

1-5) CONFIABILIDAD DE SISTEMAS

Habíamos visto ya que era la confiabilidad y deducido su fórmula. Ahora veamos su aplicación en grupos de equipos o sistemas. Si necesitamos aumentar la confiabilidad de un equipo comenzaremos por un buen mantenimiento, buenos operarios, buena operación del equipo, etc. Pero, en la práctica encontramos situaciones que exigirán una confiabilidad mayor que la que nos puede asegurar un buen mantenimiento, y en que se debe evitar por cualquier medio que se detenga el equipo. Para esto usamos sistemas en paralelo o redundantes, que los explicaremos más tarde.

La confiabilidad de sistemas se basa en el cálculo de probabilidades que ya habíamos visto anteriormente. Para aplicar este cálculo a un sistema, necesitamos conocer las confiabilidades de sus partes componentes, ya que afectan la confiabilidad del todo.

El cálculo de la confiabilidad de sistemas se basa en dos factores principales que son:

- 1.- Una medida tan precisa como sea posible de las confiabilidades de las partes que pueden causar falla en un sistema.

2.- Cálculo de la confiabilidad de los diferentes arreglos que se pueden hacer con un sistema.

Usaremos las siguientes reglas básicas del cálculo de probabilidades:

1.- Si A y B son eventos independientes, la probabilidad de que ambos ocurran es igual al producto de sus probabilidades.

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B)$$

2.- Si los dos eventos pueden ocurrir simultáneamente, la probabilidad de que sólo A o B, o ambos A y B ocurran es:

$$P(A \text{ o } B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B)$$

3.- Si los dos eventos son mutuamente exclusivos, de modo que cuando suceda el uno no pueda suceder el otro, la ecuación anterior nos queda:

$$P(A \text{ o } B) = P(A) + P(B)$$

4.- Si los dos eventos son complementarios, además de ser mutuamente exclusivos, esto es, si A no ocurre, B debe ocurrir y viceversa, tenemos:

$$P(A) + P(B) = 1$$

Trasladaremos ahora todas estas reglas al lenguaje de la confiabilidad, donde el éxito o la falla de un componente son hechos mutuamente exclusivos. R será la confiabilidad y Q la probabilidad de falla. Transformamos entonces la regla:

1.- Si un componente tiene una confiabilidad R_1 y otro una confiabilidad R_2 , la probabilidad de que ambos sobrevivan un tiempo de operación dado será:

$$R_t(t) = R_1(t) \times R_2(t)$$

Sabemos que: $R(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt}$ luego, (1-31)

$$R_t(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda_1 dt\right] \exp\left[-\int_0^t \lambda_2 dt\right]$$

donde λ_1 y λ_2 , son las razones de falla de los componentes.

2.- La probabilidad de que uno o dos de los componentes fallen es:

$$\begin{aligned} Q &= Q_1(t) + Q_2(t) - Q_1(t) Q_2(t) \\ &= [1 - R_1(t)] + [1 - R_2(t)] - [1 - R_1(t)][1 - R_2(t)] = \\ &= 1 - R_1(t) \cdot R_2(t) \end{aligned} \quad (1-32)$$

3.- La probabilidad de que uno o dos de los componentes fallen es:

$$\begin{aligned} R &= R_1(t) + R_2(t) - R_1(t) R_2(t) \\ R_p &= \exp \left[-\int_0^t \lambda_1 dt \right] + \exp \left[-\int_0^t \lambda_2 dt \right] - \exp \left[-\int_0^t (\lambda_1 + \lambda_2) dt \right] \end{aligned} \quad (1-33)$$

4.- La probabilidad de que ambos componentes fallen es:

$$\begin{aligned} Q(t) &= Q_1(t) Q_2(t) = [1 - R_1(t)][1 - R_2(t)] \\ &= 1 - R_1(t) - R_2(t) + R_1(t) \cdot R_2(t) \\ &= 1 - R(t) \end{aligned} \quad (1-34)$$

De estos cuatro casos podemos hacer las siguientes deducciones que nos serán muy útiles más tarde. En los casos 1 y 2, vemos que los eventos son complementarios, de modo que $R + Q = 1$. Aquí existe la posibilidad de que un elemento falle o ambos fallen, o el otro. Esta es la manera como se comportan los componentes en serie. Si uno falla, falla el sistema.

Los casos 3 y 4 son también complementarios de manera que $R + Q = 1$, porque el evento complementario a que ambos fallen, es que uno de los dos, o los dos sobrevivan.

Así funcionan los equipos en paralelo. Si un componente falla, hay otro que puede realizar la función requerida. Si existe por ejemplo, n componentes iguales, pueden fallar hasta $n-1$ componentes y el equipo sigue funcionando.

Veamos ahora en más detalle estos arreglos de componentes.

1-5 - a) SISTEMAS EN SERIE Y PARALELO

SISTEMAS EN SERIE.- Habíamos encontrado en la sección anterior, que si los componentes se hallaban conectados de tal manera en un equipo que si falla uno de ellos, falla todo el equipo, el equipo se hallaba conectado en serie. Entonces deducimos que la confiabilidad del sistema no es mejor que la del elemento con menor probabilidad de sobrevivir.

Como habíamos dicho, aplicaremos para el cálculo de la confiabilidad de componentes en serie la regla del Producto de la probabilidad. Si tenemos n componentes y llamamos R_s a la confiabilidad total nos quedará:

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \dots \quad R_n = \prod_{i=1}^n R_i$$

Sabemos que la confiabilidad es igual a $R = e^{-\lambda t}$ de modo que podemos cambiar la fórmula anterior a:

$$\begin{aligned} R_s &= e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \cdot e^{-\lambda_3 t} \dots e^{-\lambda_n t} \\ R_s &= e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n)t} \\ R_s &= \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t\right) \end{aligned} \quad (1-35)$$

Daremos a continuación un ejemplo práctico del uso de esta fórmula: Consideremos un circuito electrónico consistente en 4 transistores de silicón, 10 diodos de silicón, 20 resistores y 10 capacitores en continua operación en serie. Consideremos que las conexiones son 100% confiables y que el equipo esta en un medio ambiente propicio para su funcionamiento. En estas condiciones se ha encontrado que las razones de falla son las siguientes:

diodos	= d	= 0,000002 c/u
transistores	= t	= 0,00001 c/u
resistores	= r	= 0,000001 c/u
capacitores	= c	= 0,000002 c/u

La confiabilidad nos quedaría de la siguiente manera:

10 diodos	$10 \times 0,000002$	$= 0,00002$
4 transistores	$4 \times 0,00001$	$= 0,00004$
20 resistores	$20 \times 0,000001$	$= 0,00002$
10 capacitores	$10 \times 0,000002$	$= 0,00002$
		<hr/>
		$= 0,0001$

Esto también puede escribirse de la siguiente manera:

$$\sum \lambda_i = 10 \lambda_d + 4 \lambda_t + 20 \lambda_R + 10 \lambda_C = 0,0001$$

La confiabilidad del circuito será entonces para el circuito durante un tiempo t:

$$R_s(t) = e^{-0,0001 \cdot t}$$

Si quisiéramos averiguar la confiabilidad del circuito durante un tiempo de 10 horas tendríamos:

$$R_s(10) = e^{-0,0001 \cdot 10} = e^{-0,001} = 0,999 \Rightarrow 99,9\%$$

La probabilidad de falla, que sería en este caso el hecho complementario es:

$$1 - 0,999 = 0,0001$$

Si nos fijamos en la fórmula que hemos encontrado, podemos deducir algunas variaciones que nos pueden ser útiles. Por ejemplo, si todas las piezas que componen el sistema tienen la misma confiabilidad, la fórmula se transformaría en:

$$R_t = R^n \tag{1-36}$$

donde R_t sería la confiabilidad de un sistema compuesto de partes iguales y n sería el número de elementos.

Habíamos también visto en la introducción sobre Estadística, lo que es una media geométrica. Podemos usar esto cuando existen pocos componentes y estos no son iguales, creando una confiabilidad arbitraria. Pongamos un ejemplo para ilustrar estas fórmulas auxiliares que hemos encontrado. Sea un equipo que consta de tres componentes, cada uno con una confiabilidad respectiva de $R_a = 0,92$, $R_b = 0,95$,

$R_c = 0,96$. Calcular la confiabilidad usando los métodos encontrados.

Usando la regla del Producto, tenemos:

$$R = R_a \cdot R_b \cdot R_c$$

$$R = (0,92) (0,95) (0,96) = 0,839$$

Encontramos ahora la media geométrica de estas tres confiabilidades. Nos queda:

$$G = \sqrt[n]{(R_1)(R_2)(R_3)\dots(R_n)} = R$$

$$G = \sqrt[3]{(0,92)(0,95)(0,96)} = \sqrt[3]{0,839} = 0,9440$$

Substituímos este valor en la ecuación y nos queda:

$$R_T = R^n = \frac{0,839}{0,9440^3} = 0,839$$

Luego la confiabilidad encontrada por ambos sistemas es la misma. Cuando existen en un sistema en serie algunas partes que tienen la misma confiabilidad, estos pueden ser agrupados en conjuntos que tengan la misma confiabilidad. Estamos entonces, en capacidad de deducir otra fórmula. Si existen n partes de R_1 confiabilidad, n_2 de confiabilidad, R_2 , etc., la confiabilidad total puede ser expresada como:

$$R_T = (R_1)^{n_1} \cdot (R_2)^{n_2} \cdot (R_3)^{n_3} \dots \quad (1-37)$$

Hagamos ahora una consideración. En un equipo que se halla en operación durante t horas, no todos los componentes de este sistema trabajaran durante todo este período de tiempo. Habrá componentes que trabajarán solo durante una fracción de t , o también puede suceder que no estén sometidos a su esfuerzo normal sino durante parte del tiempo, por cuál puede aumentar su confiabilidad. Todo esto nos puede llevar a errores en el cálculo de la confiabilidad de componentes en serie, pues estamos asignado una confiabilidad muy baja a ciertos elementos que en realidad, funcionan durante menos tiempo y a menos carga de lo normal, la mayoría del tiempo. Si suponemos, por ejemplo, que en un componente funciona sólo $1/10$ del tiempo t del resto del sistema, tendremos, usando las fórmulas que ya hemos visto, -

que la confiabilidad del componente para t horas de operación será:

$$\exp\left(\frac{x' t}{10}\right) = \exp\left[\frac{-\lambda' t}{10}\right] \quad (1-38)$$

donde λ' es la razón de falla del componente por hora.

En general, cuando un componente opera un porcentaje del tiempo de operación del sistema, se asume que la razón de falla, según Calabro, es

$$\lambda = \frac{\lambda' t_1}{t} \quad (1-39)$$

Esta confiabilidad del componente es la que usaremos para nuestros cálculos de sistemas en serie o paralelo.

SISTEMA EN PARALELO

Se llama sistema en paralelo porque elementos, y aún sistemas completos, se hallan conectados de tal manera que si uno de ellos falla, el otro puede ocupar su lugar. Esto se hace cuando se requiere una gran confiabilidad.

El cálculo de la confiabilidad de sistemas en paralelo se basa en las dos fórmulas de probabilidad anteriormente estudiadas. - Estas son:

$$R_p(t) = R_1(t) + R_2(t) - R_1(t) R_2(t)$$

$$Q_p(t) = Q_1(t) Q_2(t) = 1 - R_p(t)$$

y en el caso exponencial

$$R_p(t) = e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}$$

$$Q_p(t) = (1 - e^{-\lambda_1 t})(1 - e^{-\lambda_2 t})$$

Cuando existen más de dos componentes en paralelo, cada uno con una confiabilidad R y una probabilidad de falla Q , vemos que cada unidad puede funcionar separada e independientemente, para una apropiada realización de la tarea. De manera que la única manera que puede fallar el sistema, es si todos los elementos fallan. Como ca-

da elemento es independiente, podemos aplicar la ley de productos - de la probabilidad para encontrar la probabilidad de falla del sistema. Si tenemos n componentes entonces la fórmula queda:

$$Q_p = Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \dots Q_n \quad (1-40)$$

La confiabilidad R_p será entonces

$$R_p = 1 - Q_p \quad (1-41)$$

En el caso común de que las confiabilidades de todas las unidades en paralelo sean las mismas nos queda:

$$Q_p = Q_1^n \quad (1-42)$$

$$R_p = 1 - Q_1^n \quad (1-43)$$

Quando dos componentes con una razón de falla de λ_1 y λ_2 operan en paralelo como podemos ilustrarlo, con la figura N° 15.

La confiabilidad del sistema es:

$$R_p = e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}$$

Asumamos ahora que existen tres unidades iguales, cada una de las cuales tiene un número de componentes en serie, operando en paralelo. La razón de falla de cada unidad es la suma de sus componentes en serie. Sea la suma igual a $\lambda = 0,01$. La confiabilidad - para una unidad por 10 horas será:

$$R = e^{-0,01 \cdot 10} = e^{-0,1} = 0,90484$$

Veamos cuanto aumenta la confiabilidad al usar 3 grupos en paralelo.

La probabilidad de falla de una unidad para $t = 10$ horas - es:

$$Q = 1 - R = 1 - 0,90484 = 0,09516$$

La probabilidad de falla de los tres grupos en paralelos se rán, por la fórmula (1-40)

$$Q_p = Q^3 = (0,09516)^3 = 0,000862$$

La confiabilidad de los tres grupos en paralelo es por lo tanto por la fórmula (1-43)

$$R_p = 1 - Q_p = 1 - 0,000862 = 0,999138$$

Entonces hemos aumentado la confiabilidad del 90% al 99%. En otras palabras, con una sola unidad, esperábamos que de cada 100 equipos, al cabo de 10 horas, fallen 10. Pero con tres equipos en paralelo, uno de cada 1.000 sistemas fallarán al cabo de 10 horas.

Es interesante observar que sucede cuando dejamos a los 3 grupos en paralelo sin mantenimiento y los dejamos funcionar hasta que fallen y sean reemplazados por otro. Queremos saber si en este caso seguirá habiendo solo una falla en mil.

Para esto computamos el tiempo medio entre fallas para 3 grupos de paralelo.

$$m_p = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2\lambda} + \frac{1}{3\lambda} = 100 + 50 + 33 = 183 \text{ horas}$$

Esto quiere decir que tendremos una falla cada 18,3 períodos de 10 horas. Lo que significa que en 1.000 horas tendremos $1.000/18,3$ veces o sea, 54 veces. Esto corresponde a una confiabilidad de 964 éxitos y 54 fallas, o sea, $R = 0,946$.

Como resultado podemos observar que si no tenemos un mantenimiento adecuado, no se ganará mucho con tener 3 grupos en paralelo, pues la confiabilidad de un grupo es 0,905 y la de 3 grupos en paralelo sin mantenimiento es 0,946. Pero si mantenemos los grupos en su mejor estado obtendremos una confiabilidad de 0,999. Por lo tanto, cuando importa la confiabilidad, debemos mantener o revisar las unidades después de cada operación, o en el período conveniente y si alguno falló, repararlo o cambiarlo antes de comenzar a operar nuevamente.

Para ilustrar mejor esto, hagamos un gráfico con las confia

bilidades de tres unidades en paralelo y la de una sola unidad.

En la figura Nº 16, vemos que una ganancia de varios órdenes de magnitud se obtienen en períodos cortos con tres unidades en paralelo. Por ejemplo, en 10 horas tenemos respectivamente 0,9 para una sola unidad y 0,999 para 3 unidades. Se ganan aquí 3 órdenes de magnitud.

El gráfico muestra también que la razón de supervivencia de confiabilidades en paralelo es exponencial y por lo tanto su razón de falla no es constante.

El tiempo medio entre fallas para una sola unidad con

$$\lambda = 0,001 \text{ es}$$

$$m = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ horas}$$

Para una unidad el tiempo medio entre fallas es 100 horas mientras que para tres unidades en paralelo es de 183 horas. El valor de R a $t = m$ es 0,37 para la curva exponencial de una sola unidad y para $t = mp$ es 0,408 en caso de 3 unidades en paralelo. Este valor aumenta según aumenta el número de unidades en paralelo.

Para poder darnos cuenta de todas las posibilidades que pueden existir al operar 3 grupos en paralelo, cada una con una confiabilidad R y una probabilidad de falla Q expanderemos el binomio $(R + Q)^3 = 1$. Nos queda:

$$(R + Q)^3 = R^3 + 3R^2Q + 3RQ^2 + Q^3 = 1 \quad (1-44)$$

El primer término de la expansión, R^3 representa la probabilidad de que los 3 componentes sobrevivan la operación; el segundo término representa la probabilidad de que 2 sobrevivan y 1 falle; el tercer término es la probabilidad de que 1 sobreviva y 2 fallen y el último la probabilidad de que todos fallen. Este último término es también la probabilidad de que falle el sistema porque habíamos dicho que mientras un equipo sobreviva, funcionará el

$$R = e^{-\lambda t}$$

$$R = e^{-\lambda t}$$

FIGURA N° 15 : DOS COMPONENTES EN PARALELO



BIBLIOTECA

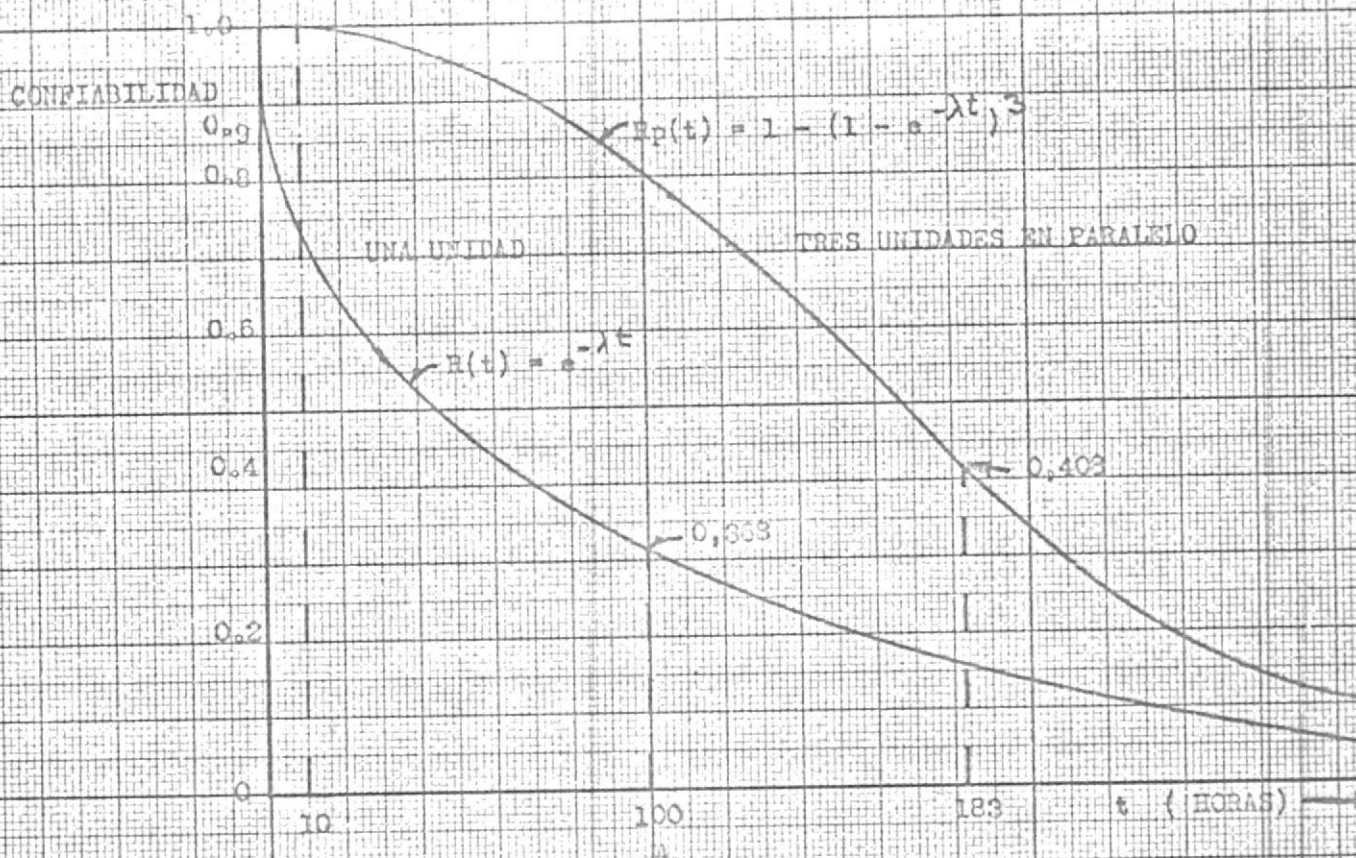


FIGURA N° 16 : CARACTERÍSTICAS DE SUPERVIVENCIA DE TRES UNIDADES EN PARALELO ($\lambda = 6,01$)

sistema. Por lo tanto la confiabilidad del sistema es:

$$R_p = R^3 + 3R^2Q + 3RQ^2 = 1 - Q_p$$

Si especificamos que para que siga funcionando el sistema de 3 unidades en paralelo deben funcionar por lo menos 2, el término $3RQ$ ya no forma parte de la confiabilidad porque es la probabilidad de que fallen 2 equipos. Entonces la probabilidad de falla del sistema será:

$$Q_p = 3RQ^2 + Q^3$$

y la confiabilidad

$$R_p = R^3 + 3R^2Q$$

Para 4 componentes iguales operando en paralelo la expansión binomial queda:

$$(R + Q)^4 = R^4 + 4R^3Q + 6R^2Q^2 + 4RQ^3 + Q^4 = 1 \quad (1-45)$$

Para obtener la confiabilidad de este sistema rechazamos aquellos términos que representen fallas del sistema. Si por lo menos un equipo debe sobrevivir para que funcione el sistema, tendremos que:

$$R_p = R^4 + 4R^3Q + 6R^2Q^2 + 4RQ^3$$

Si por lo menos 3 componentes deben sobrevivir para que funcione el sistema nos queda:

$$R_p = R^4 + 4R^3Q$$

Este es el caso por ejemplo, de un avión de 4 motores, en que la misión puede ser completada con 3 motores, pero que con 2 debe hacer un aterrizaje de emergencia.

Para n componentes iguales en paralelo la expansión binomial:

$$(R+Q)^n = R^n + nR^{n-1}Q + \frac{n(n-1)}{2!} R^{n-2} Q^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} R^{n-3} Q^3 + \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)}{4!} R^{n-4} Q^4 + \dots + Q^n = 1 \quad (1-46)$$

MOTOR # 1
 $R = e^{-\lambda t}$

MOTOR # 2
 $R = e^{-\lambda t}$

MOTOR # 3
 $R = e^{-\lambda t}$

FIGURA N° 17 - SISTEMA PROPULSOR CON TRES MOTORES



BIBLIOTECA

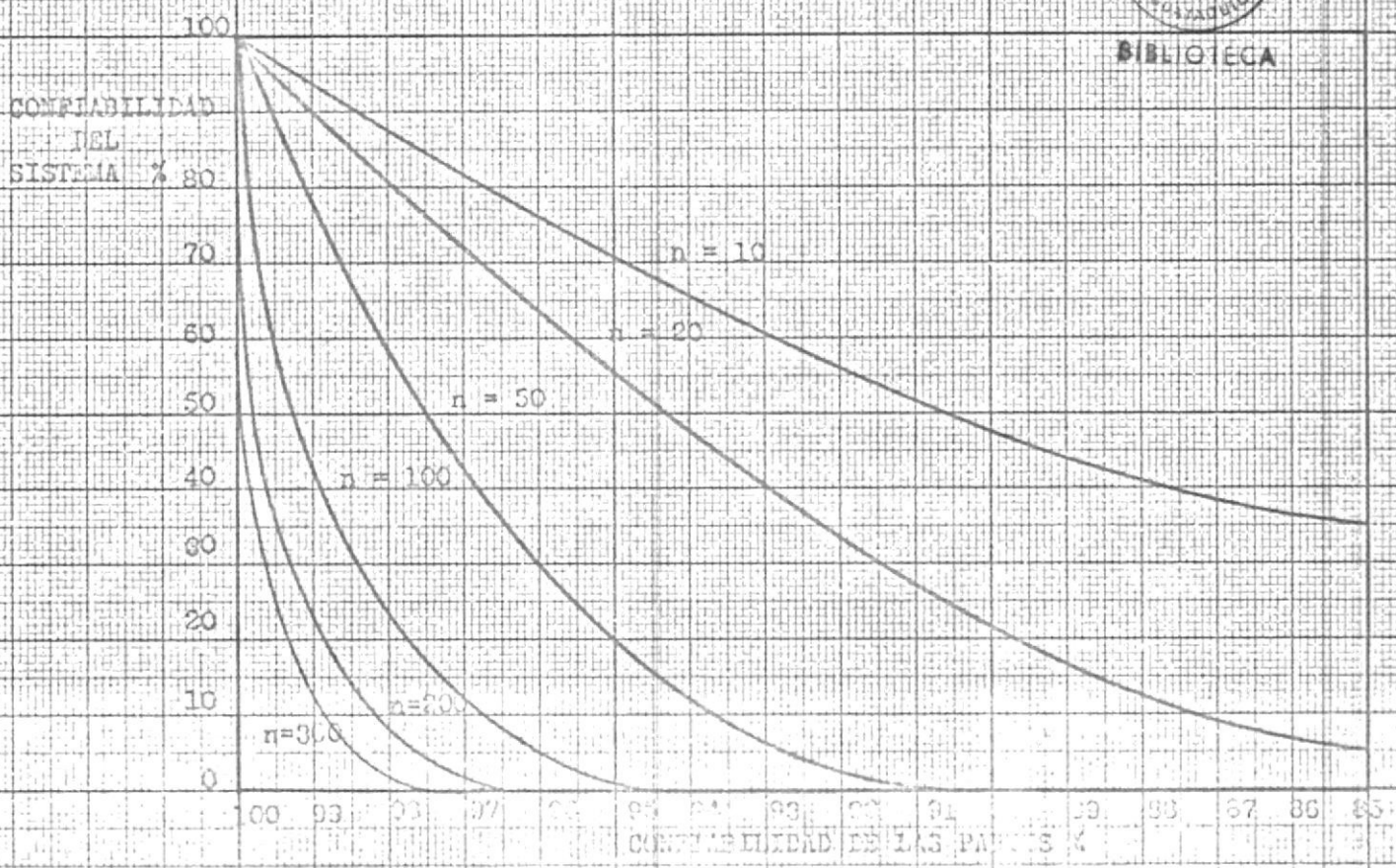


FIGURA N° 18 - COMFIABILIDAD DE UN SISTEMA COMPUESTO DE N PARTES

Un ejemplo sobre estos casos podemos darle con el caso de un avión cuyo sistema propulsor consiste de 3 motores. Cada motor tiene un número de componentes en serie. La razón de falla del motor es de $\lambda = 0,0005$. Es necesario calcular la confiabilidad del sistema de propulsión para una misión que durará 10 horas y en la que por lo menos deben funcionar 2 motores para que tenga éxito. Hagamos un diagrama del sistema, como se ve en la figura Nº 17.

La confiabilidad de un motor para 10 horas es:

$$R = e^{-0,0005 \cdot 10} = e^{-0,005} = 0,995012$$

La expansión binomia para al menos 2 motores de 3 funcionando en paralelo nos dá:

$$\begin{aligned} R_p &= R^3 + 3R^2Q && \text{Transformando} \\ R_p &= R^3 + 3R^2(1-R) && \text{porque } Q = (1-R) \\ &= 3R^2 - 2R^3 \end{aligned}$$

$$R_p = 3(0,995012)^2 - 2(0,995012)^3 = 0,999926$$

la cual es una confiabilidad muy alta.

Cuando los componentes de un sistema en paralelo no tienen confiabilidades iguales, los cálculos se hacen más complicados. Veamos 3 unidades con confiabilidades R_1, R_2, R_3 , operando simultáneamente en paralelo. Queremos saber la confiabilidad de este sistema cuando al menos uno de los componentes debe funcionar para que funcione el sistema. Procedemos a desarrollar esto, en vez de $(R + Q)^3$:

$$\begin{aligned} (R_1+Q_1)(R_2+Q_2)(R_3+Q_3) &= R_1R_2R_3 + (R_1R_2Q_3 + R_1R_2Q_2 + R_2R_3Q_3) \\ &+ (R_1Q_2Q_3 + R_2Q_1Q_3 + R_3Q_2Q_1) + Q_1Q_2Q_3 = 1 \end{aligned}$$

Para encontrar la confiabilidad del sistema descartamos el último término que es la probabilidad de que los 3 componentes fallen y sumamos todos los demás términos. Esta suma será la confiabilidad del sistema. Si especificamos que deben funcionar 2 compo-

nentes por lo menos para que funcione el sistema, separamos el último término y todos los que contengan la probabilidad de falla de dos componentes.

COMPARACION ENTRE CONFIABILIDAD EN SERIE Y PARALELO

Como se ha comprobado, la confiabilidad de partes en paralelo es siempre mayor que la de partes en serie.

La razón es que los sistemas en paralelo proveen más de una pieza o mecanismo para realizar una función. Así cuando la una falla, otra puede ocupar su lugar. Las dos figuras, nº 18 y Nº 19, ilustran mejor esto. Se puede dar cuenta que mientras mayor número de partes hayan en paralelo, aumenta la confiabilidad, mientras que sucede lo contrario con la confiabilidad de equipos en serie.

1-5 - b) SISTEMAS REDUNDANTES

Los sistemas redundantes son muy útiles para elevar la confiabilidad de un sistema. A la confiabilidad de sistemas redundantes se la puede llamar también, confiabilidad de equipos en Stand-by. A veces no es posible usar u operar unidades o componentes en paralelo, entonces se pueden hacer arreglos de unidades redundantes o en stand-by. Se diferencia de la operación en paralelo en que en esta todas las unidades funcionan simultáneamente, mientras que en la redundancia cuando un componente falla, el componente alternativo es conectado por medio de un swich como podemos ver en la figura Nº 20.

Los sistemas en stand-by requieren de aparatos sensores y de conexión para poder pa unidad en operación, cuando se ha producido una falla. Asumamos por ahora que los sensores e interruptores tienen una confiabilidad del 100% y que la unidad en operación y en stand-by tienen ambas una razón de falla constante igual a λ . Si n componentes se hallan en stand-by, tendremos n + 1 componentes y

no se producirá una falla del sistema hasta que hayan fallado $n + 1$ componentes. Si denominamos R_b y Q_b la confiabilidad y la probabilidad de falla del sistema y sabiendo que $R_b + Q_b = 1$, podemos escribir:

$$R_b + Q_b = e^{-\lambda t} \left(1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} + \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \dots \right) = 1 \quad (1-47)$$

El segundo término se basa en la distribución de Poisson, estudiado anteriormente. En esta expresión, el término $e^{-\lambda t} - 1$, se presenta la probabilidad de que no se produzca ninguna falla, el término $e^{-\lambda t} (\lambda t)$ es la probabilidad de que sólo ocurra una falla, $e^{-\lambda t} (\lambda t)^2 / 2$ representa la probabilidad de que solo 2 fallas ocurran, etc. Estas probabilidades son por lo tanto las confiabilidades de los arreglos de unidades iguales en stand-by. La fórmula (1-47) puede ser transformada en:

$$R_b + Q_b = e^{-\lambda t} + e^{-\lambda t} (\lambda t) + \frac{\lambda^2 t^2}{2!} e^{-\lambda t} + \dots = 1 \quad (1-46)$$

Si en el sistema se permite una sola falla nos quedará:

$$R_b = e^{-\lambda t} + e^{-\lambda t} (\lambda t) = e^{-\lambda t} (1 + \lambda t) \quad (1-47)$$

que es la confiabilidad de un sistema que tiene un componente operando y otro componente en stand-by con la misma razón de falla. Esta confiabilidad de que haya una sola falla o ninguna. La probabilidad de falla del sistema será:

$$Q_b = 1 - R_b = 1 - e^{-\lambda t} (1 + \lambda t) \\ = e^{-\lambda t} \left[\frac{(\lambda t)^2}{2!} + \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \frac{(\lambda t)^4}{4!} + \dots \right] \quad (1-48)$$

El tiempo medio entre fallas para este sistema en stand-by se obtiene integrando R_b , luego para un sistema de 2 componentes tenemos:

$$m_b = \int_0^{\infty} R_b dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt + \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} (\lambda t) dt \\ = \frac{1}{\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda^2} = \frac{2}{\lambda} \quad (1-49)$$

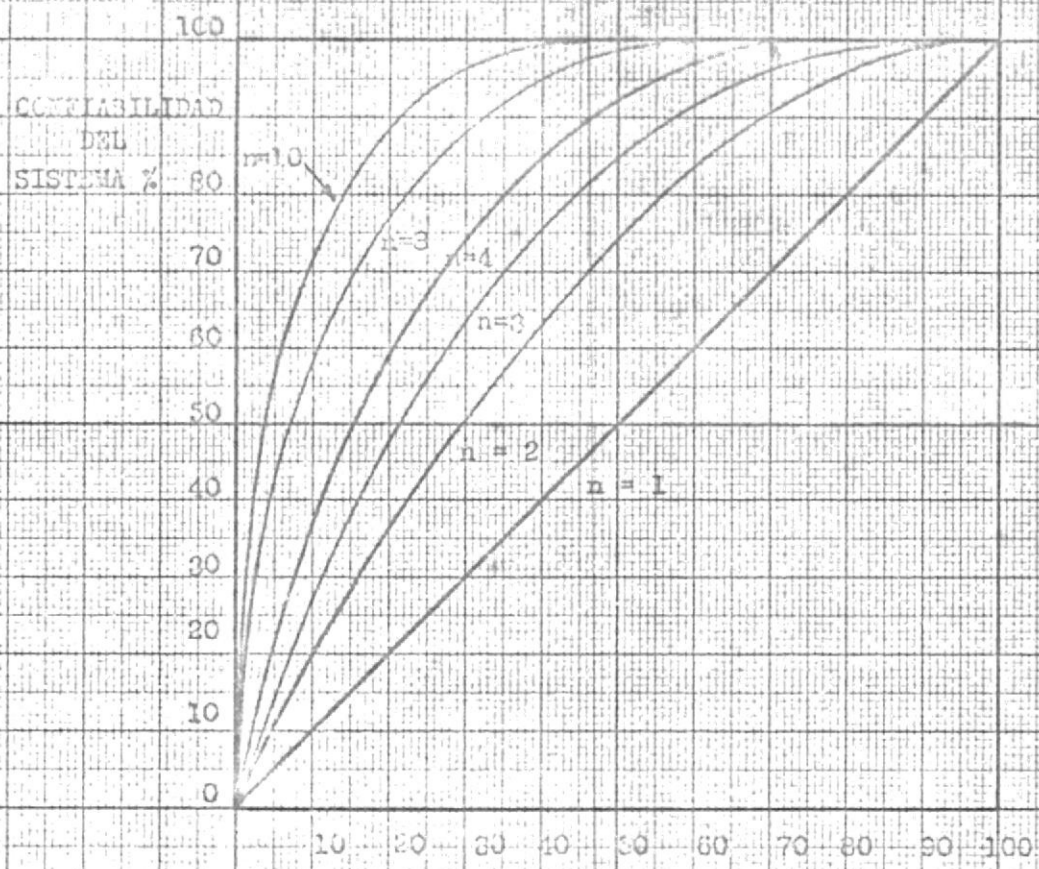


FIGURA N° 10 - CONFIABILIDAD DE UN SISTEMA COMPUESTO DE N PARTES EN PARALELO

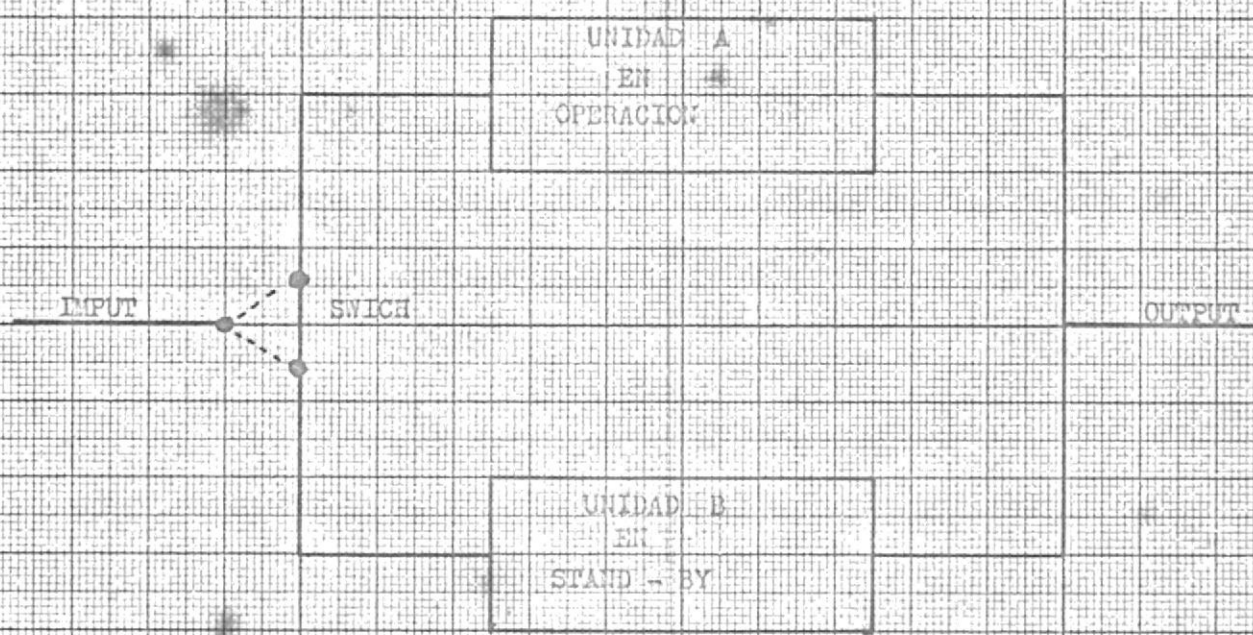


FIGURA N° 20 - SISTEMA EN STAND-BY

Para un sistema de 3 unidades con la misma razón de - falla, en que la una opera y otras dos se hallan en stand-by, tenemos:

$$R_b = e^{-\lambda t} \left(1 - \lambda t + \frac{\lambda^2 t^2}{2!} \right)$$

$$m_b = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda} = 3/\lambda$$

La fórmula general queda pues, para n componentes:

$$R_b = e^{-\lambda t} \left(1 + \lambda t + \frac{\lambda^2 t^2}{2!} + \dots + \frac{\lambda^n t^n}{n!} \right) \quad (1-50)$$

$$(1-51)$$

$$m_b = \frac{n + 1}{\lambda}$$

Damos ahora un ejemplo calculando la confiabilidad para 10 horas de un sistema en stand-by compuesto de dos unidades, - cada una con $\lambda = 0,01$

$$\begin{aligned} R_b &= e^{-\lambda t} + e^{-\lambda t} (\lambda t) = e^{-0,1} + e^{-0,1} (0,1) \\ &= 0,90484 + 0,90484 (0,1) = 0,990945 \end{aligned}$$

Vemos que la confiabilidad para una sola unidad es de 0,90484 y del sistema en stand-by 0,990945. Se nota entonces que es ligeramente mayor que la de un sistema en paralelo, aunque tiene un tiempo medio entre fallas mayores. Estas ventajas, sin embargo, desaparece si los mecanismos sensores y de conexión no tienen una confiabilidad del 100%, como generalmente sucede. Entonces, llamando R_{ss} a la confiabilidad de los sensores y conectores, tenemos para una unidad operando y otra en stand-by, y si la unidad operando no es afectada por la confiabilidad R_{ss} :

$$R_b = e^{-\lambda t} + R_{ss} e^{-\lambda t} \lambda t \quad (1-52)$$

1-6) MANTENIMIENTO DE COMPONENTES CON DESGASTE

Todos los componentes o sistemas sujetos a desgaste - que son usados continúa o intermitentemente están sujetos, en un tiempo u otro, a mantenimiento.

La manera como se puede aplicar este mantenimiento - varía mucho. Generalmente podemos dividir las acciones de mantenimiento en dos categorías: operaciones de mantenimiento dentro del horario previsto y operaciones de mantenimiento fuera de horario que se efectúan al producirse una falla, reemplazando, reparando o ajustando el componente o los componentes que han fallado.

El mantenimiento planeado dentro del plan de trabajo, llena su propósito de servicio, inspección y pequeños o grandes overhauls de las siguientes maneras:

- 1.- Cuidado regular se tiene con subsistemas o componentes operando que requieren tal atención. Se les dá lubricación, provee de combustible, limpian, ajustan, alinea, etc.
- 2.- Los componentes que han fallado son chequeados, reemplazados o reparados.
- 3.- Los componentes que se acercan a su período de desgaste se las cambia o se les realiza un overhaul. Estas acciones se hacen para evitar fallas del componente o del sistema. Por lo tanto se los llama también mantenimiento preventivo.

La frecuencia de las operaciones de mantenimiento fuera de horario es función directamente de la razón de falla de los componentes o sistemas, o sea del tiempo medio entre fallas.

1-6 a) POLITICAS DE MANTENIMIENTO

Para los componentes con desgaste se tienen tres políticas generales a seguir cuando estos fallen. Estas son:

- 1.- Cambiar la parte cuando se desgaste y repararla antes de que termine el tiempo medio entre fallas.
- 2.- Cambiar la parte cuando falla.

Vamos a hacer una tabla con estos costos para ver cual de las tres políticas es más económica. Tomamos un tiempo de veinte mil horas nos quedaría de la siguiente manera:

RESULTADOS DE 20.000 HORAS DE OPERACION SIMULADA BAJO 3 POSIBLES PLANES DE MANTENIMIENTO

	<u>PLAN A</u>	<u>PLAN B</u>	<u>PLAN C</u>
	Reemplazar los cojinetes cuando fallan	Falla 1 se reemplaza los 3	Reemplazar el que falle + los que tengan 1.700 horas

Nº de cambios de 1 cojinete	34	-	28
Nº de cambios de 2 cojinetes	-	-	4
Nº de cambios de 3 cojinetes	-	14	-
Tiempo improductivo-horas	170	98	164
Nº de cojinetes reemplazados	34	42	36
 COSTOS			
Mecánicos de mantenimiento	\$ 510	\$ 294	\$ 492
Costos de cojinetes	170	215	180
Tiempo improductivo	340	196	328
	<u>\$ 1.020</u>	<u>\$ 705</u>	<u>\$ 1.000</u>
=====			

Como podemos ver ahora el Plan B es mucho más barato - que los dos restantes. Se podría aprovechar aún más este tiempo, realizando otros trabajos pequeños que pueden hacerse mientras las máquinas están paradas y abiertas para el cambio de cojinetes. El ahorro en el plan B es debido al menor tiempo improductivo y al bajo costo de los cojinetes. Otro tipo de planes comprendidos entre el B y el C, pueden analizarse al acortar a menos de 1.700 horas la vida útil de un cojinete. Debemos también notar que un -

cambio en la estructura de los costos puede variar un resultado. Por ejemplo, si el costo de los cojinetes es de \$ 100 en vez de \$ 5, el Plan A, sería más barato, pues los nuevos costos serían respectivamente \$ 4.250, \$ 4.990, \$ 4.420.

1-6 b) SIMULACION DE PRACTICAS POSIBLES

Cuando el mantenimiento se está llevando a cabo en cualquier forma es una práctica bastante común el reemplazar las piezas que no han fallado todavía a fin de prevenir descomposturas futuras, debido a que el costo marginal de reemplazar estas piezas es frecuentemente pequeño cuando la máquina está parcialmente desarmada. Por ejemplo, si un motor de automóvil se desarma para cambiar los anillos del pistón, otras piezas tales como las chumaceras de las bielas, también se pueden reemplazar con un costo pequeño adicional al de las piezas. Si estas piezas no se reemplazan y fallan posteriormente, el costo de cambiarlas será alto, debido a que la máquina se debe desarmar nuevamente. Si tales prácticas son económicas o no, para casos individuales, depende de la distribución de las piezas en buen estado y de la magnitud relativa de la mano de obra, de mantenimiento, los costos de las piezas y los costos de tiempo improductivo. Debido a la complejidad de la probable acción recíproca de la duración de las piezas, la simulación es comunmente una manera fácil de evaluar las prácticas posibles.

Como ejemplo tomamos el mismo caso anterior. Para la simulación de estos tres planes posibles, es necesario tener la información sobre la duración de un cojinete. Nos valemos para esto del histograma de la vida de 200 cojinetes.

Para simular las posibles operaciones de mantenimiento usamos el procedimiento estadístico de convertir esta distribución

en una distribución de frecuencia acumulada, estableciendo una escala de porcentaje o probabilidad como se muestra en la figura 23 Usamos esta figura para seleccionar al azar la duración de los cojinetes a partir de la distribución.

Mediante el uso de una tabla de números al azar u otro método para seleccionar números de 1 a 100, podemos escoger las vidas de los cojinetes y simular la operación. Por ejemplo si sacamos el número 32 al azar, corresponde a una vida de 1.500 horas. La primera política decíamos que cambiamos los cojinetes cuando estos fallen, entonces para simular esto sacamos 3 números al azar que nos darán la vida de los cojinetes. Para simular la segunda práctica se saca al azar 3 duraciones de cojinetes, la menor de las 3 indicará cuando se debe cambiar los cojinetes. Si usamos la tabla de los costos encontraremos cual plan es el más económico. De esta manera la simulación resulta muy útil para probar los planes que se quieren poner en práctica.

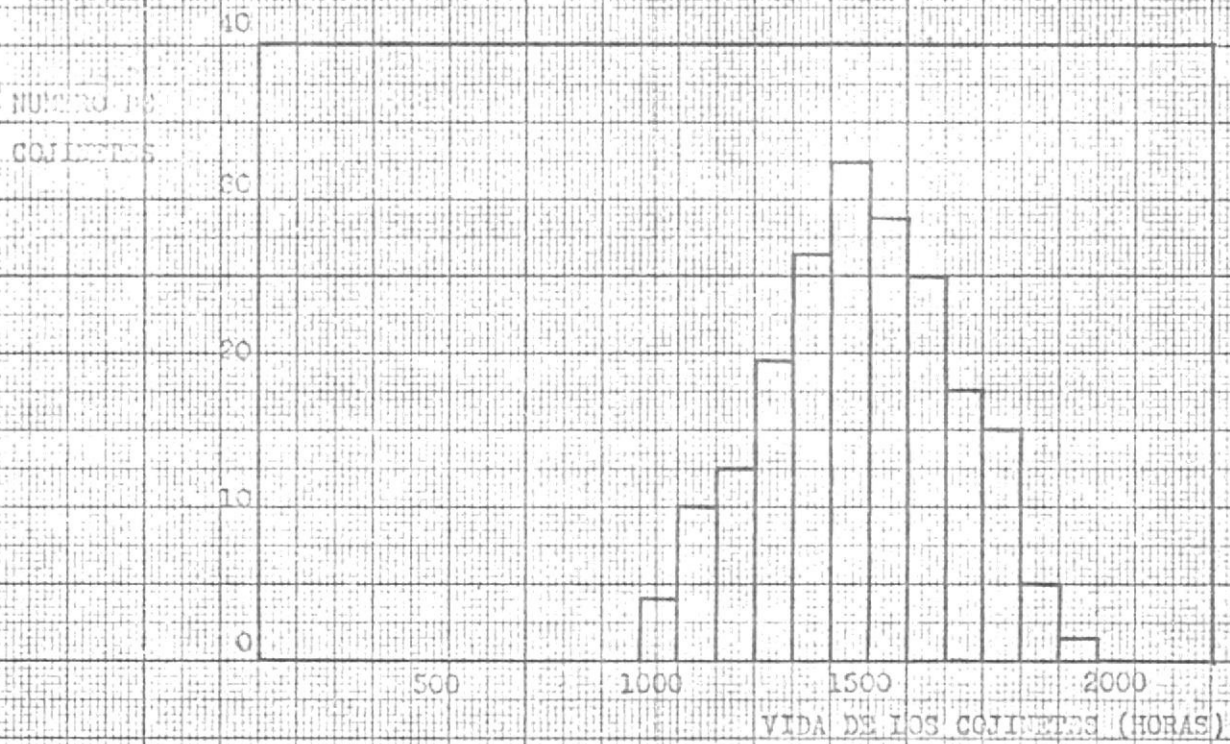


FIGURA N° 21 : DISTRIBUCION DE LA DURACION DE COJINETES
HISTOGRAMA DE LA VIDA DE 200 COJINETES

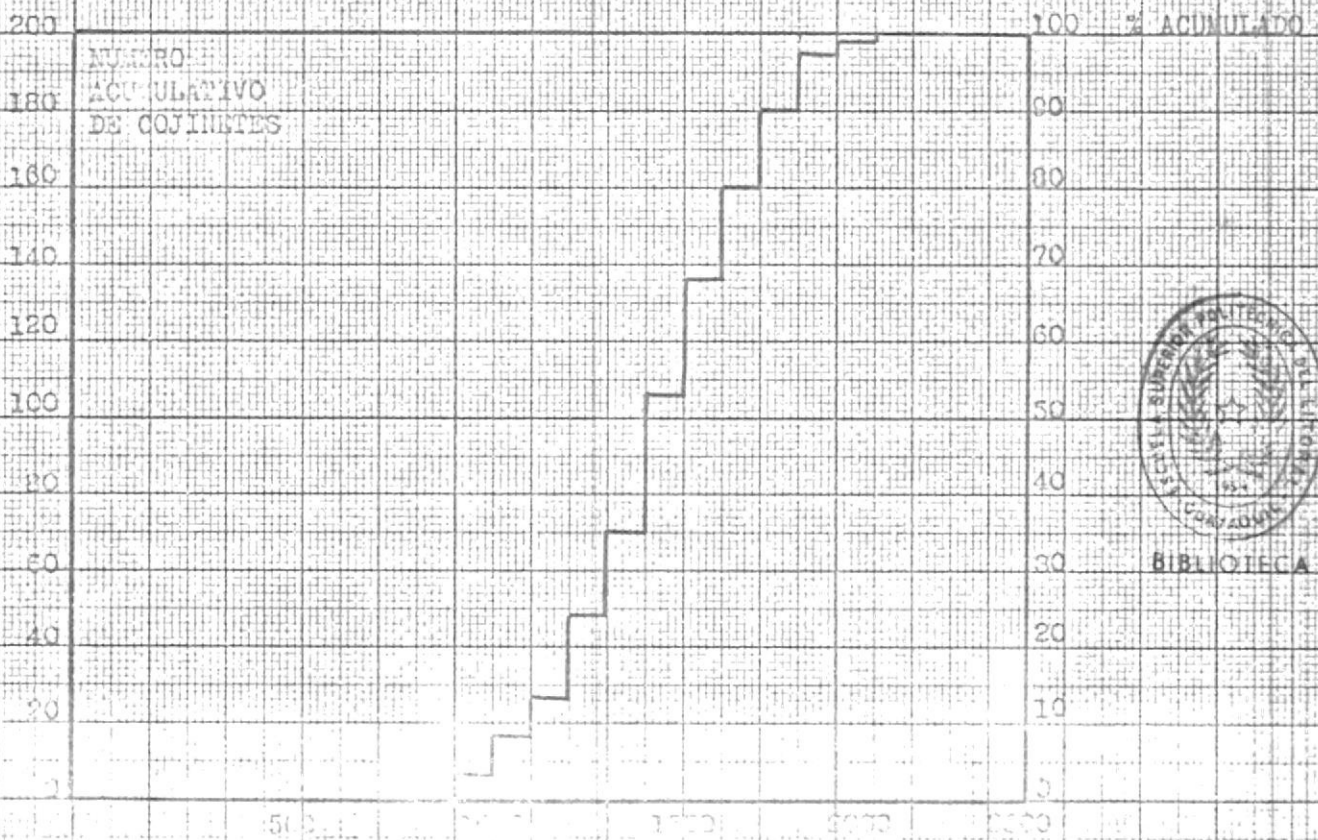


FIGURA N° 22 : DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE LA DURACION



2-1) OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento es la prolongación de la vida de un equipo o de un grupo de equipos. Es la función que permite a una planta seguir sus operaciones sin interrupciones, con una inversión mínima de dinero, materiales y hombres.

La productividad de una planta está en razón directa con la efectividad de la función mantenimiento; es entonces una parte integral e importante de una organización industrial.

Aunque su campo es muy grande, como podemos resumir sus objetivos básicos en la siguiente lista que no es exhaustiva, porque en cada planta el departamento de mantenimiento puede tener algún otro deber específico propio de esa planta.

Las obligaciones principales del departamento de mantenimiento son:

- 1º.) El mantenimiento y reparación de los equipos de la planta.
- 2º.) Conservación de los edificios y terrenos.
- 3º.) Lubricación, inspección y limpieza de los equipos.
- 4º.) Cambio y mejoras de los equipos existentes.
- 5º.) Instalación de nuevos equipos y edificios
- 6º.) Seguridad de la planta.
- 7º.) Eliminación de los desperdicios.

A esta lista se pueden agregar cualquier otra tarea que la gerencia quiera asignar al departamento.

CAPITULO SEGUNDO

2.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Existen varias maneras de realizar un servicio de mantenimiento, dependiendo estas de las disponibilidades que existen de tiempo, dinero y el plan de mantenimiento. Todas estas maneras se pueden reducir a cuatro tipos fundamentales que los llamaremos Mantenimiento Progresivo, Periódico, Técnico y Preventivo.

2.2. a) MANTENIMIENTO PROGRESIVO

Este tipo de mantenimiento es usado especialmente cuando se desea eliminar el tiempo muerto entre reparaciones. Se entiende aquí por tiempo muerto, el tiempo en que el equipo está fuera de servicio debido a fallas, reparaciones o servicio de mantenimiento.

En el mantenimiento progresivo no se da todo el servicio al equipo, sino que subdivide racionalmente en partes para irle dando al equipo el servicio en forma progresiva. Hay que procurar aprovechar el tiempo en que el equipo está productivamente ocioso para desarmar, limpiar, inspeccionar, reparar y realizar el mantenimiento.

Una vez que esté subdividido el equipo en una forma racional, se tratará de dar una orden a seguir para el mantenimiento. Esta orden deberá ser diferente para cada equipo y deberá estar basada en las siguientes razones:

- 1.- FRECUENCIA DE FALLAS DEL COMPONENTE.- Es obvio que se deberá atender primero y con más frecuencia al componente que más probabilidad tenga de

fallar, o sea que la parte que por experiencia o por recomendación del fabricante debe ser observada, reparada o cambiada con más frecuencia. Es generalmente el componente que tiene menor vida útil de todo el equipo.

Se procede de esta manera con todas las subdivisiones racionales que se le han hecho al equipo hasta que se completa una orden que es el que se deberá seguir.

Es de mucha ayuda tener una lista con el tiempo de vida útil de cada componente porque este determinará el tiempo entre fallas y por lo tanto el orden a realizar el mantenimiento progresivo.

Otra ventaja que se obtiene de hacer este tipo de mantenimiento es que se encuentra los puntos débiles del equipo y permite hacer un pedido de repuestos basado en el número de fallas de los componentes. Además el saber cuál es la pieza que más falla se tratará de buscar un repuesto de mejor calidad, o de un material nuevo que tenga mayor tiempo de vida útil. Como ventaja adicional se puede anotar que cuando se tenga que comprar un equipo similar, se verá uno en que los componentes de más falla del anterior equipo hayan sido mejorados en su diseño o el problema haya sido resuelto, dando por lo tanto un equipo con menos daños.

2.- La manera en que están dispuestos o armados los diferentes componentes de un equipo influye decisivamente en el orden en que estos realizarán el mantenimiento progresivo. En muchas ocasiones, no es posible alcanzar un determinado componente sin tener que desarmar o poner al descubierto otros varios. En este caso y para eliminar mayores pérdidas de tiempo, es conveniente realizar el mantenimiento a todos los componentes que sea posible. Todos estos componentes pueden ser incluidos en el mismo número de

orden para el mantenimiento progresivo.

3.- En algunas clases de equipo en que se puede intercambiar - piezas, se puede ir sacando una por una los componentes y con una de repuesto seguir haciendo funcionar el equipo, esto se puede ilustrar con el siguiente ejemplo: Tenemos un motor de cuatro cilindros y que por experiencia sabemos que cada 8.000 horas se debe dar servicio. Después de las primeras 2.000 horas de mantenimiento se desarma el cilindro # 1 y se instala un juego de repuesto. Mientras el motor sigue prestando servicio, se revisa - las piezas extraídas, se las repara o cambia o cambia si existen signos de fallas. Después de funcionar 2.000 horas más se desarma el cilindro # 2, se instalan los elementos ya revisados, que - se quitaron del cilindro # 1 y se procede a la revisión de las - piezas del cilindro # 2. Al terminar las siguientes 2.000 horas, se desarma el cilindro # 3 y se instalan las piezas revisadas del cilindro # 2 y así sucesivamente. Cuando el motor haya cumplido - 10.000 horas de servicio se desarma el cilindro # 1 y se instala - las piezas que se quitaron del cilindro # 4.

Con este tipo de mantenimiento se tiene la máxima disponi- bilidad del motor.

Las desventajas principales que se ven a simple vista son que no se obtiene la máxima vida de todos los órganos del motor, si se logra la máxima eficiencia del mismo, ni protege contra fallas prematuras, debido a que cada elemento se revisa cuando se - cumple su período.

2-2-b) MANTENIMIENTO PERIODICO

En este tipo de mantenimiento, a diferencia del anterior, que se hacía por partes, se le da servicio al equipo en conjunto,

una vez que ha cumplido un período determinado anteriormente, - de trabajo, o cuando ha producido un número de piezas, recorrido una distancia determinada, etc.; entonces el equipo se desarma, se limpia, lubrica, inspecciona y repara. Esto sucede en - forma periódica, de donde le viene el nombre de mantenimiento - periódico. Como ejemplo podemos usar el mismo que se tuvo más arriba; al llegar a las 8.000 horas, se desarma todo el conjunto y si es necesario es reparado. Se vuelve a repetir el proceso a las siguientes 8.000 horas y así sucesivamente.

Para determinar el período en que se debe hacer el mantenimiento periódico, es conveniente seguir las instrucciones que da el fabricante del equipo, además de las observaciones que hace el encargado del mantenimiento.

Se debe tomar muy en cuenta que ciertos componentes del - equipo requerirán el servicio de mantenimiento en un tiempo más - corto que otros. Existen formas, expuestas en otra sección, que indican si es económico y conveniente realizar el cambio o mantenimiento de estos componentes.

2-2-c) MANTENIMIENTO TECNICO

Haciendo un análisis de los dos tipos anteriores de mantenimiento, estamos en capacidad de establecer dos conclusiones básicas:

- a) Si permitimos que un equipo funcione hasta su destrucción, habremos realizado, en la mayoría de los casos una cosa absurda y costosa.
- b) Muchos componentes vitales durarán más y funcionarán mejor si no se los desarma frecuentemente.

Estas dos conclusiones señalan situaciones extremas: Es un mal procedimiento estar desarmando constantemente un equipo, -

pues no es muy raro que los operarios se descuiden y dejen tuercas mal ajustadas, se permite la entrada de suciedad al interior de las máquinas y aún en casos extremos se arma mal o se dejan substancias extrañas en el interior de la máquina. En cuanto al otro extremo es simplemente una locura hacer funcionar un equipo hasta su destrucción.

En el mantenimiento técnico se usan datos para determinar cuando se debe dar servicio al equipo para evitar ciertas fallas costosas. Estos datos pueden ser obtenidos por medio de instrumentos, observación visual, a veces por el producto elaborado, etc. Si se usan estos datos obtenidos por el sistema para determinar cuando se deberá reparar el equipo o parte de él, para evitar fallas serias, no se producirán las fallas imprevistas, que eran imposibles evitar con los dos tipos anteriores de mantenimiento y que constituyen su desventaja principal; no será pues, necesario, estar desarmando constantemente el equipo para inspeccionarlo, dando por lo tanto un mayor tiempo de operación.

Es obvio que no todos los componentes pueden ser dotados de sensores que detecten los síntomas previos a una falla, ni todos los equipos vienen dotados de estos indicadores, de modo que es imposible prescindir de los dos sistemas anteriores. Un buen programa de mantenimiento debe balancear estos tipos hasta producir el programa ideal para cada equipo, para de esta manera obtener la mayor vida de todos los órganos de las máquinas. x

2-2-d) MANTENIMIENTO PREVENTIVO

En realidad, tanto el mantenimiento progresivo, periódico o técnico, son por su misma naturaleza, mantenimientos preventivos. Sin embargo, aquí denominaríamos mantenimiento prevenitivo o una manera de obrar, o una manera de enfocar las cosas, y -

no a una técnica en particular. Esto comienza desde el momento en que se hace las instalaciones de un equipo revisando los planos y viendo que haya instalaciones adecuadas.

Para lograr la máxima economía en la utilización de un equipo, el mantenimiento preventivo comenzará al mismo tiempo que la instalación de la fábrica, pues este debe recomendar muchas veces como debe ir colocando un equipo, tomando en cuenta la facilidad que presenta el sitio para cuando le toque ser desarmado, la limpieza del medio ambiente, iluminación, etc. Luego de cuidadosas inspecciones, recomendará y hará uso de cualquiera de las formas de mantenimiento, teniendo en cuenta si este se justifica económicamente.

El mantenimiento preventivo, pues, no toma en cuenta solamente un equipo sino que toma en cuenta la fábrica o la planta en forma total. Debe tomar en cuenta la producción, los costos, la seguridad del personal y del equipo mismo. Existen ciertos factores en que la persona que quiera elaborar un programa de mantenimiento preventivo debe guiarse para elaborar una cosa que tenga sentido común:

- 1) Debe estar perfectamente enterado de los objetivos básicos de la fábrica o planta para poder hacer un análisis y poder definir cual será el objetivo del mantenimiento. De esta manera, evitará que el plan de mantenimiento sea algo aislado y de difícil coordinamiento con el resto de la planta. Este plan debe marchar en armonía con todo el conjunto de la planta.
- 2) Es necesario un conocimiento profundo del equipo que se dispone. Si los encargados del servicio de mantenimiento poseen los suficientes conocimientos sobre el equipo, podrán detectar síntomas de falla que ni aún los detectores puedan señalar, a-

demás de que si esto sucede, pueden ubicar rápidamente el daño y separarla en el menor tiempo posible.

- 3) Hay que tener conocimiento de las demandas que habrá para el equipo, los planes de producción, el tiempo y ritmo de producción. Esto es necesario pues así se sabe cuantas horas estará en servicio un equipo y se podrá preveer la frecuencia del mantenimiento.
- 4) Es necesario tener en cuenta la capacidad del personal que manejará el equipo. Un personal con experiencia operará mejor - el equipo y disminuirse los riesgos de daños. Igual cosa puede decir del personal encargado del mantenimiento.
- 5) Si el personal encargado de la operación del equipo o del servicio de mantenimiento no reúne los requisitos necesarios para una buena marcha de la planta, es necesario establecer programas de adiestramiento que capaciten debidamente al personal.
- 6) Se debe estudiar detenidamente todos los diferentes planos de mantenimiento que se pueden aplicar a la planta en general y a cada equipo en particular. Después de hacer un análisis de los factores económicos, técnicos, pérdidas de tiempo, etc., - se procederá a escoger el plan que ofrezca las mayores ventajas.
- 7) Una vez escogido y puesto en marcha un programa de mantenimiento, se deberá crear un sistema de control que permita observar si es que el plan prefijado se cumple a cabalidad. Esto se - podrá realizar por medio de formularios, inspecciones periódicas, tableros de control, etc.
- 8) Se debe establecer un período determinado de tiempo en que se canalizará los resultados del plan de mantenimiento. Esto se - puede realizar trimestral, semestral o anualmente. Esto permitirá observar las dificultades, los beneficios y los fracasos - que haya podido resultar de la aplicación del plan. Este análisis

sis deberá estar basado en las pérdidas de tiempo ocasionadas, factores económicos, estado del equipo, etc.

- 9) De las conclusiones obtenidas del numeral anterior, podemos definir el plan de mantenimiento para el siguiente período. Este plan se tomará en cuenta todos los errores, dificultades y aciertos que haya tenido el plan anterior y se procederá a hacer las modificaciones que se juzgue conveniente al plan inicial.

Una vez que se han tomado en cuenta todos estos factores en la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo, existen otros factores que afectan la magnitud del programa y estos son:

- 1.- El costo del programa comparado con la reducción en los costos y las mejoras en el rendimiento del equipo. Este es un factor de un análisis, se ve que el costo de un programa es muy elevado en comparación a los beneficios, se procederá a disminuirlo en su magnitud. Para llegar a esta conclusión, hay que aceptar el hecho de que a veces es más ventajoso usar una pieza del equipo hasta que se rompa, que interrumpir el servicio del equipo, cuando le llega el tiempo reglamentario, en medio de un programa de producción sobrecargado, o ante pedidos urgentes, o cuando va a detener toda una sección, además debe tomarse en cuenta la seguridad del personal, del producto, del equipo e instalaciones adyacentes. Esta decisión no puede tomarse a la ligera, sino después de haber analizado todas las posibilidades y de haber hecho un análisis completo de los costos involucrados en la decisión. Si de la descompostura resulta un daño serio y el costo de reparación es elevado.
- 2.- Porcentaje de utilización del equipo.

De todas estas conclusiones, lo más importante que se debe tener en cuenta, es lo que se puede llamar Ingeniería Preventiva.

Esta ingeniería se puede transformar en una actividad independiente y de naturaleza netamente investigadora. La mayor parte de los encargados del mantenimiento se cuidan de cosas como limpieza, buena lubricación, ajustes, cambios de piezas, conseguir cojinetes de mayor duración, etc. Por la verdadera ingeniería preventiva consiste en que el personal técnico que se encarga de realizar el mantenimiento tome en cuenta la frecuencia de las fallas, las causas técnicas por lo que se suceden, etc., y por medio de estos, determinar los puntos que requieren esfuerzos, o un diseño diferente, - una substitución de una pieza o hasta de un equipo, o algún otro - medio que reduzca la cantidad de fallas y aumente la confiabilidad del equipo.

□ □ □ □ □ □



BIBLIOTECA

2.3 - ESTUDIO DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO

Al elaborar un programa de mantenimiento, uno de los factores vitales es el costo que va a tener el mismo. Un buen sistema de llevar los costos, ayudará a un mejor funcionamiento del departamento y ayudará a encontrar el costo óptimo que se debe alcanzar. Podemos darnos cuenta de esta manera si hemos alcanzado un nivel elevado de mantenimiento en que los costos de este no guardan relación con las fallas y el costo de mantenimiento para el equipo, y así mismo, cuando el poco mantenimiento produce una elevación en el costo de operación por el alto número de fallas.

Existen dos metas generales para cualquier sistema de control de costos; uno es proveer a la contabilidad con datos e informaciones que necesita para sus funciones específicas; la otra es la de proveer al departamento con información necesaria para su control interno y para evaluación de su eficiencia.

Generalmente se divide en cinco categorías generales los gastos que hace el Departamento de Mantenimiento. Estos son:

- 1.- Mejoras al equipo de la Planta, que incluye:
 - a.- Instalación del equipo nuevo
 - b.- Mejoras
 - c.- Reemplazos.

- 2.- Gastos de reparación y mantenimiento que incluye:
 - a.- Reparación por desgaste
 - b.- Inspecciones de rutina y mantenimiento preventivo
 - c.- Conservación como pintura, etc.
 - d.- Reemplazo por desgaste
 - e.- Reparación de edificios

- 3.- Gastos de desmantelación

- 4.- El costo de distribuir servicios, incluyendo electricidad, vapor, agua y aire comprimido.
- 5.- Gastos varios que incluyen cosas como:
 - a.- Limpieza del equipo
 - b.- Eliminación de desperdicios
 - c.- Experimentos en el equipo que no sirvieron
 - d.- Cualquier otro gasto del departamento que no esté incluido en las categorías enumeradas.

Vamos a explicar ligeramente en qué consisten cada una de estas categorías de gastos:

- 1.- Mejoras en el Equipo.- Comprende este costo el que se utiliza en instalar un nuevo equipo para la Planta. Aquí está comprendido el costo de transporte dentro de la Planta hasta el lugar en que va a ser colocado, las fundaciones necesarias, tendido de líneas de energía, pago a técnicas instaladores, pruebas, etc. También en este numeral, se incluyen los gastos realizados al instalar cambios, mejoras o alteraciones en un equipo cualquiera. Así mismo cuando se ha decidido reemplazar un equipo, el costo de removerlo puede ser incluido en esta categoría.
- 2.- Gastos de reparación y mantenimiento.- En esta categoría, se incluyen todos los gastos necesarios para mantener la planta y su equipo en condiciones de operación satisfactorias. Este renglón es el principal en el mantenimiento y sus costos deben quedar claramente establecidos, pues son necesarios para comparar y evaluar al servicio de mantenimiento y eliminar los costos que no corresponde al departamento.
- 3.- Gastos por desmantelamiento.- Es el costo de remover el equi-

po obsoleto o anticuado que se ha decidido descartar.

4.- Costo de producir y distribuir servicios.- En esta categoría se incluyen los costos de combustible, el de utilidades que se compran como agua, electricidad y el costo de mano de obra para producir o distribuir estos servicios.

5.- Gastos varios.- Esta categoría sirve para reunir los diferentes gastos que tiene el departamento de mantenimiento y que no han podido ser incluidos en las categorías anteriores. Se debe tener cuidado en que los rubros de gastos sean estrictamente de mantenimiento para no aumentar los costos del departamento.

Esta división en categorías de los costos del mantenimiento se hace para facilitar el control del funcionamiento del departamento. Con estos datos se puede hacer un análisis de la manera como se emplean los fondos, y si los gastos están en relación con los servicios prestados por las diferentes categorías, pudiendo hacerse entonces los ajustes convenientes.

Discutiremos ahora la forma de procesar los elementos necesarios para determinar el costo desde los pasos iniciales de recopilación de datos y la sumarización, concluyendo con el reporte de estos datos en forma clara para su interpretación por las personas encargadas de ello.

Existen muchos métodos para llevar los costos de procedimiento. Se puede decir que hay uno por cada planta. La forma exacta seleccionada es influenciada considerablemente por los procedimientos del departamento de contabilidad. En algunos casos, el departamento de contabilidad dicta todos los pasos y en otras acepta en resumen de la información, dejando el proceso inicial al criterio del Departamento de Mantenimiento. De la misma

manera, la responsabilidad de recoger los datos necesarios para calcular los costos, varía de Planta en Planta. En algunas, - personal del departamento de contabilidad, recoge los datos y en otras, depende exclusivamente de la organización de mantenimiento. Por esta razón, sólo se pueden dar consejos generales que - para su aplicación deben ser discutidos con el departamento de - contabilidad para ver la mejor manera en que pueden ser obtenidas los datos sobre costos.

Para facilitar la recolección de datos sobre costos, es conveniente dividir estos, según su procedencia. Se han establecido algunos elementos básicos en los que se originan los costos y estos son:

EQUIPO.- El costo del equipo necesario para el mantenimiento y - que debe ser adquirido, se obtiene normalmente de la - factura que entrega el vendedor. Se presenta aquí una dificultad al diferenciar entre equipo y repuestos, pues se puede considerar equipo a una pieza o aparato muy pequeño que también puede ser - considerado como repuesto. Si podría considerar equipos a lo que forma una unidad. En caso de que el equipo haya sido fabricado - en la Planta, el departamento de mantenimiento debe calcular su - costo.

REPUESTOS.- Repuestos son aquellos que se tienen en las bodegas de la planta o en almacenes del ramo. El costo de - los repuestos puede ser llevado de diferentes maneras. Si la planta tiene una bodega central en donde se tienen los suministros para toda la planta, entonces al retirar un repuesto se hace por medio de una orden en que lleva registrado el departamento que lo - solicita. De esta manera, todo lo que necesite el departamento - de mantenimiento queda cargado a su cuenta. En esta orden debe - registrar el trabajo para el cual se necesita el repuesto, descripción del mismo y su costo. También se acostumbra registrar la

persona que autoriza sacar este repuesto. Estas órdenes suministran entonces los datos necesarios para calcular el costo de los repuestos.

En plantas que no tienen una organización de bodegas, general, se utilizan varios métodos. En algunas, la compra de repuestos es cargada inmediatamente a la cuenta del mantenimiento, así no vayan a ser usados inmediatamente y entonces entran a formar parte del inventario del departamento. Una variación de este sistema consiste en establecer varios centros de costos basados en unidades de producción, funciones de mantenimiento, o talleres. Muchas plantas usan una combinación de estos dos métodos, con algunos repuestos y suministros llevados a una bodega y otros cargados directamente a una sección o a un trabajo.

Un factor importante que se debe tener en cuenta con relación a las bodegas y a llevar los suministros a través de una unidad centralizada. Las bodegas necesitan personal y tener algunas cargas como seguros, vigilancia, etc., costos que deben ser absorbidos por los suministros que pasan a través de ellos. Puede parecer a primera vista que los repuestos fluyan directamente hasta su lugar de uso, se podría evitar los gastos de bodega. Sin embargo, existen ciertas fallas en este razonamiento. Si existe ya una bodega, su costo de operación no sube demasiado si hay una adición a su inventario y no se consigue ninguna reducción en los costos de operación, evitando el paso por la bodega. Además, si se compra grandes cantidades de repuestos o suministros, estos salen más económicos por los descuentos que hace el vendedor en grandes cantidades. Esto nulificará cualquier costo extra al pasar los suministros por bodega. Como se ha dicho antes, el método que se adopte para calcular los costos de repuestos y suministros será único en cada planta o influenciado por el método de operación del Departamento de Contabilidad.

MANO DE OBRA.- Se considera a la obra de mano, como el tiempo empleado por el trabajador en un trabajo, específico. La manera básica para obtener los costos debidos a la mano de obra, es por medio de un registro de tiempo. Existen, sin embargo, diferencias considerables en la manera como son aplicados estos registros de tiempo que están influenciados por el tamaño de la planta, grado de exactitud necesaria, y métodos usados en otras partes de la planta. En algunos casos los costos de mano de obra son registrados por un empleado designado especialmente para tomar los tiempos, que lo hace directamente o por su información del obrero. Este tipo de servicio es muy caro y puede ser modificado de modo que el capataz o el supervisor sean los encargados de esta tarea.

En muchas plantas se provee al obrero con un impreso en el que registra la manera como ha empleado el tiempo. Esto puede ser auxiliado por medio de relojes registradores para marcar el inicio y finalización de cada trabajo, o el mismo trabajador puede escribir el tiempo empleado en cada trabajo o sección. En algunas plantas, la tarjeta de tiempo sirve solamente para indicar el número de horas que ha trabajado el obrero, y la distribución de este tiempo se obtiene por medio de las órdenes de trabajo. De estas órdenes se obtiene una mejor información del tiempo que el obrero puede gastar por mala planificación, esperas o desperdicios de tiempo. Por otra parte, este desperdicio de tiempo debe ser absorbido por el departamento de alguna manera, dándonos un valor sobre el tiempo que se desperdicia.

Junto con el tiempo empleado en el trabajo, debe ir en el registro de tiempo o en la orden de trabajo, el costo de la mano de obra por unidad de tiempo.

SERVICIOS EXTERIORES.- Llamamos servicios exteriores, generalmente al

uso o contratación de mano de obra, técnicos o equipos para realizar un trabajo que no es posible hacerlo con los elementos que se dispone en la fábrica. El costo de estos servicios se obtiene de la factura presentada al departamento. En algunas plantas para completar la distribución de costos entre diferentes secciones, se exige una factura detallada de los trabajos realizados por el contratista.

SERVICIOS GENERALES DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.- Este renglón, cubre

todos los gastos de operación del Mantenimiento que no pueden ser colocados en las categorías anteriores. Entre estos costos - podemos citar los siguientes: Mantenimientos de máquinas, herramientas, gastos para seguridad, seguros, gastos de oficina, calefacción, aire acondicionado, limpieza de la fábrica.

Hay diversidad de criterios sobre si el costo de la supervisión debe ser cargado a esta cuenta o distribuída entre las diferentes secciones del departamento.

Depende de esto de la organización existente y de las ventajas que encuentren el encargado de realizar una de las dos alternativas. Si se divide el costo por secciones, podemos tener una idea de que sección es la más costosa de la fábrica en cuanto a supervisión y tomar medidas con respecto a ellas.

SERVICIOS GENERALES DE LA PLANTA.- Se incluyen aquí los gastos administrativos de la planta que se distribuyen entre todos los departamentos, inclusive el de mantenimiento. Estos incluyen salarios de los directivos, personal administrativo, etc. Normalmente, tiénese poco que decir en estos costos y no se necesita tener ningún archivo interno para esto. Simplemente recibe su parte en el costo por ser parte de la organiza-

ción de la compañía.

Una vez que hemos visto la manera de recoger la información básica de los costos, vayamos a un paso importante que es la sumarización de los datos de costos obtenidos. La meta de esto es de llegar a un costo total de mantenimiento en términos de alguna unidad (trabajo, departamento, o tipo de servicio), en tal forma que pueda ser cargado donde corresponde y sirve de base para evaluar la performance y la eficiencia de lo que se está haciendo. Para hacer esto requiere el uso de un formulario en que los varios elementos de costo de una unidad de trabajo, puedan ser acumulados y totalizados. Los costos originados por facturas son añadidos directamente a este formulario, igualmente con las órdenes de bodega, el valor de la mano de obra y demás costos.

El proceso de estos costos requieren del servicio de personal de oficina que tiene que transferir los datos de los diferentes costos en el formulario en que se va a resumir todo esto. Según la política de la compañía se añaden los costos por servicios generales del departamento y de la planta.

Existen muchas formas de hacer formularios para sumarización de los datos de los costos. Estos varían en detalles dependiendo en la extensión o en el aspecto de los costos que les interesa a la compañía. Sería imposible recomendar un formato que se le pueda llevar el mejor. Si se aconseja, sin embargo, que cada departamento de mantenimiento estudie sus propias necesidades y en colaboración con el departamento de contabilidad establezcan un sistema que llene todas sus necesidades con un mínimo de trabajo de oficina.

Una de las funciones del encargado del mantenimiento es ver que los costos sean mínimos y que guarden relación con los servicios que prestan. Consideremos una planta en la cual no se lleva ningún mantenimiento, únicamente se repara el equipo cuando falla o cuando su estado le impide seguir funcionando efectivamente. El cos

to total del mantenimiento es igual al costo de reparación más el costo del tiempo de paro forzoso más el costo del desperdicio originado por el mal funcionamiento de la máquina. Supongamos ahora el caso contrario: las descomposturas del equipo, se han reducido al mínimo, debido al elevado mantenimiento que le da al equipo; el costo total es igual al costo del programa de mantenimiento más el costo de reparación de las poquísimas fallas, más el costo que estas originen en la producción. Entre estos dos casos extremos, existen una gran cantidad de situaciones que para facilitar su comprensión nos valemos del método gráfico como el que se ve en la figura N° 22.

Para esto tomaremos en cuenta, los siguientes factores de costos:

- 1.- COSTOS DE DESPERDICIO.- Cuando un equipo no está funcionando adecuadamente o cuando al producirse una falla, el producto que está elaborando sale dañado o con defectos, y no llena los standares que han sido fijados para él, el producto es rechazado.
- 2.- COSTO DEL TIEMPO FORZOSO.- Este es el costo producido al detenerse un equipo. La producción se para, los operadores del equipo se paran y en casos extremos, según la importancia del equipo que ha fallado, puede detener toda la planta, todos estos costos se suman y se añaden a los demás producidos por la falla. Se puede también tomar en cuenta si el paro forzoso produjo algún daño en la materia prima empleada.
- 3.- COSTO DE REPARACION.- En este costo se toma en cuenta el valor de los repuestos, el valor de la mano de obra empleada en reparar el daño, daños que pudo haber causado en otros equipos y su reparación. Es posible añadir aquí la depreciación que ha sufrido el equipo cuando debido al daño ha disminuído -

la capacidad del equipo aún después de ser reparado.

4.- COSTO DEL MANTENIMIENTO.- Este costo varía según la magnitud del servicio de mantenimiento. Se anotan aquí todas los factores que influyen en su costo y que fueron detalladas más arriba, así como también el costo del paro del equipo, debido a inspecciones y cambios de piezas.

En el método que estamos explicando, cada uno de estos costos, tiene una curva y se grafica.

Para encontrar el manual óptimo de mantenimiento, haremos una suma de las curvas de todos estos costos en un eje de coordenadas, una de las cuales es el nivel de mantenimiento y la otra el costo total y nos da la figura N° 23.

Observaremos que la suma de los costos produce un nivel en que la suma de las curvas es de menor valor. A este punto lo llamaremos el punto óptimo de mantenimiento. Debido a que no es posible siempre determinar los costos con la exactitud necesaria, una variación del punto óptimo de más o menos el 10% no producirá variaciones considerables en el costo total.

Podemos hacer este cálculo de una manera analítica también. Colocamos las curvas en un eje de coordenadas (Fig. N° 23) de modo que el costo total, cuando no hay ningún mantenimiento, por daños y desperdicios es b, y cuando no hay ninguna falla por mantenimiento, la recta (y) corta al eje X en c . La curva del nivel de mantenimiento comenzará desde 0 y cuando no hay fallas, tiene un costo a Las ecuaciones de esta curva serán:

$$y_1 = - \frac{b}{c} X$$

$$y_2 = \frac{a}{c} X$$

Sumando $y_1 + y_2$

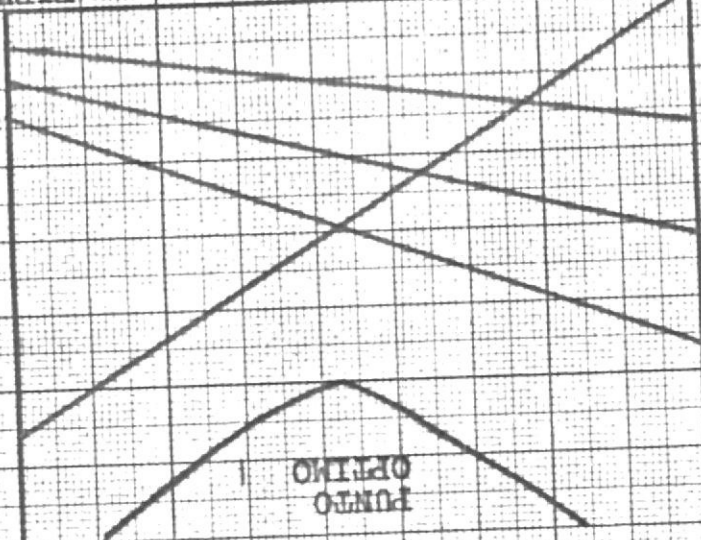
$$Y = \frac{a}{c} X - \frac{b}{c} X$$

FIG. 23: COSTOS DE MANTENIMIENTO

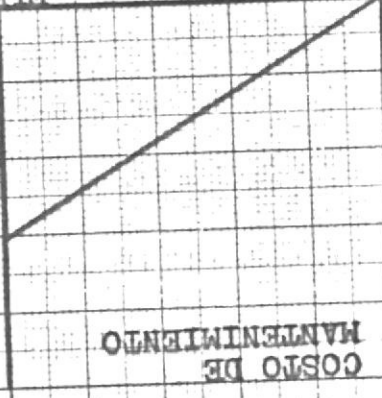


BIBLIOTECA

NULO NIVEL DE MANTENIMIENTO ELEVADO



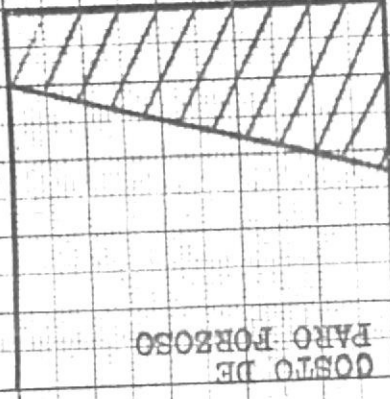
NULO NIVEL DE MANTENIMIENTO ELEVADO



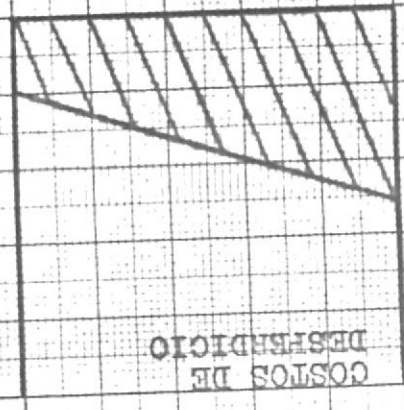
MUCHAS POCAS No DE FALLAS



MUCHAS POCAS No DE FALLAS



MUCHAS POCAS No DE FALLAS



derivando para hallar el número e igualando 2 0

$$\frac{dy}{dx} = \frac{a}{c} - \frac{b}{c} = 0$$

luego: $\frac{a}{c} = \frac{b}{c}$

El número corresponde al lugar donde $\frac{a}{c} = \frac{b}{c}$

□ □ □ □ □ □



BIBLIOTECA

2-4 ORGANIZACION DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO

Para desarrollar una organización que se hará cargo del servicio de mantenimiento debemos tomar en cuenta que no existe el método ideal que puede ser aplicado a todas las situaciones. Estas varían considerablemente de una planta a otra. Existen sin embargo, algunas reglas básicas que deben regir en un departamento organizado. Estas pueden ser acomodadas para que sirvan a cada situación particular.

Alguno de los conceptos básicos que se debe tomar en cuenta al organizar un servicio de mantenimiento, son los siguientes:

- 1.- Debe existir una clara demarcación de la autoridad que posee cada persona en la organización. Esta separación de autoridad debe hacerse de una manera funcional para que no exista en ningún aspecto una dualidad de orden ni dos personas con igual autoridad en una misma sección. Con esto se evitará confusiones y aún posibles conflictos entre el personal.
- 2.- Cada jefe debe tener el mínimo posible de personas bajo su cargo. Esto evitará una burocracia inútil y disminuirá el rol de pago. No puede tener un jefe asistentes solamente para que le traiga información y para que lleve sus órdenes. Esto disminuye la eficiencia de la organización.
- 3.- Se debe mantener un número óptimo de personas supervisadas de un individuo. Muchos libros se han escrito sobre este tema y se ha llegado a la conclusión que en las organizaciones más efectivas como un supervisor tiene a cargo entre tres y seis personas. Esto se ha llamado "El Número Promedio de Cerebros Humanos que un Cerebro Humano puede efectivamente controlar". Existen, por supuesto, muchas excepciones a esta limitación. Por ejemplo, si la supervisión necesaria no es mucha y el tipo de trabajo de los supervisados tiene el mismo tipo, el número de -

supervisados puede ser aumentado a 10 o 12 personas. Si se quiere tener una organización eficiente se debe tener en cuenta esta relación. Muy pocas personas reportándose a una sola puede resultar en una utilización incompleta de un individuo, y si muchas personas se reportan a una sola persona, puede resultar en una supervisión inadecuada.

- 4.- El tipo de trabajo que va a realizarse en el departamento de mantenimiento va a influir mucho en la forma de la organización. El mantenimiento puede ser predominante en un campo específico (equipo eléctrico, mecánico, edificios, tubería, etc.) Esto influirá en la organización, en la distribución del personal, presupuesto, etc. La mayoría de los recursos del departamento deberán ser dirigidos a esta función en primer lugar.
- 5.- Otro aspecto fundamental de la organización es la cantidad de trabajo que se va a realizar. Puede hacerse en una sola jornada, durante seis días, 24 horas diarias, durante toda la semana, etc. La clase de horario que se lleve afectará notablemente el tamaño de la organización y la estructura de la supervisión. La organización del turno por la noche, involucra la creación de una supervisión general que vigile a ambos turnos, duplicación del personal, entrenamiento de nuevo personal, etc. Todo esto hace muy diferente la organización del departamento, que cuando se trabaja con un solo turno.
- 6.- El tamaño de la planta, afecta lógicamente el número de empleados del mantenimiento. Este efecto no es mucho en la estructura de la organización sino más bien en la cantidad de empleados que necesitan ser supervisados. Esto, a su vez, aumenta el nivel de supervisión necesaria. No existe ninguna regla específica que relacione el tamaño de la planta con el del personal de mantenimiento, pues este puede ser afectado por muchísimos factores. -

La cantidad de supervisión y personal debe ser determinada - cuidadosamente procurando siempre evitar los excesos y su extremo opuesto, la escasez. Ambos pueden ser perjudiciales - para una buena organización del departamento de mantenimiento.

- 7.- La habilidad del personal y la confianza que se puede tener - en él, son factores que se deben considerar. Los obreros calificados y con mucha experiencia, pueden ser dejados solos - en su trabajo y necesitan muy poca supervisión, disminuyendo así los supervisores necesarios. Una cosa igual sucede con - los obreros cuya responsabilidad y amor al trabajo ha sido - probada, pero el caso es diferente con obreros no calificados y no probados aún en el trabajo, que necesitan una supervisión más estricta en todos los niveles, aumentando así la necesidad de personal de control. Todos estos puntos deben ser considerados detenidamente al organizar el servicio de mantenimiento. Es a veces necesario ceder en algunas partes y aumentar en otras, según las necesidades particulares de cada situación específica. La estructura que resulte debe ser lo suficientemente flexibles para poder admitir modificaciones que se pueden - presentar debido al crecimiento de la planta, cambio de equipo, modificación de la producción, variación del horario del trabajo, etc.

2-4 a) ORGANIZACION DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

La organización interna del departamento de mantenimiento debe ser cuidadosamente hecha.

La eficiencia del mismo depende en gran parte de la manera como se efectúan las funciones específicas del departamento. Se debe combinar el trabajo de los individuos, de manera que logren la aplicación eficiente, sistemática, positiva y coordinada - del esfuerzo disponible.

El estudio de la organización del departamento de mantenimiento debe estar dirigido a analizar si la organización es apta para realizar y administrar el trabajo del departamento y si existe la cooperación y mantenimiento para obtener resultados óptimos.

Se debe tomar en cuenta que una organización adecuada - evita el desorden, la pérdida de tiempo y de dinero. Esta organización debe ser hecha en tal forma que ayude al encargado del mantenimiento y no para atarlo u obstaculizarlo en su labor.

Es obvio que una buena organización requiere de una buena distribución del personal o lo que se llama también "estructura de la organización". Al formar la estructura de la organización, - existen factores que influyen en las características de éstas, tales como: tamaño de la planta, tipo de trabajo, magnitud y propósito de la organización, número de divisiones o departamentos existentes, - necesidades administrativas, turnos de trabajo, amplitud de acción del departamento de mantenimiento, etc.

Se puede decir que el primer paso que se da al organizar un departamento es reunir un grupo de supervisores que reporten directamente a un Jefe o Superintendente de Mantenimiento. Mientras sea el departamento pequeño el jefe puede dirigir personalmente to-

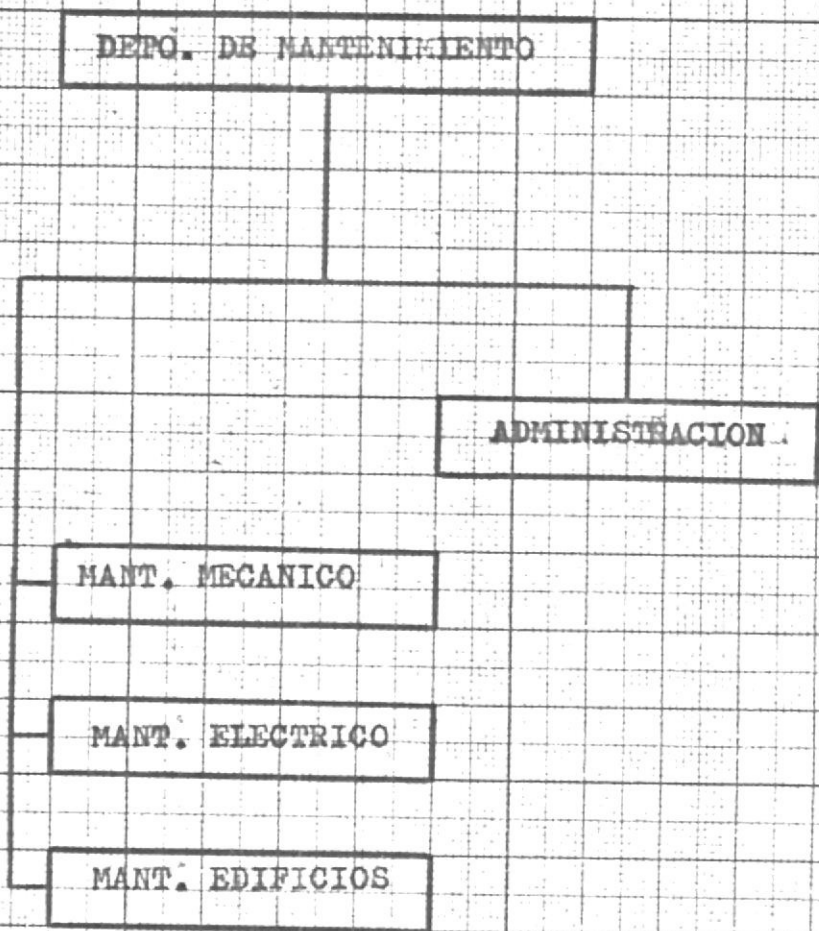
das las operaciones, pero cuando el departamento aumenta, se llega a un punto en que esto ya no es posible, entonces el jefe debe realizar una agrupación de actividades similares o relacionadas entre sí, y agruparlas bajo un solo jefe. Si las agrupaciones según el tipo de trabajo que realizan puede quedar la organización como la de la figura N° 24 (a)

Esta Organigrama puede servir para una organización pequeña en que se da más importancia a los diferentes tipos de servicio.

En empresas mayores se puede agrupar las diferentes secciones del departamento de acuerdo con las funciones básicas del mantenimiento: inspección, mantenimiento preventivo, overhaul, construcción y salvataje. Entonces, puede quedar el organigrama como en la figura N° 24 b)

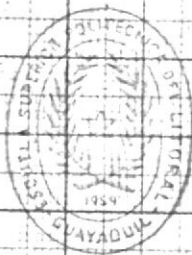
Cada sección tendrá un tamaño diferente a la otra, según las necesidades de cada planta. Tendrá la sección un grupo de obreros con su capataz o supervisor responsable. Estos supervisores a su vez informarán al jefe de mantenimiento cualquier novedad y recibirán de él, el plan de trabajo.

La autoridad o responsabilidad de cada jefe de sección debe quedar claramente definida. El debe saber hasta qué punto puede ordenar trabajos o reparaciones sin consultar a un superior. Esto evitará muchas pérdidas de tiempo al evitar que el jefe de mantenimiento sea consultado con problemas que sus subordinados están en capacidad de resolver satisfactoriamente. La cantidad de obreros que puede utilizarse en el departamento de mantenimiento no está regido por ninguna regla. Para hacer una estimación preliminar, el número de obreros, podemos basarnos en el presupuesto que se ha fijado para el mantenimiento y el porcentaje de este que va a ser usado para mano de obra. Así sabremos cuál es el número máximo de o-

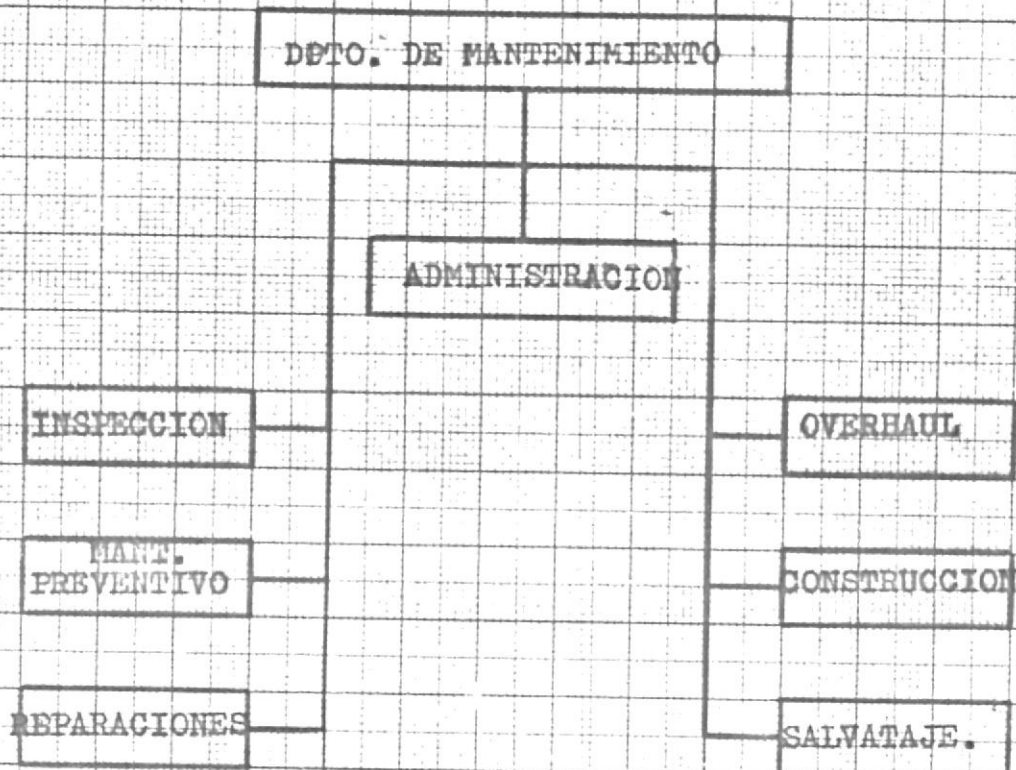


(a)

FIG. No 24: ORGANIGRAMAS DEL MANTENIMIENTO



BIBLIOTECA



(b)

breros que vamos a tener. De aquí podemos ir reduciendo el personal según se estudie con más detenimiento las necesidades de cada sección.

Tomemos en cuenta ahora la necesidad que existe de mantener un grupo de empleados de oficina. La sección que existe entre trabajadores y empleados de oficina varía mucho de una planta a otra. En algunas partes existen un empleado para cada cien trabajadores y en otras uno por cada veinte o veinte y cinco. No existen datos estadísticos sobre este particular y si existen no servirían de mucho. Más bien, se debe tomar en cuenta dos consideraciones para determinar el número de empleados de oficina:

- 1.- El papeleo debe ser reducido al mínimo planeado y realizando un adecuado control, evitando la doble información y el trabajo inútil.
- 2.- El personal de oficina debe evitar a los jefes y supervisores el trabajo de rutina en el papel que puede ser llevado por ellos satisfactoriamente. La mayoría del papeleo se destina a la contabilidad y para el flujo de información entre los distintos niveles.

Como se ha dicho antes, las maneras de organizar un departamento de mantenimiento serían con cada planta en particular. Los consejos que se han dado más arriba sirven más bien como guías para el ingeniero y pueda aplicarlas si es posible en su caso particular.

! ! ! ! !

2-4 b) CONTROL DEL SERVICIO DEL MANTENIMIENTO

El jefe del departamento y los directores de la empresa están en la obligación de preguntarse cada cierto tiempo: ¿Cómo se está llevando el mantenimiento? ¿En qué se ha empleado todo este dinero? ¿Cómo van los costos del mantenimiento? Para contestar adecuadamente estas preguntas, lo que se necesita es una forma segura de conocer si el mantenimiento cubre las necesidades en una forma efectiva y el único modo de determinar esto y -demostrárselo a la gerencia es, a través de un programa de controles que proporcione una auditoría continua del rendimiento del trabajo de mantenimiento por mínimo que sea la tarea que se ejecute. Señalaremos ahora los beneficios que pueden reportar un -buen sistema de control:

- Se obtiene una mejor ejecución de los procedimientos y métodos del mantenimiento.
- Ayuda a determinar las diferentes causas de un rendimiento bajo
- Reducir el papeleo y la supervisión, disminuyendo al mismo tiempo el número de empleados de oficina y de supervisión con el -consiguiente ahorro de dinero.
- Permitir ubicar aquellas áreas o secciones donde es aconsejable un cambio.
- Permite responder con números y datos a las preguntas objetivas hechas por la gerencia.
- Hace que las operaciones de mantenimiento sean verdaderamente efectivas.

En esta sección vamos a presentar una metodología que puede ser usada para llenar las necesidades de control de cualquier -departamento de mantenimiento. Volvemos a repetir que las condiciones cambian según cada planta, por lo tanto, este método no es

sino una enumeración y explicación de los elementos básicos en que debe basarse un buen plan de control. Estas son en el orden aproximado de su aplicación.

- 1.- El primer paso que se da en la elaboración de un buen plan de control para el mantenimiento es la planificación del trabajo. Se debe establecer y mantener un plan maestro de trabajo. En este debe constar todas las tareas, obligaciones y deberes que tiene el Departamento de mantenimiento. Indica la forma en que deben ser realizados y el personal que debe realizar una tarea específica. Debe tener la suficiente flexibilidad para admitir nuevas tareas o hacer frente a emergencias o daños que no habrán sido previstos.

Resumiendo, podemos decir que las funciones de un plan maestro de mantenimiento son:

- Controlar que todo trabajo necesario sea hecho.
- Que este trabajo sea hecho por el personal designado y en la manera más eficiente.

En una sección posterior explicaremos la manera más efectiva de trazar un buen plan maestro de mantenimiento.

- 2.- Un sistema de órdenes de trabajo es el segundo paso en un buen control de mantenimiento. La orden debe ser clara y precisas en los siguientes aspectos:

- Persona que autoriza el trabajo
- Personal que va a realizar el trabajo
- Descripción del trabajo y lugar donde va a ser ejecutado
- Horas-hombre estimadas para completar el trabajo
- Material y costo a necesitarse
- Fecha de emisión de la orden y de la finalización del trabajo.
- Número de la cuenta a la que se le carga el trabajo.

Siendo de mucha importancia la forma de las órdenes de trabajo y de su control, tienen más adelante una sección especial en que se las explica más detalladamente.

- 3.- La Prioridad en el trabajo de mantenimiento debe ser establecida por el jefe de mantenimiento. Este orden en que se efectúan los trabajos, debe ser hecho de una manera simple y clara, de manera que todos los que tengan que ver con ellas, puedan interpretarla y aplicarlo correctamente. Por esta razón, se recomienda que solamente se usen tres prioridades, llamadas 1, 2 y 3, para su más fácil interpretación y que pueden ser definidas así:

PRIORIDAD 1.- Son trabajos que llevan precedencia sobre todos los demás y que son vitales para el funcionamiento de la planta.

PRIORIDAD 2.- Son trabajos que se desean sean completados lo antes posible y lleven precedencia sobre todos, menos sobre los de prioridad 1.

PRIORIDAD 3.- Trabajos que son vitales en la función de mantenimiento, pero que pueden ser llevados a cabo cuando sea conveniente. No se los puede descuidar, pero pueden ser realizados cuando el personal está libre de los trabajos de prioridad 1 y 2, o sea, que pueden servir de relleno para completar las horas de trabajo.

El personal de oficina y los obreros del mantenimiento deben ser aleccionados en el sentido de acelerar y facilitar el trabajo, cuando en la orden de trabajo, venga marcado Prioridad 1.

- 4.- La estimación del tiempo de trabajo de mantenimiento es una de las bases para su exitoso control. Esto se logra básicamente -

reduciendo la tarea a sus elementos principales y estableciendo un valor para cada elemento. La suma de estos elementos da la estimación del tiempo para la tarea total. Una vez que se tiene suficientes datos estadísticos se establece un standard para cada trabajo. Si los datos estadísticos son lo suficientemente amplios, se pueden estimar hasta los trabajos más complicados con una precisión de más o menos el 5%. Como en mantenimiento se requieren algunos servicios extras, incluidos la supervisión, esto se pueden acumular y proratear a cada trabajo como un porcentaje de las horas empleadas.

Los datos estadísticos sirven también para observar la cantidad de tiempo que se ha empleado en un tipo de labor, y poder darse cuenta así cual trabajo es el que se efectúa con más frecuencia, o cual equipo falla constantemente. Además, podemos comparar el rendimiento de cada obrero al realizar un trabajo específico, observando cual emplea más tiempo. Así podremos encontrar al obrero más eficiente en ese tipo de trabajo y además encontrar el tiempo standard para ese tipo de trabajo.

- 5.- El horario de trabajo sirve esencialmente para mantener un balance entre el trabajo que es necesario realizar con la fuerza de trabajo disponible. El total de horas-hombre requeridas para efectuar un trabajo debe ser comparada con la mano de obra disponible, para ver si se puede hacer tareas de trabajo para cada hombre que sean razonables de cumplir. Si existe demasiado trabajo, se puede prolongar los horarios, aumentar su turno de trabajo, aumentar personal, etc. y viceversa en caso contrario. Por lo tanto este horario de trabajo debe ser flexible, no fijo, debe tener en cuenta el futuro. En muchas plantas existen épocas del año en que hay una mayor producción y otras en que estas disminuyen; un horario flexible puede absorber es

tos cambios. Si existen suficientes datos sobre el ritmo de producción en una planta, es posible elaborar un horario para todo un año con los aumentos y disminuciones necesarias.

Al establecer un horario debemos tener cuidado de dejar un 15% o 20% del mismo para trabajos que hemos determinado anteriormente en la prioridad 3. De esta manera, si existe una emergencia o hay trabajos atrasados, se puede realizarlo sin necesidad de horas extras, ni ajustes que perjudican el buen funcionamiento del departamento. A este horario que abarca todo el año, se lo puede denominar como el horario maestro de trabajo.

6.- Un horario detallado, se necesita para efectuar los trabajos que han sido señalados en el horario maestro de trabajo. O sea que dentro del trabajo previsto en el horario maestro para realizar un trabajo, debemos trazar otro horario más detallado para las distintas fases del trabajo.

Este horario, como el anterior, también debe ser flexible. Un horario cuidadosamente detallado puede ser echado a perder por alguna causa imprevista. Cuando esto ocurra, se debe estar en capacidad de absorber la emergencia, o volver a rehacer el horario rápidamente.

Para efectuar un horario de este tipo se debe tener datos completos sobre la duración de cada trabajo, así como de la capacidad de trabajo de cada grupo o sección de los obreros. Estos datos deben estar divididos según el tipo de tarea como ser mecánicos, eléctricos, carpintería, plomería, etc.

De igual manera que en el horario maestro, se debe en este horario destinar 15 o 20% de trabajos de Prioridad 3, que se pueden aprovechar a hacerlos debido a ciertas circunstancias, por ejemplo, al abrir un motor se puede aprovechar para revisar

o lubricar partes que quedan al descubierto. Además este tiempo se puede emplear para alguna tarea que lleve retraso.

7.- El control de horas debe establecerse como una parte integral del control de mantenimiento, para dar una acumulación diaria del costo, cargando cada hora de trabajo de mantenimiento en una cuenta determinada. Por lo tanto se debe dar a cada tarea un número de clasificación determinada.

8.- El paso final y muy importante es el llamado Control de Operaciones. Esto es, esencialmente, un reportaje periódico de los logros del mantenimiento y de su eficiencia y de investigar todas las variaciones significativas.

Un método de realizar esto es por un resumen semanal del trabajo, por cada grupo de mantenimiento, mostrando las horas de trabajo empleadas en comparación con las estimadas. Este tipo de reportaje no será, sin embargo, suficiente para efectuar un buen control. Un reportaje adicional necesario deberá hacerse sobre cada trabajo individual que se realice. Debe hacer notar todos los problemas existentes, las dificultades y la manera como quedó el equipo después del trabajo. Además indicará en qué parte del trabajo se ha empleado la mayoría del tiempo.

Para visualizar esto, es conveniente llevar gráficos, pues así es más fácil entender que interpretando datos estadísticos. Esto se usa particularmente para control interno del departamento.

Un sistema satisfactorio de control debe tener pues, las siguientes características:

- Proveer de información periódica sobre el progreso de los trabajos y de su efectividad.
- Indicación de las dificultades y de las probables causas de estas.

- Deben ser lo más precisos posibles.

Lo más importante es que estos reportes sean revisados tan pronto lleguen para poder inmediatamente buscar las causas de fallas o de ineficiencia. Si se espera mucho tiempo, no se podrán recordar todos los detalles de las dificultades y la solución no será del todo correcta.

9.- El control del mantenimiento sería imposible si no existieran procedimientos y métodos estandarizados de operación. Cada grupo de mantenimiento debe operar con las mismas reglas, de manera que la función básica de la estimación del trabajo puede ser llevada a cabo.

Los estándares deben ser establecidos y mantenidos para gobernar las prácticas de construcción y reparación, los métodos y procedimientos de mantenimiento, tiempo para realizar trabajos, operaciones de mantenimiento colectivos y cosas parecidas. Cuando los estándares han sido cuidadosamente preparados, fáciles de comprender, y fielmente cumplidos, no habrá necesidad que el personal del mantenimiento pierda el tiempo, buscando el método correcto para cierto trabajo o el procedimiento adecuado para una situación en particular.

Para que estos estándares llenen el cometido para el cual fueron creados, es necesario que el jefe del departamento exija que sean seguidos al pie de la letra y que cualquier cambio sea autorizado por el jefe de mantenimiento, en caso que se encuentre que el standard tiene alguna falla.

Con estos nueve principios que se han explicado, es posible efectuar un buen control del servicio de mantenimiento. No será siempre posible aplicarlos todos, pero en su gran mayoría sirven para casi todas las situaciones. El ingeniero deberá tomar en cuenta las características particulares de su plan-

ta, para realizar un programa de control que llene todas sus -
necesidades.

□ □ □ □ □



BIBLIOTECA

2-4-b-i) ORDENES DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO

Habíamos explicado en el numeral anterior en que consistía una orden de trabajo de mantenimiento y las características que esta debía tener. Ahora explicaremos con más detalle las diferentes clases de órdenes que existen.

En mantenimiento se usan por lo general cuatro tipos diferentes de órdenes de trabajo y son:

- Orden cruzada
- Orden normal
- Orden de ronda o para trabajos menores
- Orden permanente.

Orden normal es una solicitud de trabajo que necesita ciertos requisitos de autorización, para que la pueda ejecutar un grupo determinado de mantenimiento.

Orden cruzada es una solicitud de trabajo que necesita cumplir ciertos requisitos de autorización en función al costo que se la estime, para que las puedan ejecutar todos los grupos de mantenimiento que deben intervenir.

Orden de ronda es la solicitud de trabajo que se hace cuando se desea un trabajo menor, de poco costo y que caen dentro de un marco específico, fijado como política de la fábrica, por esta razón, los requisitos de autorización son menores.

Orden permanente es una solicitud de trabajo que se hace cuando se quieren cubrir tareas que se repiten con regularidad. Las emite periódicamente el departamento de mantenimiento y deben ser aprobadas por el departamento de producción afectado.

La diferencia entre orden cruzada y orden normal es solamente funcional.

Para explicar mejor esta diferencia, pongamos un ejemplo:

Se necesita reparar y pintar un montacargas. Al analizar el trabajo, encontramos que se necesita para realizarlo, que entren en función, tres distintas secciones del mantenimiento: mecánicos, electricistas y pintores. Si estuviéramos usando órdenes normales, tendríamos que emitir tres diferentes órdenes para cada una de las secciones. Pero si usamos una orden cruzada, sólo se hará una orden en la que quedará explicada el orden en que realizarán las tareas los diferentes grupos que intervienen. Esto causa el consiguiente ahorro de papeleo, trabajo de oficina. Se puede ver una forma de orden cruzada en la figura Nº 25 que se basa en el ejemplo anterior.

También presentamos en la figura Nº 26, un formato para orden cruzada que pueden servir para una orden normal.

Es conveniente usar las órdenes de mantenimiento con original y dos copias.

La razón de la creación de la orden de ronda es que en mantenimiento se presentan trabajos que costaría más el proceso de llevar y manejar la orden que el trabajo mismo, no obstante, estos trabajos deben quedar controlados ya que representan un porcentaje de las horas-hombre empleadas. Para solucionar este problema se recurre a una orden de ronda para tareas pequeñas y no repetitivas. Este tipo de órdenes requieren una obtención más o menos inmediata y debido a que tienen un alcance limitado, sólo requieren una autorización limitada, generalmente la del supervisor que solicita el trabajo.

Un formato de orden de ronda se ve en la figura Nº 27.

A pesar del ahorro que significa en papeleo la orden de ronda, todavía no resultaría económica si no tuviera que repetirse constantemente, por lo que para facilitar la ejecución de ciertas tareas se creó la orden permanente. Estas tienen las siguientes ca

BIBLIOTECA



FIGURA 25: FORMA DE ORDEN CRUZADA

PIFOTORES	3	2	ELEOTRICISTAS
PIOMEROS	4	1	MECANICOS



ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO

ORDEN DE RONDA

FORMULARIO N° 02

FIGURA N° 1

Fecha emitida _____	Fecha requerida _____	Orden N° _____
Solicitado por _____	Departamento _____	
Equipo _____	N° de equipo _____	
	Costo real _____	
TRABAJO SOLICITADO		
Vto. Bno. Producción _____	N° del Vale _____	
Tiempo de trabajo _____	Costo del Vale _____	
Fecha terminada _____		
Firma del Operario _____	M.D. <input type="checkbox"/>	M.G. <input type="checkbox"/>

Notas: M.D. = Mantenimiento Directo

M.G. = Mantenimiento General



BIBLIOTECA

racterísticas:

- El número de orden no varía con el tiempo y el mismo número ampara siempre el mismo tipo de trabajo.
- Se editan cada primero de mes y se cierran el último día del mes.

En muchas plantas se reservan los 50 primeros números para órdenes permanentes. A continuación damos algunos trabajos en los que se pueden utilizar órdenes permanentes:

- Mantenimiento de puertas, ventanas y persinas.
- Mantenimiento de muebles de oficina.
- Mantenimiento de alumbrado en general.
- Lubricación de equipo A
- Lubricación de equipo B
- Lubricación de equipo C
- Lubricación de plantas de fuerza
- Limpieza de los equipos
- Limpieza de la planta en general
- Revisión de instrumentos
- Inspección de equipos contra incendios
- Mantenimiento de transportadores.



En la figura N° 28, podemos ver un formato de orden permanente.

Estableciendo políticas apropiadas de manejo, la orden de trabajo permite controlar todo el mantenimiento. Para evitar que se pierda una orden de trabajo, se usa el diario de órdenes de trabajo que es muy útil para seguir la historia de cualquier orden, desde que nace hasta que se ejecuta y también permite calcular el rezago en el trabajo de mantenimiento.

Las órdenes de trabajo nominales, cruzadas o de ronda se numerarán progresivamente desde el 1° de enero hasta el 31 de diciembre. Se comienza desde el 51, porque hemos aconsejado ya de

jar los 50 primeros números para los órdenes permanentes.

Un paso importante en la creación de órdenes de trabajo es la manera de identificarlas y marcarlas según el trabajo que se va a realizar. El sistema empleado debe proveer una rápida identificación de este tipo, quienes deben ejecutarlo, y su prioridad. - Existen muchos sistemas y para cada planta puede servir uno cualquiera según sus características particulares. Como ejemplo daremos un sistema simple que consiste en un número compuesto de tres números o siglas. La primera parte sirve para indicar la prioridad del trabajo. La segunda, el grupo de mantenimiento que tiene la mayor responsabilidad sobre el trabajo y el último número de orden - que se le ha asignado al trabajo. Por ejemplo: 1-2-55, este número indica que el trabajo tiene Prioridad 1, o sea que es urgente. El número 2 indica que la sección mecánica es la responsable del trabajo, y el número final 55 indica el trabajo ha sido designado con el número 55.

Para facilitar el manejo de las órdenes de trabajo en proceso o detenidas, es aconsejable usar kardex o casilleros indicando el estado en que se encuentra cada orden.

o o o o o

2-4-b-ii) CONTROL DE LAS ORDENES DE TRABAJO

El control de las órdenes de trabajo, es un medio por el cual, debido a que todo trabajo de mantenimiento sea grande o pequeño, está registrado en una orden de trabajo, puede el encargado del mantenimiento, enterarse de la manera cómo son llevadas a cabo, evaluar la eficiencia de los trabajadores, analizar los trabajos en lo que se refiere a magnitud, costo, prioridad, antes y después de que este haya sido realizado. Por medio del control de las órdenes de trabajo de mantenimiento, se puede dar cuenta de la marcha del programa mensual de trabajo, descubriendo su adelanto o atraso.

Para realizar un efectivo control, se necesita llenar los siguientes requisitos: un sistema de órdenes de trabajo que cubra todo trabajo, sea grande o pequeño. El trabajo que se realizó debe quedar perfectamente descrito en la misma orden, así como también la persona o el grupo que lo realizó. Las órdenes deben ser analizadas y estudiadas tan pronto lleguen a manos del encargado, pues las soluciones a las dificultades deben ser inmediatas.

La manera de llevar el control de las órdenes de trabajo se efectúa de muchas maneras. El procedimiento corriente es el de que toda orden de trabajo, terminada pase por un empleado de oficina, cuya obligación es resumir los datos, chequear la satisfactoria terminación del trabajo, separar aquellas que muestren alguna irregularidad, enviando todo esto al encargado del mantenimiento. Una vez que el empleado ha hecho todo este trabajo, que en su mayoría es rutinario, la obligación del encargado es analizar estos datos, compararlos con experiencias anteriores, o con standares establecidos, encontrar las razones porque un trabajo ha sido bueno o malo, debe también encontrar la eficiencia del personal. Una vez que las órdenes han sido analizadas, vuelven al empleado de oficina que su-

ma las horas-hombre, calcula el costo de los materiales y de la mano de obra, los carga a la cuenta respectiva, y archiva las órdenes según la clasificación que se lleve en la planta. Estos archivos - proveen de datos para poder establecer estándares y patronos de trabajo.

El análisis de la orden de trabajo es una de las funciones principales del ingeniero de mantenimiento, y por ninguna razón deberá descuidar esto. Un trabajo mal hecho significa un doble gasto, pues deberá volverse a realizar, además del peligro que representa para el equipo y para el personal que lo maneja. Si en el trabajo se empleó más tiempo del previsto, o el costo fue mayor que el - calculado, nos da un indicio de mala planificación o de ineffectividad del personal. Todo esto puede salir a relucir con el control de las órdenes de trabajo.

□ □ □ □



BIBLIOTECA

GRAFICO DE GANTT PARA DISTRIBUCION DE TRABAJOS

MAQUINAS	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V
TORNO T-1										
TORNO T-2										
RECTIFICADORA R - 1										
FRESADORA F-1										
FRESADORA F-2										
FINALIZACION										

ANEXO SA-6-02

FIG: 29



BIBLIOTECA

2-4 d) SUPERVISION DEL MANTENIMIENTO

Entendemos como supervisor la persona que asigna y dirige el trabajo de otros para obtener un resultado. La persona o personas encargadas de la supervisión deberá obtener la colaboración de los trabajadores a sus órdenes y conservar el orden y la disciplina; deberá evitar el desperdicio de tiempo, energía, y materiales; controlar la calidad de los trabajos y lograr el máximo de seguridad en los mismos. La disciplina consiste en obediencia, energía, actitud correcta y señales exteriores de respeto entre los límites fijados por el convenio entre una empresa y sus empleados.

La persona que va a realizar el trabajo de supervisión debe reunir algunas características que le serán útiles en el desempeño de sus funciones como son: amplio conocimiento de su trabajo, para poder servir como guía e instructor de sus subordinados; ser buen juez de la naturaleza humana, para poder comprender los problemas y aptitudes de personas que tienen relación con él; saber ejecutar las ideas propias y de sus superiores y subordinados; buen compañero para con sus colegas supervisores, habilidad para poder servir como mediador en cuanto a las relaciones de los obreros con la empresa.

La manera como van distribuidos los supervisores y su lugar dentro del mantenimiento son casos particulares para cada planta. El encargado del mantenimiento es un supervisor general que tiene a su cargo la vigilancia de todo el departamento. Según las necesidades de la planta, nombrará otros supervisores, escogiendo el personal que sea capaz de realizar las obligaciones de un supervisor.

Damos a continuación una lista no exhaustiva que el encargado del mantenimiento debe ver que los supervisores sean ca-

paces de realizar:

- Dirección de la mano de obra
- Análisis y valoración del trabajo
- Valoración de la actuación de los empleados
- Instrucción a los empleados para obtener mayor eficiencia
- Cuando y como imponer una sanción
- Manera de resolver quejas y disputas
- Conseguir la cooperación de los subordinados
- Estudio de los tiempos
- Mejora de los métodos de trabajo
- Limpieza del equipo
- Mediador de las relaciones laborales
- Prevención de accidentes
- Control de costos
- Control de calidad.

o o o o o o o



BIBLIOTECA

CAPITULO SEGUNDO

2-4 e) ADIESTRAMIENTO DEL PERSONAL

El encargado del mantenimiento, para realizar sus funciones debe contar con un grupo de colaboradores eficaces y que tengan conocimiento sobre el equipo en que trabajan y sobre asuntos mecánicos en general.

En la mayoría de los casos, el ingeniero cuenta con personal no especializado, sin los suficientes conocimientos teóricos o prácticos. Es muy difícil conseguir obreros especializados para cada tipo de equipo, porque en el país existen muy pocas fábricas de un mismo tipo y estas protegen celosamente sus obreros calificados. Por lo tanto el ingeniero se ve en el caso de elevar la capacidad del elemento que posee.

Una de las primeras dificultades que encuentra un Jefe de Mantenimiento al tratar de poner en marcha un programa de capacitación y adiestramiento del personal es la de convencer a los directivos de las ventajas del mismo. Es, pues, uno de los primeros pasos convencerles de la necesidad de la capacitación. A continuación damos una lista de razones de las que puede valerse el ingeniero en su afán de realizar un programa de capacitación:

- Satisfacción laboral acrecida
- Disminución de derroches y deterioros
- Reducción de faltas al trabajo y despidos
- Acrecentamiento del nivel de capacidad
- Mejora de métodos y sistemas
- Disminución de las cargas de supervisión
- Reducción de las horas extraordinarias
- Reducción de los gastos de conservación de maquinaria.

- Disminución de molestias
- Disminución de agravios personales
- Mejor comunicación con el personal
- Empleados más polifacéticos
- Moral más elevada
- Mayor cooperación

Armado de estas razones, y de otras que pueden surgir de cada situación, el encargado está en la obligación de convencer a los directivos de efectuar su plan.

Una vez conseguida la autorización superior, se debe tener una idea correcta de lo que es la función ideal de la capacitación y del adiestramiento. Esta función establece como finalidad - proveer los medios para que todos los trabajadores:

- 1.- Logren el ajuste satisfactorio a los requerimientos de las operaciones comerciales e industriales desde el primer día de su empleo.
- 2.- Progresen como fuerza productiva en la empresa mediante un continuo desarrollo de las prácticas, los conocimientos y las decisiones necesarias.

Para alcanzar esta meta se darán las oportunidades necesarias con el objeto de capacitar al empleado a desarrollar hasta el máximo el potencial que este aporta en toda situación laboral. A nuestro juicio, el sistema de alcanzar una capacitación superior se precisa de dos condiciones:

- 1.- Desarrollo de los conocimientos prácticos: preparación del desarrollo de la capacidad para manejarse convenientemente en tareas definidas.
- 2.- Utilización del hombre en su integridad: desarrollo de la inteligencia y la capacidad necesarias para que el hombre pueda ha

cer uso de sus mejores virtudes productoras. Capacidad para - planear, imaginar, tomar decisiones y, en general, actuar como fuerza razonadora. Este concepto supera al del desarrollo de - los conocimientos prácticos y apunta a su conservación y al ajuste del empleado a su trabajo. Se debe tomar en cuenta que al contratar a un trabajador se contrata siempre al hombre entero, es decir, no se contrata una mano ni se utiliza al hombre como una simple mano. Puede existir en él la capacidad para - realizar mejor su tarea y aún otras de mayor responsabilidad.

Debemos ahora como precaución, enumerar algunas de las limitaciones que tiene el adiestramiento y capacitación del personal. Exponemos esto para que cualquier persona que intente realizar un - plan de capacitación, sepa sus limitaciones y no se comprometa ante los directivos a cosas que aún bajo las condiciones más favorables, no podrá realizar.

El adiestramiento no puede:

- 1.- Resolver problemas de organización defectuosa. En efecto, una estructura deficiente, opondrá obstáculos, prácticamente en todos los casos, el aprendizaje, y tenderá a suspender la transferencia de la destreza o el conocimiento adquiridos al trabajo que efectúa el obrero. De nada le valdría a este la destreza - adquirida, si el problema de una mala organización existe. Sucede también que al poner en marcha las nuevas habilidades adquiridas, estas no encajen dentro del anterior plan de trabajo. - Las reformas y reorganizaciones a la nueva manera de trabajar, deben ser previstas y resueltas por los directores.
- 2.- Servir como sustituto a la cuidadosa selección inicial y a la debida distribución de empleos. Que un obrero haya terminado - un curso de capacitación no quiere decir que esté en capacidad de mejorar su empleo. Se requieren otras características y cu

lidades morales para tener mayor responsabilidad.

- 3.- Aumentar el potencial de aprendizaje. La capacitación puede estimular su uso más amplio de las capacidades innatas, pero no puede crearlos.
- 4.- Asegurar infaliblemente un trabajo superior o una mejor eficiencia. Debe producirse una transferencia de los conocimientos y destrezas adquiridos, a la situación de trabajo. Esta transferencia no es auténtica, sino que controlada por factores ajenos al objetivo de la función capacitadora. Nos da esto una idea de que las nuevas habilidades no darán un fruto - inmediato y a veces hasta después de mucho tiempo o quizás - nunca.
- 5.- No se puede olvidar el hecho de que el olvido se produce con más facilidad que el aprendizaje. El olvido sólo puede combatirse mediante la práctica contínua de las actitudes o conocimientos recientemente adquiridos. De manera que si no se dan las facilidades para poner en práctica lo aprendido, la capacitación habrá sido en vano y las ventajas obtenidas, nulas.
- 6.- No se puede enseñar cualquier cosa a cualquier persona. La - capacitación pone únicamente los medios para hacer posible el aprendizaje. Si los aprendices potenciales no desean aprender, puede apostarse que no aprenderán.

Todas estas limitaciones son reales; sin embargo, cabe - reducir las a su menor expresión y, por ende, conseguir que se produzca un beneficio pese a ellos.

Pasemos ahora a una parte muy importante que tiene que - tomar en cuenta todo encargado de mantenimiento, es la determinación de las necesidades de capacitación. La responsabilidad de decidir recae sólo en él, pues es quien más conoce acerca del perso-

nal a sus órdenes y sabe de sus necesidades. Tendrá que estar alerta para descubrir cuando un obrero trabaja mal y averiguar si desconoce un método mejor. Estas necesidades pueden ser fáciles de observar e identificar, como sucede cuando un obrero usa una llave en forma incorrecta o pueden ser tan complicados que requieran un abultado informe para el adiestramiento total de los empleados. Damos a continuación algunas razones para pensar a poner en práctica un plan de adiestramiento:

- Se prevee posibilidades de sobrepasar los estándares establecidos mediante una mejora de habilidades, métodos o actitudes.
- Se esperan dificultades para alcanzar las normas establecidas a causa de las actitudes, métodos, habilidades actuales.
- Los obreros con experiencia han de ser trasladados, elevados de categoría o jubilados.
- Hay que dictar nuevos métodos, acordes con los equipos nuevos.

Una vez tomado en cuenta todo lo que se ha expuesto anteriormente, el Jefe de Mantenimiento, pasará a elaborar un programa de adiestramiento. Primero deberá hacer un compendio claro y detallado para presentar a los directivos de la empresa. Como mínimo, el compendio del programa deberá incluir:

- 1.- Exposición de la necesidad de capacitación y del modo en que fue determinada.
- 2.- Nivel cultural y número de las personas que intervienen.
- 3.- Descripción del programa:
 - a) Número de cursos.
 - b) Temas desarrollados en cada curso
 - c) Unidades de instrucción para cada tema: objetivos, métodos de instrucción, estipulación del tiempo e instructor para cada unidad.

4.- Medidas tomadas para lograr resultados eficaces.

5.- Información administrativa: costos, número de hombres hora, - instrucción en horas de trabajo o fuera de ellas, remuneración para la gente que se capacita, reemplazamiento temporal de éstos empleados, local donde se desarrollan las clases, fecha de comienzo y final del curso y otros factores esenciales.

Otro paso importante es la selección del instructor. Se puede dar una larga lista de los requisitos que deben poseer un - instructor, pero a nuestro juicio, la persona que selecciona al - instructor, debe tener en cuenta tres requisitos que son absolutamente esenciales:

- 1.- Comprensión amplia y profunda del tema.
- 2.- Familiaridad con el método de instrucción empleado.
- 3.- Deseo de enseñar.

Antes de comenzar un curso de capacitación es indispensable el preparar ayudas educativas para facilitar el aprendizaje como por ejemplo: Manuales y libros de texto, folletos, volantes, ilustraciones, reproducciones y modelos, slides, cintas cinematográficas.

Una vez realizado el curso de adiestramiento y habiendo - vuelto los obreros al trabajo, el encargado del mantenimiento debe - rá hacer una evaluación de los resultados obtenidos por el curso. - Hará un informe sobre las ventajas que se han obtenido o las razones porque haya fracasado el empeño. Deberá remitir un informe a - los directivos y recoger las experiencias para futuros cursos.

CAPITULO TERCERO

FUNCIONAMIENTO ECONOMICO DE UN EQUIPO

Después de que una empresa industrial ha estado operando por algún tiempo, surge un problema para los directivos y es el de reemplazar aparatos y equipos, cuando han llegado al fin de su vida útil, cuando sus costos de operación son muy altos o hay en el mercado un equipo de nuevo modelo con costo de operación más bajos. El problema de reemplazo puede ser tratado de las siguientes maneras:

- 1) El uso continuado hasta después de la expiración de la fecha estimada de vida útil.
- 2) El uso continuado de un equipo, después de que se han hecho reparaciones en él al final de su vida útil estimada.
- 3) El reemplazo de un equipo a la expiración de su vida útil estimada.
- 4) El reemplazo de un equipo antes de la expiración de su vida útil estimada.

En este capítulo daremos varios métodos que nos permitirán saber hasta que punto es conveniente el cambio del equipo y que ventajas obtendremos con ellos.

3-1) RENTABILIDAD DEL EQUIPO

El estudio de la rentabilidad de un equipo está relacionado con los costos que forman el costo de operación y que son: depreciación, mantenimiento, reparaciones, tiempo de paro forzoso, etc. Debemos entonces analizar las diferentes alternativas que se presentan al estudiar el posible cambio del equipo.

Los costos de inversión de diferentes tipos de equipos, que sirven para un mismo propósito, varían grandemente, así como su vida útil, costo de operación, mantenimiento. Con tanto dato, resul

ta muy laborioso comparar, con los procedimientos, equipos diferentes. Es más fácil con el siguiente método, llamado vestancia o de los costos actuales.

Llamamos vestancia al costo actual presente de un servicio.

En problemas especiales, ciertos costos no necesitan ser incluidos en los cálculos. Por ejemplo, si los costos de operación de dos equipos diferentes son iguales, no se los toma en cuenta.

Para el uso de la vestancia, debemos ver primero un factor que llamamos Valor Actual de un Pago (VAUP). Si queremos saber cuanto debemos tener ahora para que dentro de un tiempo y a un interés dado, reunir un capital, debemos multiplicar este por el factor (VAUP). Ejemplo, Si queremos tener \$ 10.000 dentro de diez años, al 8% anual, cuanto debemos tener ahora?

$$\begin{aligned} n &= 10 \\ \$ 10.000 \text{ (VAUP)} &= 10.000 \times 0,46319 = 4.631,9 \\ i &= 8 \end{aligned}$$

El factor (VAUP) es igual a $1 / (1 + i)^n$ y está tabulado para los diferentes valores de años, intereses, etc.

Demos ahora un ejemplo de vestancia: Supongamos que se desea comprar un equipo del que existen dos modelos. Uno de ellos tiene un costo de \$ 10.000 y una vida probable de 10 años, y otro modelo con un costo de \$ 18.000 y vida probable de 30 años. Los costos de operación son iguales en ambos casos.

Si no se considera el interés del dinero, se tendría que usar tres equipos de \$ 10.000 con un costo total de \$ 30.000 para cubrir un tiempo de vida útil, igual al del equipo de \$ 18.000. En este caso es más barato el equipo de \$ 18.000. Pero, si asumimos que existe un interés del 8%, nos quedaría la vestancia o costo actual para los equipos de \$ 10.000.

$$V = 10.000 + 10.000 \left(\begin{matrix} n = 10 \\ \text{VAUP} \end{matrix} \right) + 10.000 \left(\begin{matrix} n = 20 \\ \text{VAUP} \end{matrix} \right)$$

$$i = 8 \qquad i = 8$$

Buscamos los valores de estos factores en las tablas y nos queda:

$$V = 10.000 + 10.000 \times 0,4631 + 10.000 \times 0,2145$$

$$V = 16.776$$

La vestancia para el equipo de \$ 18.000 es \$ 18.000, luego resulta más económico el equipo de \$ 10.000.

Demos ahora un ejemplo más completo en que entran los costos de operación anuales. Una compañía considera la compra de un torno nuevo. Un torno semiautomático costaría \$ 10.000. Los costos de operación serían de \$ 6.000 por año. Tiene una vida útil de 12 años y un valor de recuperación al final de esta de \$ 10.000. Un torno automático costaría \$ 16.000 y los costos de operación serían de \$ 4.000. Tiene una vida útil de ocho años y no tiene valor de recuperación. Los impuestos se estiman en un dos por ciento del costo inicial, los seguros en un 1% del costo inicial más un 3% del costo de operación, para la máquina automática y un 5% para la máquina semiautomática. Vamos a comparar la conveniencia de ambos equipos usando la vestancia, con un interés del 8%. Hacemos primero una tabla de los costos anuales:

AÑO	SEMIAUTOMATICA	AUTOMATICA
0	10.000	16.000
1	6.000 + imp. + Seguro	4.000 + imp. + Seguro
2	6.600	4.600
3	"	"
4	"	"
5	"	"
6	"	"
7	"	"

AÑO	SEMIAUTOMATICA	AUTOMATICA
8	6.600 + imp. + Seguro	4.600 + 16.000
9	6.600	4.600
10	"	"
11	"	"
12	6.600 + 9.000	"
13	6.600	"
14	"	"
15	"	"
16	"	4.600 + 16.000
17	"	4.600
18	"	"
19	"	"
20	"	"
21	"	"
22	"	"
23	"	"
24	"	"

Hacemos ahora un análisis de los costos de la máquina se
miautomática:

Costo inicial = \$ 10.000

Los costos anuales son 6.600; para saber cuanto vale a-
hora una serie de pagos durante 24 años a un interés del 8%, usamos
un factor llamado Valor Actual de Pagos Uniformes (VAPU) que es -
igual a:

$$\frac{(1 + i)^n - 1}{i (1 + i)^n}$$

donde i es el interés y n es el número de años.

Luego el valor actual de los costos anuales para la máquina semiau-
tomática es:

$$6.600 (VAPU) = 6.600 \cdot 10,529$$

n = 24
L = 8

Costos anuales = \$ 69.491,4

En el año 12 se vende la máquina vieja a \$ 1.000 y se compra una nueva en \$ 10.000 con un desembolso neto de \$ 9.000. El valor actual de este gasto es:

$$\begin{aligned}
 n &= 12 \\
 9.000 \text{ (VAUP)} &= 9.000 \cdot 0,3971 = \$ 3.580 \\
 i &= 8
 \end{aligned}$$

Al finalizar el año 24 se vende la máquina vieja en \$ 1.000. El valor actual de esto es:

$$\begin{aligned}
 n &= 24 \\
 1.000 \cdot \text{(VAUP)} &= 1.000 \cdot 0,1577 = 157,7 \\
 i &= 8
 \end{aligned}$$

Este valor como es realmente un ingreso se resta de los anteriores.

En el caso de la máquina automática, tenemos los siguientes costos:

Costo inicial = \$ 16.000

Costos actuales:

$$\begin{aligned}
 n &= 24 \\
 4.600 \cdot \text{(VAPU)} &= 4.600 \cdot 10,529 = \$ 48.433 \\
 i &= 8
 \end{aligned}$$

Se compra una máquina nueva en el año 8. El valor actual es:

$$\begin{aligned}
 n &= 8 \\
 16.000 \cdot \text{(VAUP)} &= 16.000 \cdot 0,5403 = \$ 8.600 \\
 i &= 8
 \end{aligned}$$

Se compra otra máquina en el año 16. Su valor actual es:

$$\begin{aligned}
 n &= 16 \\
 16.000 \cdot \text{(VAUP)} &= 16.000 \cdot 0,2929 = \$ 4.650 \\
 i &= 8
 \end{aligned}$$

hacemos un resumen de los costos para las dos máquinas

SEMIAUTOMATICA

Costo inicial		= \$ 10.000
Costo anual = 6.600	$n = 24$ (VAPU)	= " 69.491
Compra máquina = 9.000	(VAUP)	= " 3.580
Valor de recuperación = - 1.000	$n = 24$ (VAUP) $i = 8$	= " <u>158</u>
TOTAL		= \$ 82.912

AUTOMATICA:

Costo inicial	=		₡	16.000
Costo anual	=	4.600 . (VAPU)	"	48.433
Compra máquina # 2	=	16.000 . (VAOP) ⁸	"	8.600
Compra máquina # 3	=	16.000 . (VAUP)	"	4.650
				77.750
		TOTAL	₡	77.750

Comprobamos entonces que es más conveniente comprar la máquina automática. Otra manera como podemos ver cual equipo nos resultará más económico, es por medio del método llamado Recuperación de Capital. Para esto usamos el factor llamado también - Recuperación de Capital (RC) Este factor sirve para encontrarla cantidad que debemos pagar anualmente para dejar en 0 un capital que nos han prestado. Si nos prestan ₡ 10.000 por ejemplo, el 8% y queremos pagarlo en 10 años, debemos abonar cada año:

$$10.000 \cdot (RC) \stackrel{10}{=} 10.000 \cdot 0,1490 = ₡ 1.490$$

$i = 8$

Debemos pagar ₡ 1.490 cada año. El factor (RC) es igual a:

$$\frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Viene tabulado en las tablas de interés para los diferentes valores.

Damos ahora un ejemplo de la manera como se usa este método de recuperación de capital. Queremos escoger entre dos máquinas para un cierto tipo de trabajo. Una cuesta ₡ 25.000, tiene una vida útil de 15 años y sus costos de producción se calculan en ₡ 4.000 anuales. La otra cuesta ₡ 30.000, tiene una vida útil de 15 años y Gastos anuales de ₡ 3.000. Debemos buscar la alternativa más conveniente con un interés del 8%.

Para aplicar este método, debemos encontrar todo lo que gastamos en un año, o sea los gastos de producción más los que de-

bemos pagar cada año para recuperar el capital invertido en la máquina. Tenemos dos alternativas:

ALTERNATIVA Nº 1

$$\begin{aligned} \text{Costo de Producción} + \text{Costo Inicial (RC)} &= \text{Gasto anual} \\ 4.000 + 25.000 \text{ (RC)} &= \\ n=15 \\ i = 8 \end{aligned}$$

$$4.000 + 25.000 \cdot 0,11682 = 4.000 + 2.920 = \$ 6.920$$

ALTERNATIVA Nº 2

$$\begin{aligned} 3.000 + 30.000 \text{ (RC)} &= \\ n = 15 \\ i = 8 \end{aligned}$$

$$3.000 + 30.000 \cdot 0,11682 = \$ 6.504$$

Luego la segunda alternativa es la más conveniente.

Naturalmente la elección de alternativas puede estar influenciada por factores imponderables, como disponibilidad de fondos de la empresa, política de compras, planes futuros, etc. Estos métodos que hemos estudiado proporcionan entonces una guía para estas decisiones.

3.2. a) CUANDO SE DEBE REEMPLAZAR UN EQUIPO

Habíamos visto en la introducción de este capítulo, que el problema de reemplazo de equipo se puede clasificar de cuatro maneras:

- 1.- El uso continuado de un equipo hasta después de la expiración de fecha estimada de vida útil.
- 2.- El uso continuado de un equipo después de que se han hecho reparaciones en él, al final de su vida útil estimada.
- 3.- El reemplazo de un equipo a la expiración de su vida útil estimada.
- 4.- El reemplazo de un equipo antes de la expiración de su vida

Útil estimada.

Además existen ciertos factores que se deben revisar - antes de tomar alguna decisión. Se debe comparar entre los dos equipos como responden a los siguientes factores:

EQUIPO ACTUAL:

- 1.- Costo inicial
- 2.- Costo de operación
- 3.- Vida estimada
- 4.- Valor de venta al fin de vida útil
- 5.- Edad actual
- 6.- Valor de venta en la presente fecha (en el sitio)
- 7.- Entradas y ganancia esperada
- 8.- Producción por año, número de piezas
- 9.- Fondos disponibles en reserva para depreciaciones
- 10.- Razones para el cambio

EQUIPO PROPUESTO

- 1.- Costo Inicial
- 2.- Costo de operación
- 3.- Vida Estimada
- 4.- Valor de venta al fin de vida útil
- 5.- Entrada y ganancia esperada
- 6.- Producción por año, número de piezas
- 7.- Fondos disponibles
- 8.- Razones para las que este equipo es un buen reemplazo.



BIBLIOTECA

Con el propósito de explicar mejor las cuatro maneras en que se puede enfocar el problema de cambio de equipo, daremos el siguiente ejemplo:

Una compañía tiene una máquina que fue comprada hace 15 años. Su costo de instalación fue de \$ 11.000, su vida útil fue -

estimada en 15 años y el valor en que podía ser vendida al final de esta vida en \$ 1.400. Por lo tanto se le asignó una depreciación anual de \$ 640. Los costos de operación de la compañía eran tales que las ganancias derivadas de las operaciones fueron colocadas en el grupo del 25% con vista a los impuestos por ingresos de compañías. Se esperó una ganancia del 10% después de los impuestos. El costo de operación debido a la mano de obra eran originalmente de \$ 30.000 por año, pero se han elevado hasta la cantidad actual de \$ 66.000 por año.

Hay el propósito de cambiar esta máquina por una nueva. El costo inicial de esta máquina es de \$ 20.400, su vida útil estimada es de 15 años y el valor en que se puede vender al final de este tiempo es de \$ 4.000. La compañía espera la misma ganancia y todavía estar en la zona del 25% para impuestos sobre ingresos.

Vamos ahora a hacer un análisis sobre las ventajas y desventajas de aplicar cada uno de los cuatro criterios expuestos anteriormente sobre el problema de reemplazar un equipo.

1) USO CONTINUADO DE LA EXPIRACION DE SU VIDA UTIL.- Si es que ha realizado un buen mantenimiento en las máquinas, se considera que esta está todavía en buenas condiciones de operación. No se espera ningún aumento en los costos de operación en los siguientes años. El mercado para este tipo de máquinas es bueno y no existe problemas en vender la máquina en \$ 1.400 que es el valor que se había calculado. Como la depreciación se había calculado en \$ 640 por año, la máquina puede ser usada por $1.400/640$, o sea 2,2 años hasta acumular el valor de venta final y poder vender la máquina como chatarra. A continuación damos el análisis económico en comparación con un equipo nuevo:

I T E M	Máquina Vieja	Máquina Nueva
COSTOS DE OPERACION:		
Mantenimiento y reparación	\$ 2.000	\$ 3.000
Depreciación	640	1.340
Mano de obra directa	66.000	66.000
TOTAL:	\$ 68.640	\$ 70.340
Ganancia esperada del 10%	1.100	2.400
Impuestos al 25%	360	800
	\$ 70.100	\$ 73.540

Vemos por el análisis que la diferencia entre los costos de operación es de \$ 3.340 en favor de la máquina antigua, lo que nos indica que podemos seguir usando esta por dos años más. Lo único que hay que tomar en cuenta es si la vida de la máquina realiza su trabajo dentro de los standars establecidos para ella.

2) USO DESPUES DE REPARACIONES HECHAS AL FINAL DE LA VIDA UTIL ESTIMADA.- Asumimos aquí, que la máquina, habiendo llegado al final de su vida útil, requerirá reparaciones. Pero estos arreglos son de tal magnitud que no son propiamente reparaciones, sino que se los puede clasificar como reconstrucción. Para esto es necesario la capitalización de gran parte del costo. Estimamos que la reconstrucción tendrá un valor de \$ 1.200,00 y le dará una vida estimada de tres años más. Luego su depreciación será de \$ 200 por año. La máquina al final de estos tres años no podía ser vendida sino como chatarra. El análisis económico es el siguiente:(cuadro página 129)

La comparación no muestra ninguna ventaja al reconstruir la máquina vieja que comprar la nueva. El costo adicional de reconstruirla será la mitad del costo de una máquina nueva. Entonces parece razonable que las ventajas de la máquina nueva pesarán más que

I T E M	Máquina Vieja	Máquina Reconstruída	Máquina Nueva
Costo inicial			
Costo de Operación	2.000	2.000	3.000
Depreciación	640	4.000	1.340
Mano de obra directa	66.000	66.000	66.000
TOTAL	68.640	72.000	70.340
Ganancia esperada			
del 10%	1.100	1.200	2.400
Impuestos al 25%	360	20	800
TOTAL	70.100	73.220	73.540
=====			

las dificultades para conseguir el dinero para comprar la otra mitad requerida.

Si esta situación se hubiera presentado en la mitad de la vida útil de la máquina, se hace fácil ver que los años extra de servicio hubiera hecho el costo anual de la máquina menos que el de la máquina nueva y la reconstrucción de la máquina sería ventajosa.

3) REEMPLAZO AL FINAL DE LA VIDA UTIL.- Las características en este caso son iguales que las discutidas en el numeral 1. La única diferencia es que se discute ahora el reemplazo y no la continuación del uso. El análisis económico es exactamente el mismo y como vemos la diferencia en el costo de operación no es muy significativa. Lo que si debe tenerse en cuenta es la capacidad de financiar la cantidad de dinero que representa la diferencia entre el costo de la máquina nueva y el valor en los libros de la máquina vieja totalmente depreciada. En el ejemplo tendríamos $20.400 - 11.000 = 9.400$. Este es un problema ya para el tesorero de la compañía y él verá la manera de resolverla más satisfactoriamente.

4) REEMPLAZO ANTES DE TERMINAR LA VIDA UTIL ESTIMADA.- El reemplazo de un equipo antes de su vida útil estimada puede suceder debido a deterioramiento físico o funcional. El deterioramiento físico puede suceder por el desgaste de elementos de la máquina que están sujetos a desgastes y roturas. La falta de un mantenimiento adecuado puede haber sido la causa del desgaste físico. El desgaste funcional puede suceder por un cambio en diseño, cambio en los métodos de operación, o mejoras en resto de los equipos: en otras palabras, el equipo se ha vuelto anticuado y obsoleto.

Una pregunta que es de las primeras que se presentó, si el equipo debe ser reemplazado por uno igual o si un nuevo tipo de equipo más avanzado debe ser comprado. Este nuevo equipo debe ser comparado con una máquina nueva del equipo original para poder determinar cual equipo es más conveniente para las necesidades de la planta.

Un análisis económico sobre la máquina a reemplazarse sólo nos indicará la cantidad que no se ha depreciado y es problema del contador ver en qué renglón carga esta pérdida.

El reemplazo de un equipo cuando este se ha vuelto anticuado implica algunas decisiones importantes para saber si hay o no hay ventajas al cambiar el equipo por uno más moderno. La solución de este problema está en la aplicación de análisis económicos, financieros y de ciertos factores intangibles que influyen en la decisión.

Al hacer el análisis económico de la situación, debe trabajarse con el valor de las características de la máquina vieja en el tiempo presente, no con las características que ésta tenía de nueva. Algunas veces cuando se está tratando de cambiar un equipo, se encuentra en el nuevo modelo, tiene mayor producción. No es con-

veniente comparar los costos de operación, debido a la mayor capacidad de producción de la una. Es correcto, sin embargo, determinar el costo unitario de producción más la ganancia con el presente nivel de producción para el equipo nuevo.

Como ilustración de lo dicho anteriormente, vamos a poner un ejemplo:

Un equipo ha estado en operación durante cierto tiempo - en una planta. Se ha propuesto un cambio de equipo para reducir - los costos de producción. Se hace el siguiente análisis para poder actuar. Se comienza con un análisis de las características de los dos equipos:

EQUIPO ACTUAL

MAQUINAS USADAS = 2
MANO DE OBRA DIRECTA = 1 hombre por máquina por 50 semanas al año; \$ 50 por hora por 2.000 horas.
MATERIA PRIMA: \$ 6.00 por pieza
NIVEL DE PRODUCCION: 10 x hora, 40.000 por año
COSTO DE ENERGIA \$ 0,60 por hora
ACCESORIOS Y UTILLAJES: \$ 3.000 por año
COSTOS INDIRECTOS COMO IMPUESTOS, SEGUROS, ILUMINACION:
\$ 30 por pie cuadrado por año
REPARACIONES Y MANTENIMIENTO: \$ 6.000 por año
MANO DE OBRA INDIRECTA, SUPERVISION, COMPENSACIONES:
\$ 40 por hombre-hora
COSTO INICIAL DEL EQUIPO: \$ 50.000
VIDA ESTIMADA AL COMPRARLO: 10 años
EDAD ACTUAL: 6 años
PRECIO DE VENTA AL FINAL DE LOS 10 AÑOS: \$ 6.000
PRECIO DE VENTA ACTUAL: \$ 6.000
ESPACIO REQUERIDO: 75 pies cuadrados.

EQUIPO PROPUESTO:

MAQUINAS USADAS: 1
MANO DE OBRA DIRECTA: 1 hombre por máquina, 50 semanas por año, \$ 40 por hora por 2.000 horas
MATERIA PRIMA: \$ 6,00 por pieza
AJUSTADOR (Parte del tiempo) \$ 600 por semana
INSPECTOR: 8 horas por semana: \$ 40 por hora
NIVEL DE PRODUCCION: 30 x hora = 60.000 piezas por hora
COSTO DE ENERGIA: \$ 0,60 por hora-máquina
HERRAMIENTAS Y UTILAJES: \$ 6.000 por año
MANO DE OBRA INDIRECTA, SUPERVISION, COMPENSACIONES, etc:
\$ 40 por hombre-hora
COSTO INICIAL DEL EQUIPO: \$ 120.000
VIDA UTIL ESTIMADA: 6 años
PRECIO DE VENTA AL FINAL DE LOS 6 AÑOS: \$ 12.000
ESPACIO REQUERIDO: 100 pies cuadrados

Con estas características, podemos hacer los siguientes - análisis para ver si compramos un equipo del mismo tipo del actual o del nuevo modelo propuesto.

Calcularemos primero el costo inicial de ambos equipos, teniendo en cuenta que necesitamos una producción de 40.000 piezas por año. De aquí obtendremos también el número de máquinas que necesitamos. Usaremos la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Producción por año}}{\text{(Piezas por hora)}} = \# \text{ de máquinas} \times \text{(Horas por año)}$$

Para el equipo actual tendremos:

$$\frac{40.000}{10.200} = 2 \text{ máquinas}$$

Para el equipo propuesto: $\frac{40.000}{30.200} = 2/3 \text{ máquina}$

Obviamente no podemos conseguir 2/3 de máquina así que debemos tomar una máquina. Aquí ya encontramos una ventaja pues con una máquina necesitaremos menos obreros.

El costo inicial será pues para el equipo actual:

$$\$ 50.000 \times 2 = \$ 100.000$$

Para el equipo propuesto:

$$\$ 120.000 \times 1 = \$ 120.000$$

Tomaremos en cuenta ahora los costos de operación en ambos equipos. Esto es importante, pues nos indicará las ventajas del equipo sobre el otro.

COSTO DE OPERACION DEL EQUIPO ACTUAL

Mano de obra directa:

(Máquinas) (Horas por año) (Costo por hora)

$$2 \times 2.000 \times 50 = \$ 200.000$$

Materia prima:

(Piezas por año) (Costo por pieza)

$$40.000 \times 6 = \$ 240.000$$

Energía: (Máquinas) (Horas por año) (Costo por hora)

$$2 \times 2.000 \times 0,6 = \$ 2.400$$

Herramientas = (Máquinas) (Costo por máquina) =

$$2 \times 3.000 = \$ 6.000$$

Costos indirectos:

(Máquinas) (Pies cuadrados por máquina) (Costos por pie²)

$$2 \times 75 \times \$ 30 = \$ 4.500$$

Mano de obra indirecta, inspección, etc.

(Máquinas) (Horas-hombre por año) (Costo por año)

$$2 \times 2.000 \times 40 = 160.000$$

Reparaciones y mantenimiento:

(máquinas) (Costo por máquina)

$$2 \times \$ 6.000 = 120.000$$

Depreciación:

(Nº máquinas) (Costo inicial) - (Precio de venta final)

Vida estimada

$$\frac{2 \times 50.000 - 2 \quad 6.000}{10} = \text{\$} \quad 8.800$$

COSTO TOTAL DE OPERACION POR AÑO: " 633.700

Realizamos el mismo análisis con el equipo propuesto y -
tendremos:

COSTO DE OPERACION DEL EQUIPO PROPUESTO:

Mano de obra directa:

Obrero = 1 x 2.000 x 40 = $\text{\$}$ 80.000

Ajustadores =(Semanas)(Costo) por semana
50 x 600 " 30.000

$\text{\$}$ 110.000

Materia prima = 60.000 x 6 " 360.000

Energía = 1 . 2.000 . 0,6 " 1.200

Utilajes = 1 x 5.000 " 5.000

Costos indirectos = 1 . 100 . 30 " 3.000

Mano de obra indirecta = 1 . 2.000 x 40 " 80.000

Inspector = (1 hombre) (8 horas por semana)
x (50 semanas) ($\text{\$}$ 40 x hora) "
1. 50 . 8 . 40 16.000

Mantenimiento: 1 . 12.000 " 12.000

Depreciación: 120.000 - 600 " 18.000
6

COSTO TOTAL OPERACION: $\text{\$}$ 605.200
=====

El análisis anterior ha sido hecho para la máquina fun-
cionando a su plena capacidad, o sea de 60.000 piezas por año. -

Pero debemos hacer el cálculo para 40.000 piezas por año que es - la producción que se vende. Haremos esto para ver como afecta al costo de producción.

COSTO DE OPERACION DEL EQUIPO PROPUESTO A 2/3 DE SU CAPACIDAD:

Mano de obra directa	\$/ 73.320
Materia prima	" 240.000
Energía	" 800
Utilajes	" 3.320
Gastos indirectos	" 2.000
Mano de obra indirecta	" 53.320
Ajustador	" 10.660
Mantenimiento	" 8.000
Depreciación	" 18.000
	<hr/>
COSTO:	\$/ 409.420
	=====

Hacemos el siguiente cuadro para poder darnos cuenta mejor de los costos:

	Equipo actual	Equipo propuesto 2/3 cap.	Equipo propuesto plena cap.
Costo de operación			
por año	633.000	409.420	605.200
Número de piezas			
por año	40.000	40.000	60.000
Precio unitario de			
Venta	15,90	10,20	10,10

Con estos resultados, podemos darnos cuenta claramente - que el equipo nuevo, baja en más de una tercera parte los costos de producción, y si existe la facilidad para financiar la inversión, se debe proceder a cambiar el equipo.

Antes de tomar una decisión sobre el cambio de equipo - es conveniente tener en cuenta ciertos factores que pueden afectar la decisión final.

Hay equipos que pueden realizar varios tipos de trabajos, mientras que otros son construídos para realizar un sólo - trabajo. Por lo general, este equipo es más eficiente al realizar este trabajo, pero si las condiciones de la venta del producto no son estables, habrá épocas en que el equipo estará parado. - En un equipo puede realizar varios trabajos no existirá este problema.

La calidad del producto es otro factor importante en la decisión sobre que equipo usar. En equipos buenos, generalmente - es así. La facilidad de operación y la capacidad del personal debe ser tomado en cuenta.

El espacio que van a ocupar los equipos también tiene importancia en la decisión. Un equipo nuevo que requiera mayor espacio y no haya este disponible, requerirá una expansión de instalaciones, construcción de edificios, que quizás no sea posible financiar. Por otra parte si el equipo necesita menos espacio, dejará lugar para una expansión de la planta sin gasto de dinero.

Los efectos que el cambio de equipo puedan tener en la - organización interna de la fábrica, del personal al servicio de mantenimiento, deben ser previstos. Con un nuevo equipo se producen nuevos cargos, necesidad de obreros especializados, supervisores - especializados. El costo de todo esto debe ser calculado y añadido al costo de instalación del nuevo equipo.

MANERAS DE ESTIMAR EL TIEMPO DE REPOSICION

Existen algunas maneras de estimar, por medio de los costos, el tiempo en que debe ser reemplazado un equipo. Uno de estos

métodos se basa en la determinación del costo promedio de operación para cada año desde el principio. La edad en que el equipo debe ser reemplazado es aquella en que los costos de operación anuales exceden el promedio de los costos de operación de todos los años precedentes. A continuación damos una tabla con los costos de operación de una máquina imaginaria.

AÑO	COSTO DE OPERACION ANUAL	PROMEDIO DE COSTOS DE OPERACION
1	653.900	653.900
2	652.500	653.200
3	651.500	652.633
4	650.900	651.950
5	650.700	651.900
6	650.900	651.733
7	651.500	651.700
8	652.500	651.800
9	653.900	652.033
10	655.700	652.400

En la tabla anterior, nos damos cuenta, que en el octavo año, los costos de operación del equipo son superiores al promedio de los años anteriores. Esto nos indica que este es el año en que se debe hacer la reposición. Es también una señal de que el equipo ha entrado en el período de fallas, llamado "fallas por edad" que quedó explicado en el capítulo anterior, por lo tanto, cada año los costos de operación serán mayores.

METODO DE LOS ANOS A PAGAR.- El presente método es usado muy frecuentemente en las compañías industria

les de los Estados Unidos. Se denomina en inglés, Pay-Of Period. En general, se refiere al tiempo en que los ahorros producidos por el equipo nuevo serán iguales a la inversión realizada. Existe alguna dificultad en explicar correctamente la manera como se opera con este método. Se basa en la definición de tres términos: ahorros, inversión y años a pagar.

Los ahorros pueden ocurrir en cualquiera de los tres elementos principales del costo. Mano de Obra, Materiales y Gastos de Operación. Generalmente los ahorros se producen en la mano de obra, pero esta no es la única posibilidad. Pueden existir en el costo de los materiales, cuando el proceso o método de fabricación es más económico, especialmente en lo que se refiere a desperdicios de materiales. O el ahorro puede estar en los costos de operación, lo que sucede cuando el volumen de producción aumenta produciendo un descenso en el costo por unidad.

En lo que se refiere a la inversión, hay que tomar en cuenta, además el costo inicial, la depreciación del equipo no absorbida y cualquier otro costo que produzca el cambio de equipo.

En cuanto a los años a pagar, esto es cuestión de la política de la compañía al observar un criterio sobre el tiempo en que es conveniente que los ahorros producidos por el equipo cubran el valor de la inversión. Esta política debe ser decidida por el departamento de contabilidad y los directivos de la compañía. Sería inútil dar un mínimo de años determinado como el ideal para este método, pues los sistemas de financiación son diferentes en cada planta, teniendo en cuenta que pueden existir otros factores que pueden modificar el número de años requeridos

como un aumento en la producción, en que un equipo más productivo será necesario, no importa en cuantos años se pague.

METODO DEL INDICE DE CONFIABILIDAD

Otras de las maneras de tomar decisiones en reemplazar un equipo, se basa en el índice de confiabilidad que ya fue estudiada en un capítulo anterior. Cuando este índice de confiabilidad nos indica que el equipo está por debajo de los standards para él y que, a pesar de reparaciones o cambios que se le pueda hacer, no responderá con la efectividad deseada. Entonces podrá tomarse en consideración la alternativa de reemplazar el equipo. Se harán los análisis económicos usuales, y si el cambio resulta conveniente, se procederá a efectuarlo.

Al calcular el índice de confiabilidad, debe hacerse con el mayor cuidado, teniendo en cuenta las características especiales de cada tipo de equipo. Un cálculo erróneo puede traer consecuencias costosas para la empresa.

Otro error muy común es el de no tener en cuenta, que si al hacer reparaciones o modificaciones, el índice de confiabilidad de un equipo puede elevarse. Claro que hay que tomar en cuenta el costo de estas reparaciones, pues si son muy grandes quizá convenga el equipo nuevo.

En ciertas fábricas que tienen máquinas del mismo tipo, se acostumbra que cuando un equipo alcanza un índice de confiabilidad previamente determinado por el departamento técnico o de mantenimiento y si su reparación es muy costosa, el equipo es reemplazado. Este es un sistema que requiere mucho análisis antes de ser aplicado.

METODO DEL RENDIMIENTO DE UNA INVERSION

Esta manera para determinar la rentabilidad de un equipo se basa en el método desarrollado en Norteamérica y que se denomina del rendimiento de una inversión (Yield of an Investment Method)

Este método consiste en encontrar el interés mínimo que una persona debe obtener de una inversión, para que este sea mayor, o por lo menos igual al costo del capital. Explicando mejor, esto quiere decir que, por ejemplo, el capital para comprar un equipo, ha sido financiado con un interés de 10% anual, este equipo debe producir utilidades iguales por lo menos al interés que se paga por el capital para que este sea rentable.

Cuando existe la probabilidad de comprar dos equipos de diferente precio que son mutuamente exclusivos, y queremos calcular su rentabilidad por medio de este método, o cuando existen dos equipos ya funcionando para el mismo fin, que son de diferente valor y se quiere eliminar al menos rentable, se debe tomar en cuenta un factor muy importante, y es el tamaño de la inversión. Expliquemos mejor este punto. Supongamos que existe un equipo A, de un valor de \$ 100,00 que tiene una rentabilidad del 15% y otro B de \$ 50.000 que tiene una rentabilidad del 20%. Ambos están sobre el costo del capital.

El equipo A producirá: $100.000 \times 0,15 = 15.000$

El equipo B producirá: $50.000 \times 0,2 = 10.000$

Nos encontramos aquí con que el equipo A produce \$ 5.000 más de ganancia que el B. Es decir que los \$ 50.000 más que se han invertido, están produciendo ganancias adicionales que si estuvieran en un banco.

Lógicamente, estas decisiones están influenciadas por otros factores que deben ser tomados en cuenta, la disponibilidad de capital, entre otros.

3-2-1) EN FUNCION DE LA VESTANCIA

Hemos estudiado ya lo que es la vestancia. Habíamos dicho que es el costo actual de un servicio. Podemos usar este concepto para poder estudiar la conveniencia de cambiar o no un equipo.

Para realizar esta tarea, debemos estar en capacidad de poder establecer de una manera bastante aproximada, cómo serán los costos de operación de un equipo durante los años venideros. Con este dato nos es más fácil calcular la gestancia para un equipo cualquiera. Para ver si es conveniente el reemplazar un equipo por otro de un modelo diferente, comparamos sus vestancias para los diferentes años. Para realizar esto cuando las maquinarias tienen un período de vida útil que represente un común denominador para ambos. Por ejemplo, si se tiene dos equipos con vidas de 5 y 10 años, se usará 10 años para hacer los cálculos. De igual manera, si la máquina que se proyecta cambiar no ha sido todavía depreciada completamente, se deberá hacer los siguientes pasos. Se buscará el valor contable actual de la máquina P. Se verá cuál es el valor que pueda tener al ser vendida (L) Se restan estas dos cantidades y el resultado se multiplica por el factor Recuperación de Capital (RC) para los años que faltaba depreciarlo. Este valor se puede formular así:

$$(P-L) (R C)$$

Este valor se agrega a los costos anuales de la nueva maquinaria, y si aún así es más económico hay que realizar el cambio.

3-2-ii) APLICANDO EL MODELO MATEMATICO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

Una manera bastante fácil de aplicar y que se usa mucho, es la que se basa en el llamado punto de equilibrio. Se basa en los mismos principios generales que se usan para determinar cual es la condición de una empresa; si ésta tiene pérdidas o ganancias, Igual cosa sucede con un equipo cualquiera, puede producir ganancias o pérdidas, y cuando esto se encuentran por medio del punto de equilibrio, se sabe que decisión tomar sobre un equipo, si cambiarlo o no.

Se puede usar el diagrama del punto de equilibrio para dos cosas: para saber si el equipo debe ser reemplazado o no, y para saber si su operación es más económica que el equipo que se va a comprar.

En el primer caso procedemos en la siguiente forma: Tomamos un sistema de coordenadas; en el eje de ordenadas ponemos las unidades que ha producido el equipo, o el porcentaje de la capacidad que puede funcionar o funciona el equipo. En el eje de las abscisas ponemos los costos como indica la figura N° 30. Pasamos ahora a definir lo que son costos fijos del mantenimiento de un equipo. Estos costos fijos son costos que tiene el equipo, esté funcionando o no; y que además no varían con el tiempo o ritmo o producción. Estos costos son:

<u>Costos Fijos:</u>	Depreciación
	Mano de obra indirecta
	Arriendo
	Seguros

Una vez determinados estos costos fijos, procedemos a marcarlo en el eje de los costos y desde ahí trazamos una recta paralela al eje de las ordenadas.

COSTOS

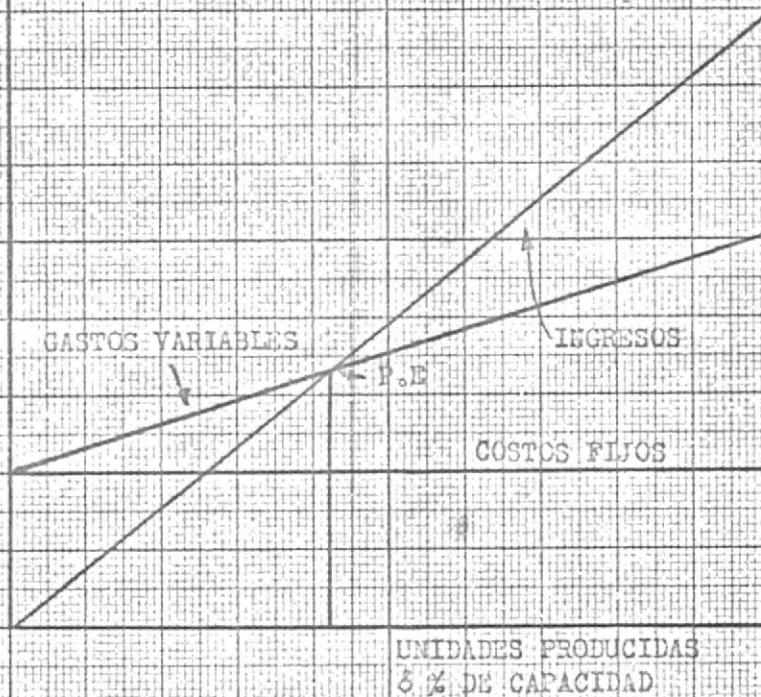


FIGURA N° 30 : DIAGRAMA DEL PUNTO DE EQUILIBRIO



COSTOS

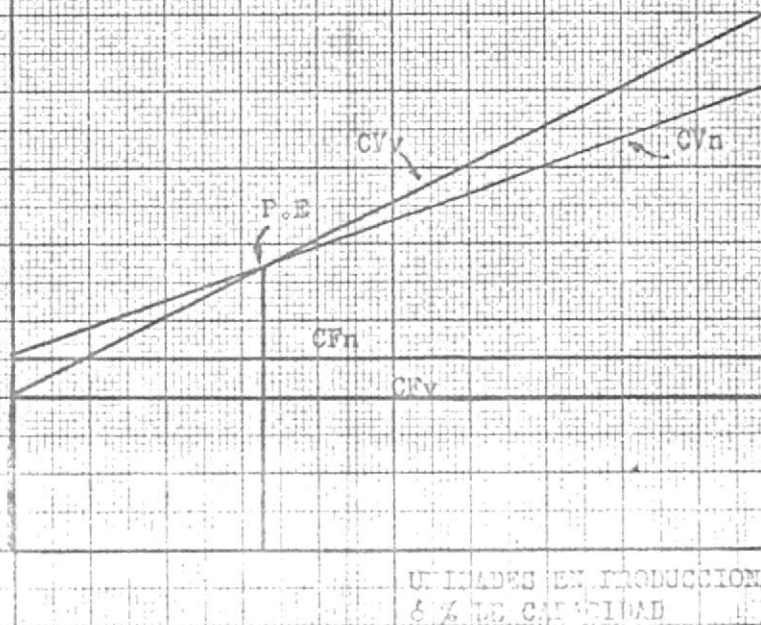


FIGURA N° 31 : DIAGRAMA DEL PUNTO DE EQUILIBRIO APLICADO AL MANTENIMIENTO

actual tiene la capacidad suficiente para cubrir esta demanda. Si las necesidades de producción están justamente en el punto de equilibrio, resulta indiferente realizar o no un cambio de equipo; siempre que no se prevea un incremento en la producción. En el caso en que se pronostique que la demanda llegará a un punto que esté a la derecha del punto, será necesario el cambio de equipo, pues el actual no es suficiente o requerirá de demasiados gastos en el mantenimiento para llegar al nuevo nivel de producción.

Otra aplicación del modelo matemático del punto de equilibrio en el cambio de equipo, es la comparación que permite hacer entre el equipo actual y el equipo con que se proyecta reemplazar, en función de los costos de mantenimiento, en relación con la producción. El proceso a efectuarse es el siguiente:

Trazamos un eje de coordenadas igual al anterior, a continuación graficamos los costos variables y fijos del equipo actual y luego los del equipo propuesto, siguiendo el mismo procedimiento que en el caso anterior. Los costos fijos de un equipo nuevo son siempre superiores, pues estos equipos traen siempre técnicas o procedimientos que aumentan estos costos fijos. Pero en cambio los gastos de operación son menores y en una producción grande deben ser mucho más económicos que el equipo antiguo, realizando la producción a menor costo disminuyendo por lo tanto los costos variables.

El punto donde se corta las rectas de los dos costos variables es el punto de equilibrio. En este punto, el cambio o sustitución es indiferente, pues la demanda puede ser cubierta con el nuevo y viejo equipo a igual costo de mantenimiento. Por lo tanto, si no se va a producir un aumento en la demanda, el antiguo equipo puede cumplir perfectamente esta producción, con igual costo del equipo nuevo. Entonces queda a discreción del ingeniero si realiza el cambio.

Si encontramos que la demanda está situada a la izquierda del punto de equilibrio, entonces un cambio de equipo será necesario, pues el equipo viejo puede cumplir perfectamente esta demanda y no hay necesidad de emplear los recursos financieros de la empresa en un equipo que no es necesario.

El caso puesto es cuando la demanda se halla al lado derecho del punto de equilibrio, fig. 31. Aquí se nota que el equipo nuevo ejecuta la producción mucho más económicamente. En este caso es aconsejable el cambio de equipo. Este método se basa entonces en dos cosas:

- 1.- En función de la demanda
- 2.- En función de la máxima capacidad de la producción.

□ □ □ □ □



BIBLIOTECA

3, 2, b) POSIBILIDAD DE PROLONGAR LA VIDA UTIL DE UN EQUIPO

Cuando se ha hecho una investigación sobre la posibilidad de cambiar un equipo, ha dado como resultado que no es conveniente el cambio de un equipo, las razones para esto pueden ser múltiples; falta de recursos económicos, costos de operación muy altos del nuevo equipo, el ahorro producido no justifica el desempleo, etc. Entonces se requiere que el equipo actual siga funcionando, o sea prolongar su vida útil.

La manera obvia como se puede prolongar la vida útil de un equipo, es por medio de un buen plan preventivo. Se supone que el costo de este plan no puede ser excesivo, pues de otra manera podría resultar más conveniente el nuevo equipo. Además del plan de mantenimiento, si se ha decidido cambiar el equipo, puede hacerse un overhaul completo, reemplazando piezas defectuosas y haciendo un ajuste general, tomando en cuenta, que el costo de estas reparaciones no sean demasiado elevado. Una vez terminado el overhaul deben hacerse pruebas al producto terminado para ver si la calidad del producto, responde a las especificaciones que se tienen para él.

Cuando todas estas modificaciones han sido hechas, se calcula el tiempo medio entre fallas y su confiabilidad. Se las compara con el equipo cuando era nuevo y con la que tendría con el equipo propuesto; un valor cercano a estos será prueba suficiente que estuvo bien hecha la decisión de prolongar la vida útil del equipo.

Otra razón por la que se puede considerar prolongar la vida útil de un equipo, es cuando este puede ser acondicionado para que realicen otras tareas que ya no necesiten la precisión de las anteriores; o como un equipo en stand by en caso falle un equipo nuevo. Esto se puede realizar siempre que el traslado y la instalación no demanden gastos muy elevados.

3.3. EVALUACION DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO

El trabajo y el dinero empleado en el mantenimiento de una planta industrial, tiene que ser justificada por medio de los resultados obtenidos. Existen varios métodos para hacer una evaluación de los trabajos de mantenimiento. Daremos a continuación un método que se pueda aplicar en casi todas las situaciones.

Para poner en ejecución este método tomaremos en cuenta primero que el encargado del mantenimiento es responsable por el costo total del mantenimiento, pues él es responsable de las inversiones que se hacen y debe justificar sus gastos ante la gerencia. En el costo total se incluyen: costo de mantenimiento preventivo, costo de reparaciones al equipo que falla, costo del tiempo muerto, costo de las modificaciones y adiciones, costo de los materiales usados. Este costo se compara con el llamado "Costo de reposición". Llamamos costo de reposición al valor actual de reemplazo del edificio y equipo de la fábrica en que se basa el seguro o el que ha propuesto el Departamento de Contabilidad. De la comparación de estos dos costos tenemos uno de los factores que necesitamos para la aplicación del método que estamos explicando.

$$E = \frac{\text{Costo de Mantenimiento}}{\text{Costo de Reparación}} \\ \text{Reposición}$$

El siguiente costo que tomamos en cuenta para nuestra evaluación es el costo de los tiempos muertos, o sea el costo del tiempo perdido en producción a causa de un mal mantenimiento o por reparaciones mal hechas. Se incluye en estos tiempos muertos el que se ha perdido a causa de las modificaciones o adiciones hechas por razones de mantenimiento. Sumamos este tiempo y lo comparamos con el tiempo total de producción y tendremos otro de los factores necesarios.

$$T = \frac{\text{Tiempo perdido}}{\text{Tiempo de producción}}$$

El último factor necesario para la evaluación del mantenimiento en este método lo encontramos por medio del desperdicio - que ha ocurrido en la producción y que puede ser imputable a un mal mantenimiento. Es conveniente cerciorarse que este desperdicio es debido al mantenimiento porque si no los cálculos darían una cifra errónea. Este desperdicio se compara con el total de la producción de las unidades que sean convenientes. Así tenemos:

$$D = \frac{\text{Desperdicio (en unidades, Kgs. mt. etc.)}}{\text{Producción buena (en unidades, Kgs. mt. etc.)}}$$

Si llamamos E a la eficiencia del mantenimiento, encontraremos que es proporcional a C, T, y D.

Pondremos ahora símbolos a los siguientes costos:

X = Costo total de mantenimiento en un año

Y = Costo total del tiempo perdido en un año

Z = Costo total del desperdicio en un año

Para calcular la eficiencia del porcentaje usamos la siguiente fórmula:

$$E = \frac{xC}{x} + \frac{yT}{y} + \frac{zD}{z}$$

Todos los sumandos de la fórmula de arriba, vienen expresados y su suma dará la eficiencia del mantenimiento.

Si al hacer cada año este análisis, se encuentra un aumento positivo, es indicio de que se están tomando decisiones correctas y que los procedimientos son económicos. Si existe una tendencia a disminuir la eficiencia, es índice de todo lo contrario.

CAPITULO CUARTO

HERRAMIENTAS Y REPUESTOS EN MANTENIMIENTO

Esta es una parte muy importante en el servicio del mantenimiento. Los repuestos y las herramientas juegan un papel vital en la buena marcha de una planta. En este capítulo daremos algunos métodos para mantener un buen stock de repuestos y para una rápida identificación y localización de éstos. Así mismo estudiaremos la manera de mantener un buen almacén de herramientas, ordenado y con la cantidad suficiente. También veremos maneras de prolongar la vida de las herramientas y el mantenimiento que se les puede aplicar.

4-1) STOCKS DE HERRAMIENTAS Y REPUESTOS

Veremos en esta sección, primero lo referente a las herramientas. Todo trabajo de mantenimiento necesita para su realización el empleo de herramientas. Es, por lo tanto, absolutamente indispensable que el operario que ha de necesitar una herramienta, la pueda conseguir fácilmente y ésta esté en buenas condiciones. Es una de las obligaciones que el encargado del mantenimiento en lo que se refiere a herramientas.

En toda planta existe un grupo de herramientas que podríamos llamar básico. Estas son herramientas que se usan en casi todo trabajo como son: desarmadores, alicates, llaves, llaves de tubo, llaves francesas, martillos, etc. Además existen herramientas que se las puede clasificar como especiales que sirven solo para un equipo o trabajo especiales como son: llaves, extractores, accesorios para desmontar, comprobadores, etc.

A continuación damos varias ideas que deben ser consideradas al determinar cual debe ser el stock de herramientas.

- Para el grupo de herramientas que hemos denominado básico,

se debe tener en cuenta que estas herramientas van a ser usadas - constantemente y por todos los operarios del mantenimiento. La - cantidad debe ser suficiente para que, aún en los momentos de mayor trabajo, este no se detenga por falta de una herramienta determinada que la están necesitando varias personas al mismo tiempo. La cantidad de herramientas que se debe tener debe guardar - relación con el tamaño de la planta, la frecuencia de las operaciones simultáneas, la cantidad de personal, etc. Una buena solución para este problema es el de equipar a cada grupo definido de mantenimiento con una caja de herramientas que contenga todas las denominadas básicas. Haciendo responsable al grupo por la caja, también simplificaría el trabajo de la bodega de herramientas. Debido a - que las herramientas básicas serán muy usadas, deberán estar sujetas a un mantenimiento preventivo que aumente su duración.

- Con el grupo de herramientas llamada específicas, se debe - tener más cuidado en su conservación, ya que son construídas expresamente para cada equipo, y no es fácil encontrarlas en el mercado, o su fabricación es difícil o costosa. Este grupo de herramientas deben estar siempre juntas y en un lugar destinado especialmente - para ellas.

Este puede ser un lugar determinado en la bodega de herramientas, o en algunos casos en que pueda resultar más práctico como una caja con llave junto al equipo. El stock que debe mantenerse - de éstas herramientas estará en relación con la duración que pueden tener. Si son de buen material y se las trata con cuidado, pueden durar mucho tiempo sin oposición. Debe tomarse en cuenta también - la frecuencia con que se usan estas herramientas.

4-1-a) NIVELES MAXIMOS, MINIMOS Y CRITICOS

El mantener un nivel correcto de repuestos es un asunto - vital en el mantenimiento. La falta de repuestos, aunque sea uno muy pequeño, puede acarrear la paralización de toda una planta. - Así mismo, un exceso de repuestos significaría una inversión demasiado grande, que puede distraer fondos de otras secciones. Entre estos dos casos extremos, se debe buscar el nivel óptimo en que la inversión sea mínima y nunca exista falta de repuestos.

Antes de dar algunos sistemas para poder mantener un correcto nivel de repuestos, debemos tratar de separar a los repuestos en diferentes categorías. Estas categorías no son únicas ni podrán - ser aplicadas en cualquier situación; la forma en que se clasificarán, dependerá de las diferentes situaciones que se presentan para cada caso particular, y el encargado de mantenimiento deberá tomarlas en cuenta al hacer su clasificación.

Una de las maneras más común, y quizá la más simple y útil, es la de clasificar a los repuestos según la facilidad de conseguirlos. De esta manera tendremos una clasificación para todo aquel - repuesto que se lo puede conseguir en el mercado local. Es obvio - que para esta clase de repuestos no se necesitará un nivel elevado, bastará con asegurarse que el proveedor local no carece de ellos, y que se los puede conseguir en cualquier momento. Esto ofrece la - gran ventaja de evitar tener un capital congelado en repuestos.

La otra categoría sería aquella de los repuestos que no se - encuentran en el mercado y que tienen que ser pedidos, y esperar un tiempo para conseguirlos. En este caso, tendremos que obligadamente mantener un nivel de repuestos que nos permita hacer frente a cualquier emergencia.

Estas dos clasificaciones son de acuerdo a la dificultad de conseguir los repuestos. Dentro de estas, podemos hacer dos subcategorías, dependiendo estas de la frecuencia con que son utilizados. Habrá cierto tipo de repuestos que son usados continuamente y del que habrá que tener un stock elevado, mientras que otro tipo se empleará después de muchas horas de trabajo de un equipo y del que sería impropio almacenar demasiados.

En cada tipo de planta puede variar, como hemos dicho antes, el orden que hemos dado, pasando a ser lo que se ha clasificado - como categoría a subcategoría y viceversa, dependiendo esto únicamente del criterio del jefe de mantenimiento.

Pasemos ahora a ver la manera de encontrar el nivel óptimo de repuestos. El siguiente método nos dará la cantidad que debemos almacenar. Esta cantidad será tal que el costo sea mínimo y no llegará nunca al caso en que el equipo se pare, por falta de repuestos. Para poner en marcha este método tenemos que hacer las siguientes consideraciones:

- 1º.- Debemos tener una idea sobre la cantidad de piezas o repuestos de un mismo tipo que la planta va a ocupar por un período determinado de tiempo. Vamos a dar un ejemplo en el que se necesitan 600 piezas por año de un cierto tipo. A esto, lo llamaremos la demanda o requerimiento R. Esta demanda puede ser conocida o estimada. De todos modos debe acercarse lo más posible a la realidad.
- 2º.- Una vez conocidas las necesidades por un período de tiempo, pasaremos a buscar el tamaño económico del lote de piezas que se van a pedir cada vez que se necesite hacer una reposición. Para encontrar el tamaño del lote, debemos tener en cuenta los costos involucrados. Estos costos son los siguientes:
 - a) Costo de almacenamiento.- En este caso incluimos el arriendo

del local donde se guardan los repuestos, pago a empleados, seguros, deterioro, interés del capital congelado. A este costo de almacenamiento le designamos como C_s y puede ser representado como una pieza unidad de tiempo.

- b) Costo de preparación de un lote.- Este costo es el originado cuando se da origen a una nueva orden de repuestos. Aquí está incluido pago de personal de oficina, costo de contabilidad, seguros de transporte, impuestos, etc. Este será un costo fijo que será igual siempre, no importa el tamaño del lote. Con esto queremos decir que cada vez que se ordena un lote, se realizará el mismo gasto de dinero. Designaremos a este costo C_l .

Tomando en cuenta estos dos costos trataremos de buscar el tiempo óptimo Q del lote a pedirse. Imaginemos que hemos encontrado un valor de $Q = 100$. Como teníamos requerimientos anuales de 600, pediremos cada dos meses 100 unidades. Hagamos una representación gráfica de esto en la figura N° 32.

En la figura nos podemos dar cuenta que el nivel promedio de inventarios es de 50 unidades. Siguiendo con el ejemplo, supongamos un costo de almacenamiento por año de \$ 3,00 por unidad. Entonces vemos que los costos por almacenamiento son iguales a:

$$C_s = Q/2 \cdot C_s = Q/2 \cdot (3) = 1,5 Q$$

Si damos diferentes valores a Q vemos que se forma la curva de la figura N° 33

En forma semejante podemos calcular los costos de preparación de un lote. Calculamos el número de lotes por el siguiente

$$\frac{R}{Q} = \frac{600}{Q} = \frac{600}{100} = 6$$

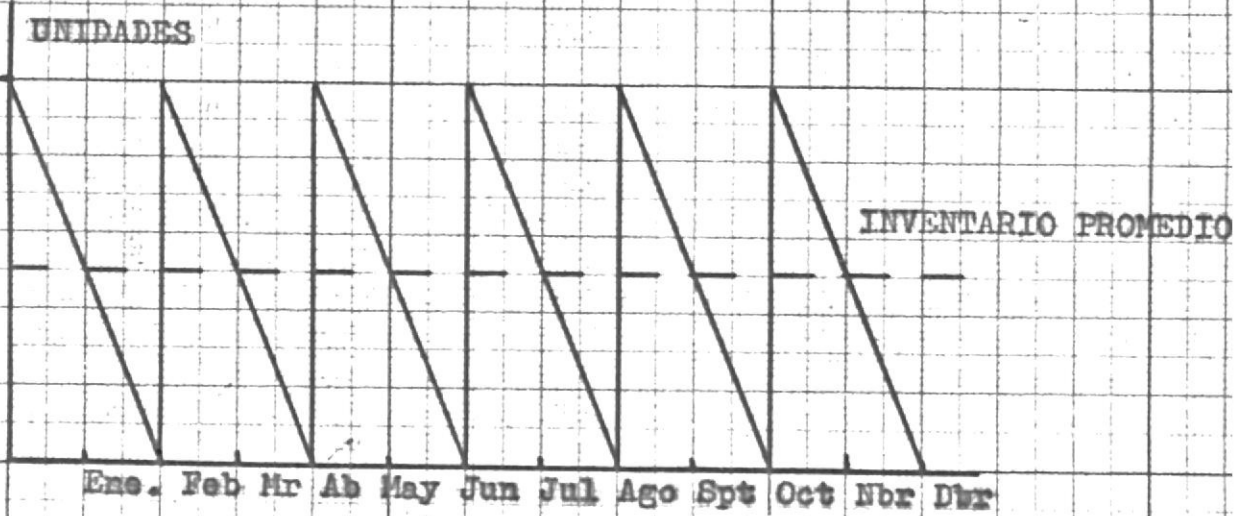


FIGURA 32

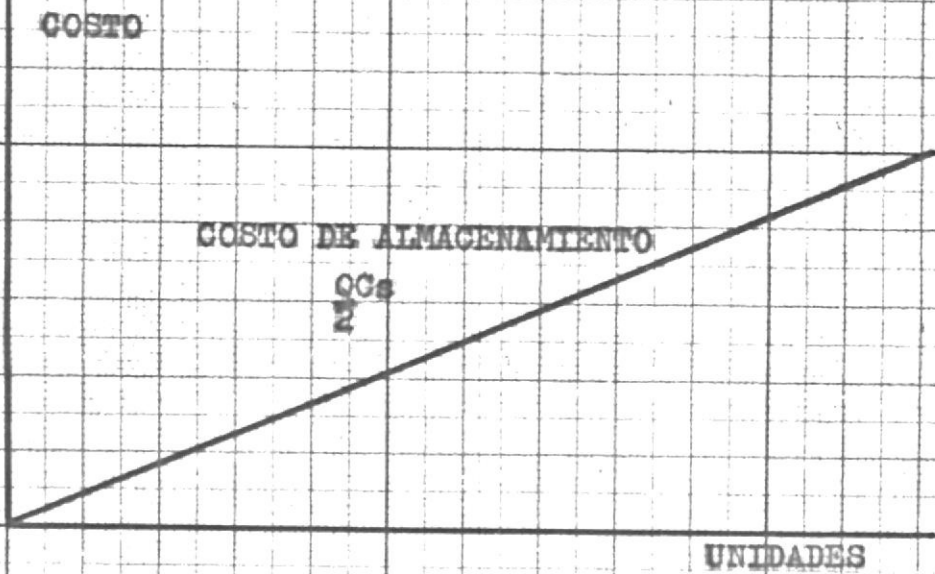


FIGURA 33: COSTO DE ALMACENAMIENTO

Nos imaginamos ahora que el costo de preparación de cada lote es $Cs = \$ 400$. Luego el costo anual de preparación será igual a

$$\frac{R \cdot C_1}{Q} = \frac{600 \cdot 400}{Q} = \frac{240.000}{Q}$$

Por esta fórmula nos podemos dar cuenta que conforme aumenta Q , disminuye el costo anual de preparación. Esto es lógico, puesto que a medida que Q aumenta, disminuye el número de preparaciones y por lo tanto los costos. La relación se encuentra en la figura N° 34, al dar diversos valores a Q en $24000/Q$

Damos ahora un paso importante; identificar las variables controlables X_i y las incontrolables X_j para dar una ecuación cuya fórmula general sea

$$E = f(X_i, X_j)$$

donde E sea la medida de efectividad, que para este caso sería el de los costos. Se puede escoger otras medidas de efectividad, como tiempo perdido en las máquinas, utilización de la maquinaria, mano de obra, pero se prefiere utilizar los costos porque el valor de Q afecta a los costos.

Las variables controlables son aquellas que el encargado del mantenimiento puede controlar. En nuestro ejemplo, la variable controlable es Q , o sea el tamaño del lote. Las variables incontrolables son aquellas que el ingeniero no puede controlar, por lo menos dentro de las limitaciones impuestas por el problema. Por ejemplo la demanda de repuestos, impuestos, seguros, valor de la mano de obra, etc. En nuestro ejemplo las variables incontrolables son: Cs (Costo de almacenamiento) R (demanda o requerimientos) y C_1 (costo de preparación de un lote)

La formulación de una ecuación del tipo $E = f(X_i, X_j)$ -

queda en nuestro ejemplo de la siguiente manera:

$$E = (Q/2 \times Cs) + (R/Q \times Cl)$$

Costo Total	Inventario promedio	Costo de almacena miento por año	Número de Lotes	Costo de Preparación
-------------	---------------------	--	-----------------	----------------------

Nos damos cuenta que esto es la suma de las curvas de las figuras 33 y 34, como vemos en la figura N^o 35.

Ahora encontraremos una fórmula para encontrar el tamaño óptimo del lote.

Tenemos los siguientes datos:

- Q = número de piezas del lote
- T = período de reaprovisionamiento
- θ = período de tiempo
- Cs = costo de almacenamiento
- Cl = costo de preparación

Habíamos encontrado la fórmula (4-1)

$$E = \frac{Q}{2} Cs = \frac{R}{Q} Cl$$

El promedio de inventario será igual a $Q/2$, durante un período de tiempo T. El costo de almacenamiento de $Q/2$ durante T será igual a $Q/2CsT$

Hacemos las siguientes relaciones:

$$\frac{R}{Q} = \frac{\theta}{T} ; RT = Q \theta$$

La fórmula (4-1) queda convertida entonces en:

$$E = \left(\frac{Q Cs T}{2} + Cl \right) \frac{R}{Q}$$

FIG. 35: NIVEL OPTIMO DE RESERVAS

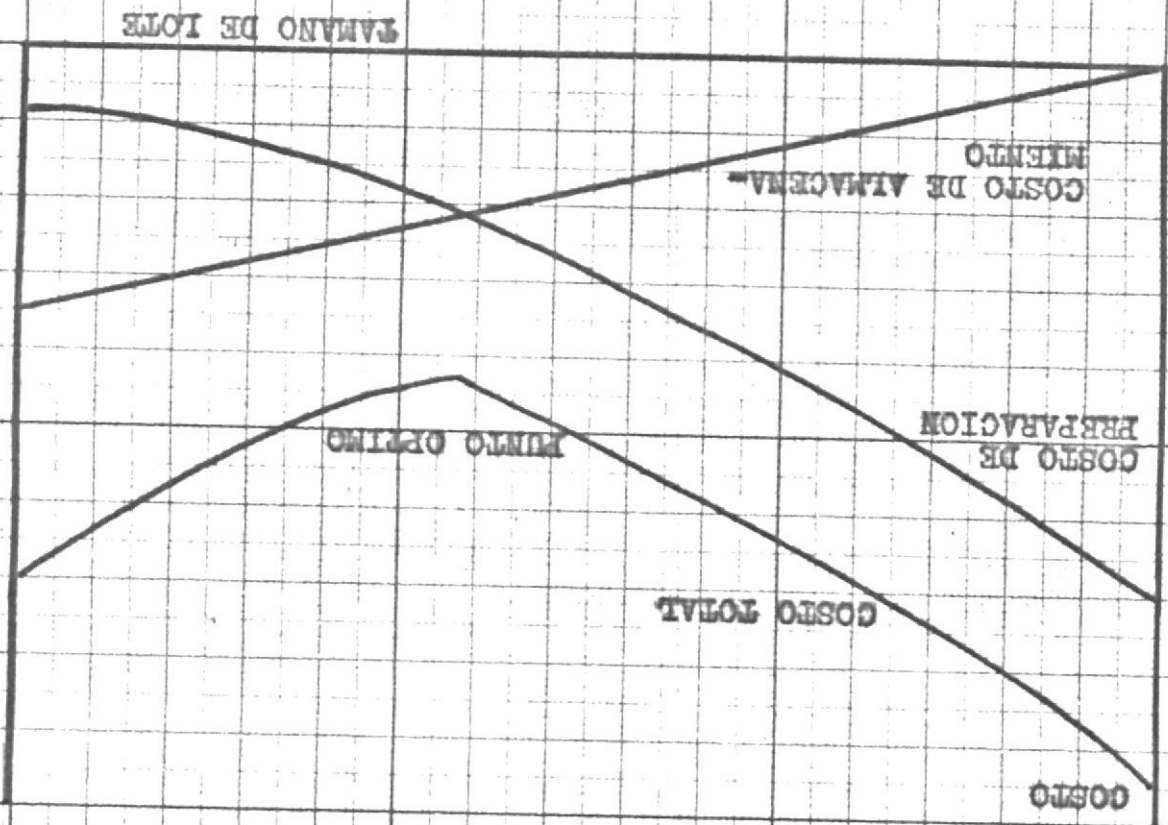
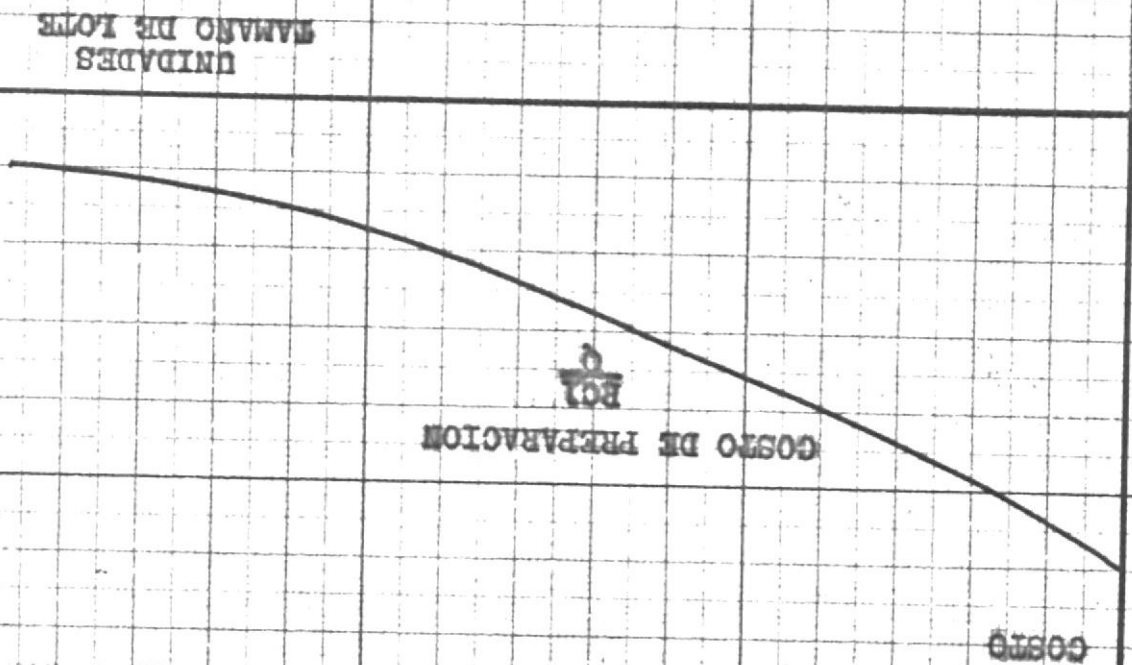


FIG. 34: COSTO DE PREPARACION



$$E = \frac{R T C_s}{2} + \frac{R C_l}{Q}$$

$$E = \frac{\theta C_s Q}{2} + \frac{N c_l}{Q} \quad (4-2)$$

Para hallar el valor óptimo de Q, hacemos los siguientes pasos:

$$\frac{dE(Q)}{dQ} = 0 = \frac{\theta C_s}{2} + \frac{R C_l}{Q}$$

$$\frac{\theta C_s}{2} + \frac{R C_l}{Q}$$

$$Q \text{ óptimo} = \frac{2RC_l}{\theta C_s} \quad (4-3)$$

Uno de los peligros que se tiene con este método es que puede ser utilizado en forma indebida. Por lo tanto, este modelo sencillo de control de inventarios puede no ajustarse a muchas situaciones de la vida real. No toma en cuenta descuentos en el precio, presupone una demanda constante, y en muchos casos el costo del almacenamiento no puede ser calculado exactamente. Sin embargo, después de tomar en cuenta otros factores y refinamientos que afectan al modelo y que aumentan su complejidad, su estructura básica subsiste, con algunos costos que pueden ascender, y otros que pueden bajar. El resultado será siempre una curva de costos que tiene un mínimo.

Cuando se tiene una demanda constante de un tipo de repuestos, y habiendo realizado el gráfico que hemos explicado anteriormente, es posible utilizar este para establecer un nivel de inventario de seguridad. En este puede hacerse constar ciertos factores que no es posible hacerlos entrar en las fórmulas matemáticas. Como se puede ver en la figura N° 37, hemos dado un nivel de seguridad que puede ser encontrado por el encargado del mantenimiento, tomando en cuenta estos factores imponderables en la fórmula mate-

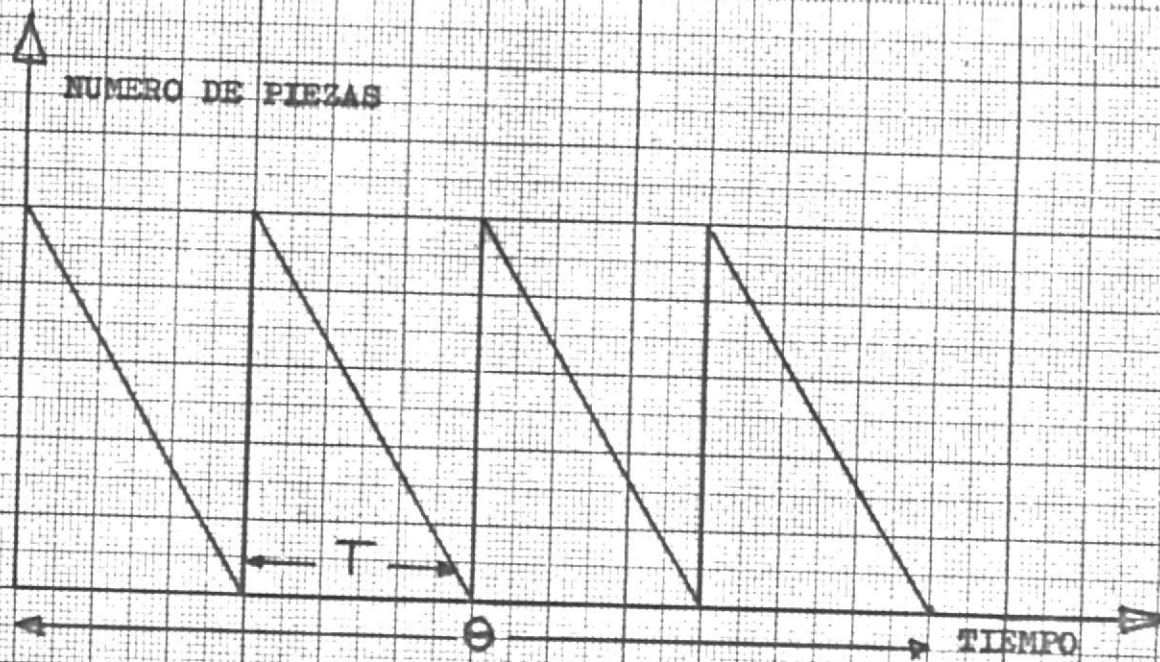


FIGURA No 36

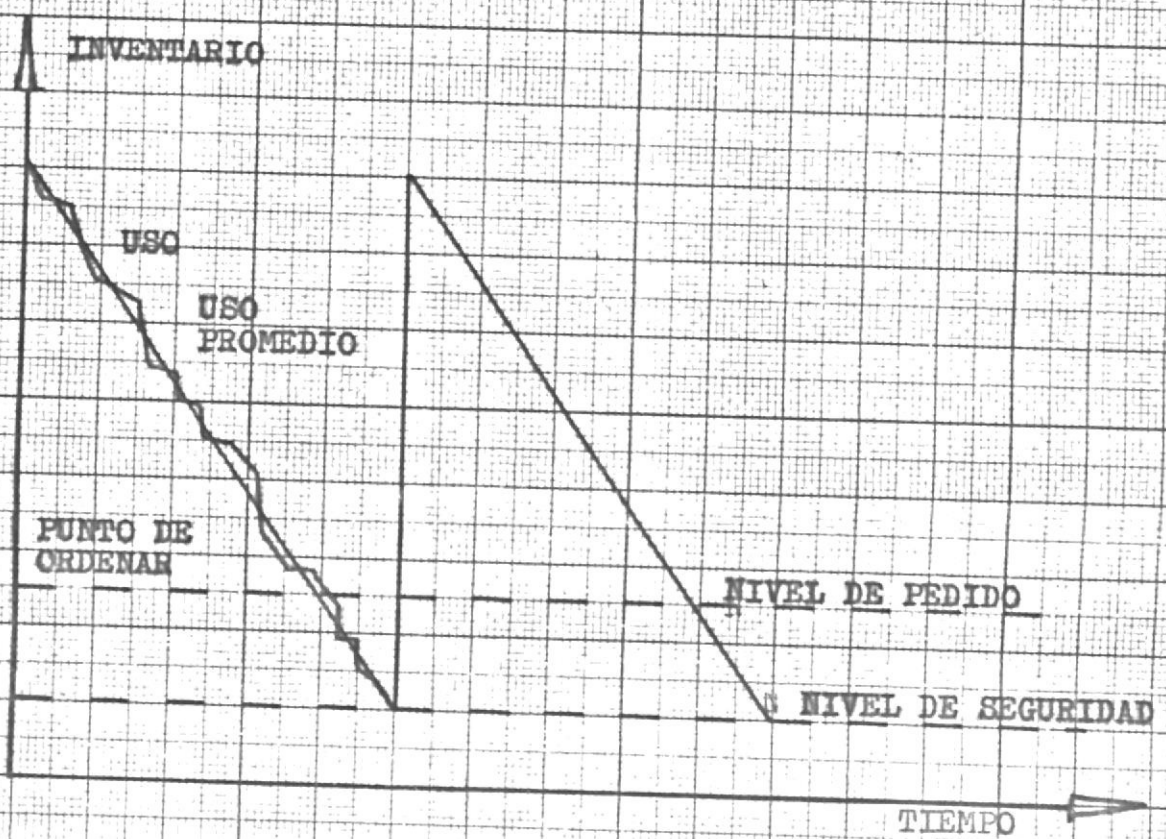


FIGURA No 37

mética. Además, hemos tomado en cuenta el tiempo de compra, o sea el que se demora en llegar el nuevo pedido. Con este dato trazaremos otra recta que nos indicará el nivel de inventario en el cual se debe hacer los pedidos de repuestos.

Vamos a dar a continuación un método rápido y simple para encontrar el nivel de repuestos necesarios para una buena operación. Nos basaremos para esto, en la teoría de la confiabilidad. Usaremos la siguiente fórmula:

$$Aw = rT + ZrT$$

en donde:

A_w = número de repuestos

T = tiempo e horas

Z = nivel de confianza, que es la desviación standar de la mediana, bajo la curva normal

r = fallas por hora.

Para explicar mejor este sistema, pongamos un ejemplo: Un mecanismo consiste en 10 tipos de tubos y de 500 otras partes. Si se asume que los tubos tienen un número de fallas igual a $rT = 0,001$ fallas/hora y para simplificar asignamos a cada una de las otras partes, un factor igual de falla $r_p = 0,0005$ fallas/hora. El equipo se usa 23 horas al día, con una hora diaria de mantenimiento. Qué cantidad de repuestos es necesario tener de tubos y otras partes para satisfacer una confiabilidad de 99,73 en un período de dos años?

SOLUCION: El número total de horas de operación será:

$$2 \times 365 \times 23 = 16.790$$

El número promedio de fallas de tubos será:

$$rT = 0,001 \times 16.790 = 16,790$$

Para las otras partes tenemos

$$rP = 0,0005 \times 16.790 = 8,395$$

Para una confiabilidad de 99,73, vemos que la desviación standar para esta área bajo la curva normal corresponde a 3. Reemplazamos esto en la fórmula y nos queda para los tubos:

$$Aw = rT + T rT$$

$$Aw = 16,790 = 3 \quad 16,790$$

$$Aw = 29,06$$

O sea que debemos tener 29 tubos para cada tipo de tubos; como hay 10 tipos de tubos, nos queda:

$$29,06 \times 10 = 290 \text{ tubos}$$

De igual manera, para las partes hacemos:

$$Aw = rT + z rT$$

$$Aw = 8,395 + 8,395$$

$$Aw = 17,095$$

Luego el número de repuestos necesarios por parte es igual a 17, pero como hay 500 partes, el total será:

$$500 \times 17 = 8.500 \text{ partes}$$

Con este dato podemos aplicar el método anterior para calcular la cantidad de pedidos en que se puede dividir el total.

□ □ □ □ □



BIBLIOTECA

4-1 b) ALMACENAMIENTO, LOCALIZACION Y NOMENCLATURA DE REPUESTOS

Las bodegas de mantenimiento tienen por lo general dos grandes tipos de materiales en existencia:

- 1º.- Repuestos, como son: partes de máquinas, cojinetes, empaques, accesorios, etc.
- 2º.- Materiales necesarios para el mantenimiento general como son: lubricantes, alambre, válvulas, etc.

Para llevar un mejor control de estos dos tipos es conveniente tener un plan para poder identificarlos y localizarlos rápidamente.

Para iniciar un buen plan de este tipo, lo primero que debemos hacer es un inventario inicial de todo lo que se posee en cuestión de repuestos y materiales de mantenimiento. En este inventario debe aparecer todos los repuestos identificados, y toda pieza que ya no sirva o sea obsoleta, debe ser dada de baja inmediatamente. Una vez terminado con el inventario, podemos pasar a la etapa siguiente que es la identificación de los repuestos. Esto debe ser llevado de manera que facilite su localización en el registro de estos y en el lugar donde están almacenados. El registro de los repuestos debe llevarse con tarjetas Cardex. Estas tarjetas deben contener los siguientes datos sobre los repuestos:

Nombre o número del repuesto. Se puede usar el nombre de la pieza, o aún mejor un número codificado para cada repuesto. El uso del número es más conveniente, pues evita confusiones por lo diferente de la terminología que usa cada persona. En este número puede estar incluido algún dígito que sirva para describir alguna característica del repuesto. Por ejemplo en una clasificación de 5 dígitos, podemos hacer:

Primer dígito: Clasificación mayor

Segundo y tercer dígito: Clasificación menor

Cuarto y quinto dígito: Número del repuesto

Catálogo de Repuestos.- La tarjeta Cardex de cada repuesto va a un archivador ue podemos llamar catálogo de repuestos. La clasificación de los repuestos se hace de una manera que sea fácil encontrar la tarjeta de un repuesto de un equipo cualquiera. Para cada equipo en particular, se le puede dar un grupo de números. Por ejemplo, para un compresor, podemos darle desde el 4.500 al 5.000, y así para cada equipo de la fábrica.

Con cinco dígitos se pueden enlistar 99.999 items.

Además, de esto la tarjeta Cardex debe poseer información del siguiente tipo:

- 1.- Número de orden del repuesto
- 2.- Descripción del item.
- 3.- Número de identificación del fabricante
- 4.- Referencia con otras partes con las que puede ser intercambiadas
- 5.- Dibujos o esquemas
- 6.- Lugar donde se lo localiza
- 7.- Stock mínimo que debe existir.

La manera como son manejadas estas tarjetas y el catálogo debe de estar de acuerdo con el volumen de repuestos que se tiene, del tamaño de la planta, etc. Esta manera es casi siempre recomendada por el departamento de contabilidad.

En cuanto a la manera como se debe tener el almacenamiento, este debe llenar las siguientes características:

- Máxima utilización del espacio
- Accesibilidad a todos los materiales

- Materiales en orden
- Protección y seguridad
- Facilidad de carga y descarga de los materiales

La ordenación de los repuestos y materiales dentro del almacén, debe hacerse siguiendo las reglas existentes para el manejo de materiales. Deben hacerse estantes apropiados para cada tipo de material, y además si se guardan sustancias peligrosas o inflamables, se deben seguir las reglas al respecto que dicta la seguridad industrial.

o o o o



4-2) CLASIFICACION DE LAS HERRAMIENTAS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE SU VIDA UTIL

Hemos clasificado antes en el numeral 4-1, las herramientas por su uso en básicas específicas. Las clasificaremos ahora según su tiempo de vida útil. Una clasificación común es dividirla en dos grandes grupos: herramientas transitorias y no transitorias.

Transitorias son aquellas que tienen un período de vida definido generalmente no muy largo. Existen tres categorías de herramientas transitorias y son:

- 1.- CONSUMIBLES.- Son aquellas que se consumen rápidamente y que son reemplazadas continuamente y no puede evitarse su desgaste. Estas son: brocas, machuelos, tarrajas, troqueles, etc.
- 2.- SEMI CONSUMIBLES.- Son aquellas que su período de vida útil es más largo y que puede prolongarse por medio de un manejo cuidadoso, estas son: llaves, martillos, pinzas, alicates, destornilladores, etc., es obvio que una llave durará más si es usada para la medida de tuerca que fue diseñada. Si se usa para otras medidas se desgastará, perderá su forma y disminuirá su período de vida útil. Esta es la característica de las herramientas transitorias semi consumibles.
- 3.- NO CONSUMIBLES.- Son aquellas herramientas que pueden aumentarse su vida útil, reemplazando ciertas piezas que son las que sufren el desgaste. Pueden ser manómetros, instrumentos, roscadores, mandriles, etc.

La otra clasificación es la de las herramientas no transitorias. Estas son usualmente mucho más caras, generalmente con

motor eléctrico, que tiene una vida prácticamente indefinida, si se le somete a un buen mantenimiento, pues lo único que se le desgasta son herramientas transitorias que se les acopla como en el caso de un taladro eléctrico, en que lo único que se desgasta es la broca.

□ □ □ □ □



BIBLIOTECA

4-3) PUNTOS BASICOS EN EL CONTROL DE LAS HERRAMIENTAS

El control de las herramientas es una parte importante en el buen funcionamiento de una planta. Si no existe un control adecuado habrá pérdida de tiempo y de dinero. Pérdidas de tiempo, porque los obreros al necesitar una herramienta, y no encontrarla en seguida, o tener que hacer colas, aumentan su tiempo improductivo. Pérdidas de dinero porque sin un control adecuado las herramientas pueden extraviarse o aún ser robadas.

Los puntos básicos en el control de las herramientas se pueden visualizar mejor por la figura N^o

Entonces para un buen control necesitamos que exista:

Un lugar o almacén donde guardar las herramientas, una persona encargada del almacén que controle las herramientas y un plan para la entrega de recepción de herramientas. Explicaremos a continuación cada punto indicado.

El lugar donde están las herramientas que puede ser también llamado bodega, almacén, etc., debe estar situado en un lugar conveniente de la fábrica, en una posición que no quede muy alejada del lugar o lugares donde se necesitan las herramientas. Según el tamaño de la planta, pueden existir varias bodegas de herramientas. El local debe reunir condiciones de seguridad y facilidad de entrega y recepción. En cuanto a las condiciones en que se debe tener las herramientas dentro de la bodega, la siguiente lista da algunos consejos fáciles de seguir.

- Local limpio
- Estantes seguros y fáciles de alcanzar
- Herramientas con vástagos en alojamientos apropiados
- Herramientas pequeñas en bandejas apropiadas
- Herramientas con filos cortantes en vainas de cuero o de plástico

- Fresas y ruedas de esmeril en clavijas horizontales o transversales.
- Instrumentos de medición en las cajas originales .
- Herramientas generales en tableros con las siluetas pintadas para mejor control.

En cuanto a la persona que tiene a su cargo la bodega de herramientas, tiene que ser alguien que conozca sobre el asunto y - ue tenga nociones de control de bodegas y del uso de tarjetas KARDEX. Es preferible que sea mecánico que conozca a fondo todos los - tipos y clases de herramientas a su cargo, su uso y aplicación y las técnicas apropiadas para su mantenimiento. Esta persona debe aconsejar el uso de las herramientas al obrero inexperto, sugerir la adquisición o reposición de herramientas. Además, debe estar enterado del plan de entrega y recepción de herramientas para poder ejecutarlo bien.

En lo que se refiere al plan a seguir para el control de - las herramientas podemos dar algunos puntos principales para el control eficiente.

- Identificación del obrero que solicita una herramienta. Esto se - puede hacer por diferentes métodos, siendo el más común el entregar al obrero un grupo de fichas con el número que se le ha asignado, de manera que cuando saca la herramienta quede en el sitio de esta la ficha del obrero. Cuando se necesita saber quien tiene una herramienta se consulta en una lista para saber quien la ha sacado.

Existen más métodos entre los que se debe escoger aquel - que llene mejor las necesidades de la planta.

- Inventario de herramientas.- La manera más conveniente de hacerlo es por medio de tarjetas. La descripción de las herramientas le - sirve como título a las tarjetas que además debe indicar la ubica-

UNA
PERSONA

UN
LUGAR

UN
PLAN

FIGURA N.º 39

ción de las herramientas, nombre de los proveedores, costo, fecha de ingreso. Esta tarjeta que se inicia con una cuenta física o inventario, se aumenta con las adquisiciones, se disminuye con pérdidas. Este control de inventarios se los lleva en el almacén de herramientas de manera que el encargado pueda ubicar la tarjeta inmediatamente. Otra ventaja que se obtiene por el uso de tarjetas es que se puede tener una idea del período de vida de las herramientas. Además permite ajustes en la contabilidad a mostrar los costos de reparación y el valor como chatarras que estas tengan.

- Otra práctica común es registrar en un formulario especial las herramientas rotas o averiadas. En este formulario se debe incluir: identificación del trabajador que usó las herramientas, identificación de la misma, ficha del préstamo, departamento que hace la devolución, explicación del daño y motivo del mismo, destino dado: reparación, recuperación, chatarra.
- Debe también preverse un pequeño equipo para mantenimiento y pequeñas reparaciones de las herramientas.

o o o o o o



BIBLIOTECA

4-4) PROLONGACION DE LA VIDA DE LAS HERRAMIENTAS

Se puede prolongar la vida de las herramientas por medio de diferentes técnicas que dan mayor resistencia al metal de que están constituidas. Esto permite un mejor trabajo con la herramienta y una mayor duración de la misma. Las siguientes técnicas pueden ser empleadas para lograr este objetivo.

RECTIFICADO A MANO CON PIEDRA.- Una manera de prolongar la vida de las herramientas es haciendo que los bordes o filos de trabajo duren más. El rectificado con piedra es uno de los medios de hacer que los bordes cortantes duren más. Esta técnica elimina las porciones microscópicas que quedan en los filos después de haberse afilado con herramienta. Un cuidadoso rectificado a mano no solamente disminuye la tendencia a romperse en pedacitos en los bordes de corte, sino que también elimina la acumulación que se forma en los bordes de las herramientas cuando ciertos metales se trabajan a máquina a altas velocidades. La operación de rectificado piedra puede hacerse con una piedra de afilar de carburo de silicio (carborundo) de estructura fina abrasiva. También se puede usar una piedra de diamante de 320-400 de estructura abrasiva.

ALTO GRADO DE ACABADO DE SUPERFICIE DE LAS HERRAMIENTAS DE ACERO RAPIDO.- Una herramienta reafilada mostrará, si se examina bajo el microscopio, una forma irregular de dientes de sierra. Cuando este filo irregular se usa para remover metal, da como resultado un flujo disperejo del metal y los esfuerzos de corte se concentran sobre los puntos máximos del borde mellado. Esto aumenta la proporción del desgaste y la lleva a un embotamiento prematuro. Para evitar esto se va a la herramienta un alto grado de acabado seguido de un ligero bruñido a mano. Con esto se aumenta la vida de las herramientas

de un 100 a un 300%. Para lograr esto se puede usar una rueda de esmeril ligada con goma laca y carburo de sílice, o una sustancia de resinoide.

Una considerable aumento de la duración de las herramientas puede lograrse, por lo tanto, sólo si se reúnen adecuadamente otras condiciones corelacionadas tales como mantener el equipo de esmerilar, la rueda de esmeril apropiada de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes de ruedas abrasivas.

CROMADO DE HERRAMIENTAS CORTANTES.- El cromado es otra forma de prolongar la vida de algunas herramientas, tales como machos de atarrajear, escariadores, brocas, matrices para corte, etc. El cromado se aplica a las herramientas cortantes no sólo para aumentar la dureza de los bordes sino también para reducir la fricción entre la herramienta y la pieza de trabajo y así aumentar la resistencia al desgaste. La superficie cromadas permiten un flujo de virutas más expedito en las operaciones de trabajo a máquina y reducen la fricción en las matrices de estampado y troquelado. El gorsor de un cromado perfecto se ha observado, es medio milésimo de pulgada (0,00127 cm) La parte de la herramienta que vaya a cromarse deberá primero limpiarse cuidadosamente y quitarle cualquier rebaba mediante un alto grado de acabado de la superficie como se describió anteriormente. La técnica del cromado está explicada en libros técnicos referentes a esto.

CARBURACION.- En el procedimiento de carburación del templado superficial de herramientas, el carbono se introduce en las herramientas de acero sólido mediante el calentamiento de estas a una temperatura adecuada en contacto con un material carbonoso. Este material puede estar en forma líquida, sólida o gaseosa y debe ser rica en carbono.

Para crear la dureza deseada sobre las herramientas se debe

seguir recomendaciones de los fabricantes de acero referente a temperaturas, calidad del acero y medio de templado.

El procedimiento requiere de varias horas ya que debe darse suficiente tiempo a la superficie de metal para que absorba suficiente carbono y se convierta al acero netamente carbónico.

CARBURACION CON MATERIALES SOLIDOS.- En esta forma que es la más simple de templar superficialmente las piezas de trabajo se empaican en materiales carbonosos sólidos, - como carbón vegetal o de huesos. Estos métodos están siendo reemplazados por métodos que usan gases y baños perfeccionados de sustancias derretidas para el medio carbonoso.

CARBURACION CON GAS.- Aquí las piezas se calientan en una retorta y se exponen a los gases de sustancias carbonosas tales como monóxido de carbono o aún gases de combustible comunes.

CARBURACION LIQUIDA.- En este método, los materiales están en forma líquida. Los baños son composiciones perfeccionadas de cianuro de calcio o de sodio. Estos forman una superficie externa endurecida de una profundidad poco usual, con un alto contenido de carbono y bajo contenido de nitrógeno. Como la profundidad del recubrimiento y el grado de aumento o disminución del carbono dependen del tiempo y la temperatura, todos los fabricantes de acero dan un énfasis especial al control exacto de estos factores. - El procedimiento puede aplicarse tanto al acero, al carbono ordinario como al acero de aleaciones, siempre que se encuentren dentro de la clasificación llamada de bajo carbono.

NITRURACION EN GAS.- En este procedimiento, las herramientas de acero trabajadas a máquina y tratadas con calor se so-

meten a la acción del gas amoníaco sin necesidad de ningún tratamiento adicional. Esto puede realizarse con un mínimo de deformación de las herramientas delgadas y débiles, debido a la baja temperatura a la que son sometidas superficialmente y porque no necesitan ningún templado. La absorción del nitrógeno en la superficie de las herramientas produce un endurecimiento mayor que de cualquiera de los métodos de carburación ya descritos, pero la superficie endurecida no tiene mayor posibilidad. Se le puede añadir también carbono mediante un gas hidrocarburo o óxido de carbono. La fuente de carbono es generalmente gas amoníaco anhidro.

NITRURACION LIQUIDA DE HERRAMIENTAS CORTANTES DE ACERO RAPIDO.- Otra técnica de templado superficial es la nitruración líquida. Esta utiliza el procedimiento de baños de sal y es la preferida en los talleres mecánicos que quieren reducir el rozamiento entre la herramienta de acero rápido y las virutas, para evitar que el metal se agarre a la herramienta, o impedir su astillamiento. Los aditivos hechos a los baños de sal, hacen posible recubrir las herramientas de corte con un revestimiento duro, siempre que se sigan las instrucciones. Se usan en los baños de cianuro de sodio o potasio. Es importante mantener la temperatura exacta de los baños de sales. La profundidad de dureza de la capa nitrurada es de 0,001 a 0,002 de pulgada (0,00254 a .. 0,00508 cm.) aplicándose el procedimiento después del tratamiento térmico completo y del acabado esmerilado de la herramienta.

CIANURADO.- Es otra forma de impartir dureza a los aceros de bajo carbono en la fabricación de herramientas, punzones, matrices, etc. La dureza se aumenta en la superficie del metal por medio de la absorción de carbono y nitrógeno del baño salino. Le sigue un templado en agua o aceite. Los baños se componen de cianuro de sodio, cuyo resultado es un endurecimiento hasta de 0,0008 de pulgada (0,020222

cm) como el mantenimiento de la concentración correcta de cianuro en el baño es de gran importancia y todas las medidas de seguridad para el manejo y almacenamiento deben ser estrictamente observadas, lo mejor es seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante.

REVESTIDO DE HERRAMIENTAS CON METAL DURO.- Otra de las formas de prolongar la durabilidad de las herramientas, descubierta con el creciente desarrollo de las aleaciones del revestido con metal duro y las nuevas técnicas de su aplicación. La aplicación del revestido con metal duro no solamente incluyen a las herramientas cortantes y matrices sino también piezas para máquinas herramientas. La superficie dura así producidas, se sueldan al metal de base, mediante soldaduras de óxiacetileno, de arco eléctrico, o con la técnica perfeccionada de soldadura del rociado. Una superficie así producida tiene excelentes características de resistencia al choque y puede ser acabada fácilmente mediante un esmerilado. Esta superficie no se pelan, rayan o agrietan, y además, el revestimiento puede quitarse fácilmente si es necesario ajustar las herramientas. Esto, naturalmente elimina a menudo los reemplazos con nuevas herramientas.

RECUBRIMIENTO METALICO DE FLAMA DE CARBURO.- Este es un método para depositar metales en polvo en forma de una capa delgada sobre superficies metálicas sin que se diluyan sobre el metal de base. Aunque esta técnica por lo general, no se utiliza en herramientas para cortar metales, ha dado excelentes resultados cuando se usan sobre calibradores y herramientas para cortar materiales tales como maderas, papel, algodón, hule y plásticos. Las hojas de las sierras circulares con dientes a los que se ha dado el revestimiento metálico de flama tienen una duración mucho mayor que las sierras de acero.

5-1 PRINCIPIOS DE LA LUBRICACION

La principal tarea de la lubricación es la de evitar el rozamiento, el desgaste, el calentamiento entre dos partes que se mueven una con respecto a la otra. Estas partes pueden ser por ejemplo, dos piezas de una maquinaria cualquiera, un eje y un cojinete. Por lo tanto el lubricante es la sustancia que se coloca entre las dos superficies y es el que recibe el castigo y evita la destrucción de las piezas.

Los problemas de la lubricación y sus fórmulas específicas son muy largos para tratarlos aquí. Existen libros enteros sobre este problema, pero aquí trataremos solamente sobre las tres clases principales de lubricación.

LUBRICACION HIDRODINAMICA.- Esta existe cuando entre las dos piezas en las que se produce el rozamiento, existe una película de lubricante relativamente gruesa, que impide el contacto entre metal y metal. Esto puede ser explicado por las leyes de la viscosidad. La lubricación hidrodinámica requiere de un abastecimiento abundante de lubricante. La presión de la película la crea la propia superficie móvil, formando una zona en forma de cuña, que con una velocidad suficiente crea la presión necesaria para mantener separadas las dos superficies. Los cojinetes con lubricación hidrodinámica, tienen una vida casi infinita, con un coeficiente de rozamiento muy bajo y es el ideal a alcanzar en lubricación. Se la llama también lubricación de película gruesa, completa o perfecta.

LUBRICACION LIMITE.- Cuando en la lubricación hidrodinámica falla el abastecimiento de lubricante, aumenta la carga del cojinete o disminuye la velocidad, entonces disminuye el ancho de la película de lubricante, y es tan fina que obtiene un contacto par-

cial metal a metal. Entonces se dice que se opera con una lubricación límite, delgada, imperfecta o parcial. Los cojinetes lubricados hidrodinámicamente funcionan con lubricación límite cuando recién comienza la operación porque la velocidad aún es muy baja o aún no hay suficiente lubricante.

LUBRICACION HIDROSTATICA.- Se obtiene introduciendo el lubricante, que es a veces agua o aire, con una presión suficientemente alta como para separar las superficies con una buena capa de lubricante.

Debido a que el estudio de la lubricación es muy amplio, no podemos describirla aquí con detalle. Para mayores detalles puede el lector consultar la obra "Theory and Practice of lubrication for Engineers" por Dudley s. Fuller John Willey and Sons New York - 1956.

La lubricación en sí mismo, que consiste en hacer llegar al lubricante a las partes que se lo necesita. Hay muchas maneras de hacerlo, pero citaremos las siguientes:

- a) Por medio de una aceitera común. En este tipo todo depende del obrero que realiza la función. Si está bien entrenado no habrá problemas.
- b) Botella aceitera. Este tipo de lubricación es automático, controlada con la rotación del eje. Se debe tener cuidado en mantenerlas llenas y de usar el lubricante correcto.
- c) Aceitera con alimentación de mecha. Se envía el aceite valiéndose del principio del sifón, por medio de una mecha. El flujo se regula, variando el número de hilos de la mecha. Se debe comprobar constantemente el estado de la mecha y el nivel del lubricante.
- d) Lubricación por goteo. Se usa una copa gotera para regular el flujo de aceite, según las necesidades.

- e) Anillos o rines de lubricación. Se usan principalmente en motores de explosión, ejes, árboles, cojinetes.
- f) Lubricación por salpicado. Una pieza golpea o arrastra el aceite de un depósito, mojando el resto de piezas. Se debe tener cuidado en mantener el nivel de aceite.
- g) Sistemas centralizados de lubricación. Se suministra una cantidad regulada de lubricante desde un depósito central. Esto puede ser continuamente o de una descarga. Es manual o con fuerza motriz propia, en cuyo caso este es completamente automática.

Puede existir también un sistema circulatorio de aceite en que se vuelve a usar el mismo aceite hasta que este presente alguna variación de su composición química.

□ □ □ □ □



BIBLIOTECA

5-2) CARACTERISTICAS DE LOS LUBRICANTES

Los lubricantes deben poseer para cada trabajo específico, ciertas características especiales sin las cuales no pueden cumplir su misión. Es entonces importante conocer bien estas características para poder especificar el tipo de aceite o grasa que necesitamos.

Las características principales de un lubricante son:

VISCOSIDAD.- Es la medida de la velocidad de flujo de un aceite en segundos, a través de orificios determinados. La viscosidad cambia con la temperatura, y la razón de este cambio está dada por el llamado índice de viscosidad. Mientras más alto sea este índice, menos cambio sufrirá el aceite con el cambio de temperatura en su fluidez. Este índice no constituye indicación alguna del aceite. Es indicador solamente del comportamiento de la fluidez del aceite a la temperatura de operación. Las medidas más usuales de viscosidad son: SSU (Segundos Saybolt Universal), Grados SAE y Centistokes.

PUNTO DE FLASH Y DE INFLAMACION.- Denominados punto de flash a la temperatura en que los vapores desprendidos del aceite, cuando este se calienta nuevamente se queman momentáneamente.

El punto de inflamación o punto de fuego está situado a una temperatura un poco más alta que la de flash. Es a la temperatura en que los gases se queman y se siguen quemando el aceite regularmente.

El punto de flash de un aceite lubricante bien refinado es de 300°F. Mientras mayor es la viscosidad, más altos son los puntos de flash e inflamación.

Estas características no son útiles para determinar que aceite podemos usar a altas temperaturas. Por lo tanto se debe tener en cuenta esta propiedad al usar un aceite cuando se trabaja a altas temperaturas.

PUNTO DE FLUIDEZ CRITICA.- Es la temperatura más baja en que el aceite puede fluír. Existen aditivos que permiten bajar este punto. Esto es especialmente útil cuando se trabaja con equipos de refrigeración, en regiones frías, etc.

RESIDUOS DE CARBON.- Es una indicación de la habilidad del lubricante para mantener limpia una máquina así como también de que si la máquina está funcionando correctamente. Hay que regular por ejemplo, en una máquina de combustión interna que el aire que entra sea limpio y la temperatura del agua para evitar condensaciones que contribuyen gradualmente a la formación de residuos de carbón. Mientras menor sea el contenido del carbón, será indicación de una máquina más limpia. Con los modernos tipos de aceites con detergentes y dispersantes se asegura más limpieza de una máquina que con el contenido de carbón del aceite base.

EMULSIFICACION Y DEMULSIBILIDAD.- El grado de emulsificación indica la tendencia que este tiene para mezclarse íntimamente con el agua y formar una emulsión más o menos estable. Demulsibilidad es la rapidez con que esta emulsión vuelve a separarse.

La formación de esta emulsión es un preludio para la oxidación del aceite que será mucho más rápida si existen otros agentes oxidantes como aire y altas temperaturas. Esto sucede en equipos como turbinas de vapor, maquinarias hidráulicas, barcos a vapor, etc.

Existen aditivos que evitan la formación de estas emulsio-

nes. El ingeniero de mantenimiento puede asegurar un mejor rendimiento de los aceites, verificando que la temperatura del sistema no sea muy alta, que el sistema de recuperación del aceite sea efectivo en separar el agua del aceite (una centrífuga, por ejemplo) y que el flujo de agua en los intercambiadores de calor sea suficiente para retornar el aceite a una temperatura adecuada.

NUMERO DE NEUTRALIZACION.- Se relaciona con la acidez del aceite. -

Es la cantidad de miligramos de hidróxido de potasio, necesarios para neutralizar un gramo de aceite. En un aceite bien refinado, esto es muy bajo, menos de 0,10. Un porcentaje muy alto es una indicación de oxidación del aceite. Se debe hacer pruebas de laboratorio regulares del aceite y trazar un gráfico del aumento de acidez por horas de trabajo. Si se ve algo anormal, se debe consultar a los técnicos de lubricación. Puede ser más económico vaciar el sistema, limpiarlo, revisarlo, e instalar una nueva carga de aceite. Se debe investigar las causas para este aumento de acidez que pueden ser: temperaturas muy altas, corrientes eléctricas, efectividad del sistema de reacondicionamiento del aceite, agua y excesos de aire en el aceite, etc.

En cuanto a las características de las grasas lubricantes - estas son las siguientes:

BASE.- Es el tipo de jabón que ha sido usado en su fabricación. El comportamiento de una grasa depende mucho de su base. Esta puede ser calcio, sodio, mixta, aluminio, bario, litio. Más adelante se dará una tabla de estas propiedades.

PENETRACION.- Se refiere a la consistencia de la grasa. Es importante, debido a que la grasa debe llegar a las partes que deben ser lubricadas. Una grasa muy pesada o inerte puede quedar de

tenida en codos o ser repelidas en una de las partes en movimiento, dejando una película demasiado pequeña para la lubricación. Además, puede sellar las tuberías para obstruir el flujo y producir daños de consideración.

PUNTO DE FLUIDEZ.- Es a la temperatura en que la grasa se vuelve más suave y luego líquida. Depende mucho de la constitución de la grasa, siendo las mejores las de base de sodio y litio.

o o o o o o



BIBLIOTECA

5-3 TIPOS DE ACEITE LUBRICANTE

Cada compañía que se dedica a la fabricación de aceite - lubricante tiene en esta línea, por lo menos 300 tipos de aceites lubricantes y automotrices. Estos tipos podemos reunirlos en on ce clasificaciones principales, según su uso y características.

Estas clasificaciones son:

- Aceite para engranajes
- Aceite para ejes
- Aceite para cojinetes en general
- Aceite para motores eléctricos
- Aceites para cilindros de vapor
- Aceites para turbinas
- Aceites para compresores de aire
- Aceites para compresores de refrigeración
- Aceites hidráulicos
- Aceites para corte
- Aceites automotrices.

Muchos de estos aceites pueden servir para diferentes usos, lo que significa un considerable ahorro en los inventarios. Las compañías productoras tienden a encontrar aceites con usos - múltiples.

5-4) GUIA BASICA DE LUBRICANTES

En esta sección, daremos un cuadro que servirá como guía para el uso de los lubricantes. Consiste en un cuadro en que están enlistados la necesidad de los lubricantes en SSU a 100°F, grados SAE y número AGMA. Al costado derecho, en la columna marcada Usos del Lubricante, están dibujados unos cuadros que contienen letras mayúsculas; estas corresponden a una clasificación hecha de la maquinaria que se da a continuación. Por ejemplo, - la letra E, pertenece a "Bombas tipo engranaje y pistón 120°F". Para este tipo de trabajo vemos que el cuadro corresponde una viscosidad de 400 a 700 SSU, SAE 30 y N° AGMA 2-3. De esta manera, se encuentra el aceite que conviene para cada tipo de trabajo, y también el uso que tienen los diferentes tipos de lubricantes.

USOS DEL LUBRICANTE

A	B
Arboles-alta velocidad	Arboles, velocidad media
C	D
Baja velocidad	Motores eléctricos y generadores 0F-120°F. Transmisiones por correa articulada de alta velocidad 0F - 120°F
E	F
Bombas tipo engranaje y pistón 120°F	Instrumentos generadores turbinas directamente conectadas (sistema circulante) Sistemas circulantes de máquinas herramientas Bombas hidrantes tipo paleta, con válvula control flujo Bomba hidrante tipo engranaje y piston 0F-70°F

G

Transmisión por correa articulada alta velocidad 120-180°F

I

Sistema circulante motor de vapor.

Cadenas, rodillos silenciosos y lubricantes general de tolva - automáticas

K

Bombas hidrantes tipo paleta, sin válvula control flujo 0F-180°F

M

Turbina vapor, cojinetes engrasados por anillos con sistema circulante.

Turbina vapor, cojinetes engrasados por anillos, sistema enfriamiento.

Bomba hidráulica tipo engranajes y pistón 7-F120°F

Motores eléctricos y generadores.

O

Acoplamiento flexible de los tipos de cadena de rodillos silenciosa y mordaza 120°F

H

Acoplamiento flexible silencioso de cadena de rodillos, tipo mordazas entre 0F-70°F

J

Lubricación externa de motores y bombas de vapor

Máquinas herramientas, sistemas autolubricados, general de guías, correderas, rodaduras, etc.

Arboles cojinetes, lubricados, por aceite

Transmisiones por correa articulada-velocidad media 0F-180°F

L

Turbinas vapor, cojinetes engrasados por anillos sin sistema de enfriamiento o circulantes. Transmisiones por correa articulada de baja velocidad 0F-180°F

N

Acoplamiento flexible de los tipos de cadena de rodillos, silenciosa y morzas 70°F-120°F

P

Acoplamiento flexible tipo engranes, chave-acoplada y paso de engrane 0F-70°F

Q

R

Condiciones de sumo calor

Acoplamiento flexible del tipo de engrane, chaveta de acoplamiento y pasador de enganche - 70°F hasta 180°F

□ □ □ □ □ □

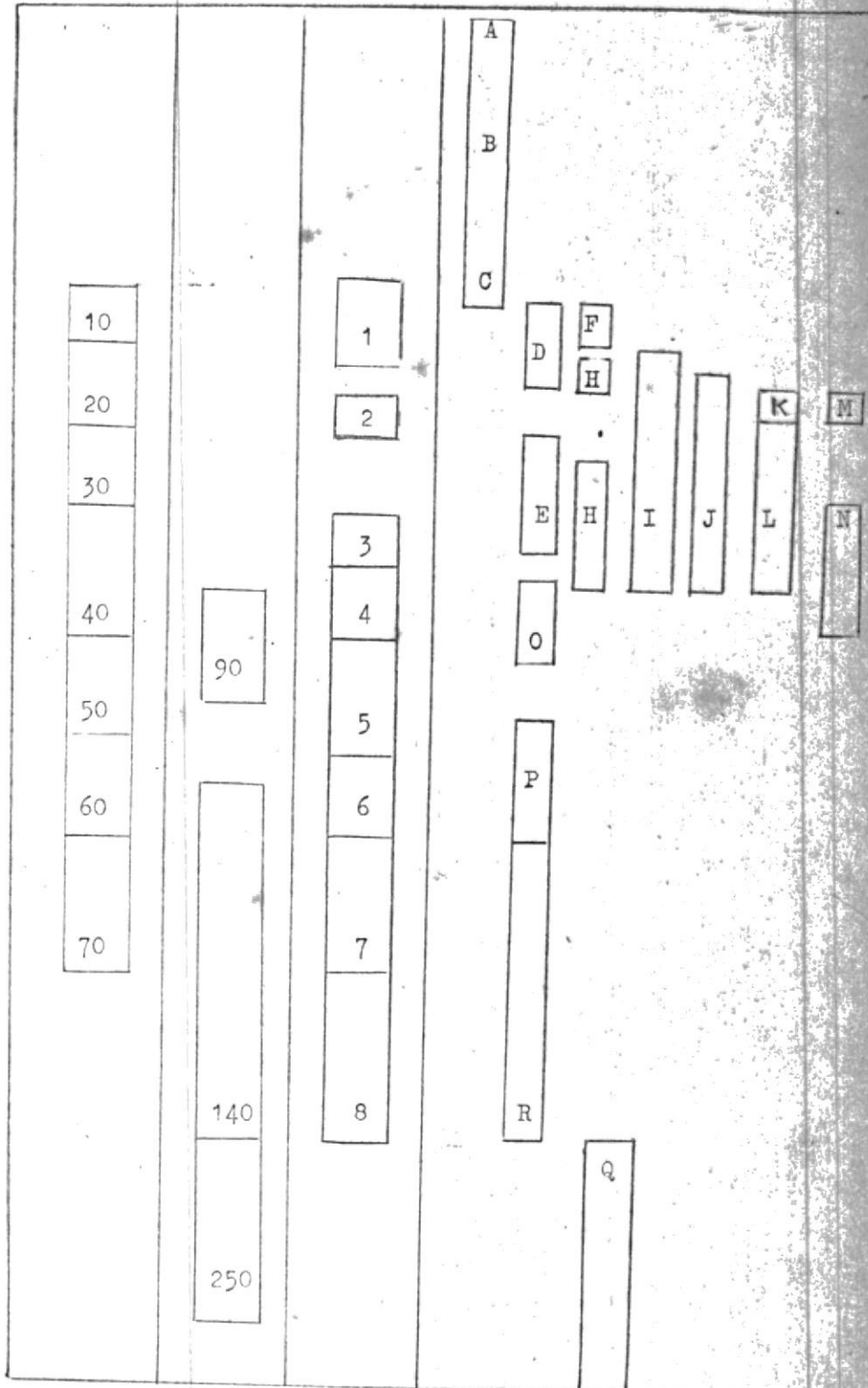


BIBLIOTECA

GUIA BASICA DE LUBRICANTES

Viscosidad en S.U. a 100°F	Grados SAE		AGMA	USOS DEL LUBRICANTE
	Compre	Trans-	Reducto	
	sores	misio-	res	
	Motor	Ejes	Engrana.	

1	Seg.	45
2		50
3		60
4		70
5		80
6		90
7		100
8		125
9		150
10		175
11		200
12		250
13		300
14		350
15		400
16		450
17		500
18		600
19		700
20		800
21		900
22		1.000
23		1.200
24		1.400
25		1.600
26		1.800
27		2.000
28		2.200
29		2.400
30		2.600
31		2.800
32		3.000
33		3.200
34		3.400
35		3.600
36		3.800
37		4.000
<hr/>		
38	SUV 210°F	
39		175
40		200
41		225
42		250
43		275
44		300
45		325
46		350



5-5) CLASES DE LUBRICANTES

Los lubricantes que han sido derivados del petróleo, pueden ser clasificados según el empleo que van a tener. Algunos tipos sólo sirven para un trabajo específico, mientras que hay otros que sus propiedades les permiten servir para diversos trabajos.

Para el ingeniero de mantenimiento la siguiente lista encierra las clasificaciones más útiles:

Aceites para circulación

Aceites de engranajes

Aceites de máquinas

Aceites para refrigeración

Aceites para máquinas rotativas

Aceites para cilindros de vapor

Aceite para cables

Grasas de base de calcio, sodio, aluminio, litio o bario

Lubricantes sólidos y sintéticos.

Pasamos a dar algunos de los usos y características de las diferentes clases de lubricantes.

ACEITES PARA CIRCULACION.- Son lubricantes de alta calidad. Tienen un gran rango de necesidades, varían entre 100 y 2.500 SSU a 100°F. En esta categoría se incluyen; Aceites para turbinas de vapor, aceites hidráulicos, aceites para máquinas de combustión interna para trabajo pesado, etc.

Estos aceites pueden ser de base parafínica o de acuerdo al servicio. Todos estos aceites contienen aditivas. Por ejemplo los aceites para turbina y máquinas hidráulicas contienen aditivos que retardan la oxidación, evitan la formación de es-

puma. Los aceites para máquinas de combustión interna de trabajo pesado están especificadas para trabajar a altas temperaturas y cargas. Son altamente resistentes a la oxidación, y contienen detergentes y dispersantes.

ACEITES DE ENGRANAJES.- Son aceites minerales de un gran rango de viscosidad, o aceites compuestos que contienen aditivos que sirven para soportar extremas presiones y mejorar la aleidad para soportar la carga. Los aceites minerales varían entre S A E 80 a 250. Se les usa para toda clase de cajas de engranaje cerradas donde exista un proceso de circulación. La selección de viscosidad en estos aceites depende de la temperatura a que estos trabajan.

ACEITES PARA MAQUINAS.- Sirven para la lubricación de partes externas operando en compresas, bombas, motores, etc. Están siendo reemplazadas por los aceites circulantes, debido a su poca resistencia a la oxidación. Tampoco se recomienda el uso de aceite cuando forma residuos que pueden impedir el buen funcionamiento.

ACEITES PARA REFRIGERACION.- Cuando se trabaja en refrigeración, esto significa temperaturas bajas para aceite en las partes en que está expuesta a ellas. Este tipo de aceite es generalmente de baja a media viscosidad (80 a 550 SSU) Pueden ser de base parafínica o nafténico. Un punto de fluidez crítica bajo, era uno de los requisitos fundamentales para este tipo de aceite. Ultimamente se está usando el llamado punto de flor, cuando se trabaja con Freon u otros tipos similares de refrigerantes. Esta prueba sirve para determinar la presencia de cera congelable. El punto de floc debe ser por lo menos de -60°F

ACEITES PARA MAQUINAS ROTATIVAS.- Son aceites minerales de ligera a media viscosidad. Son empleados en máquinas donde existen altas velocidades de rotación. La viscosidad requerida es entre 60 a 150 SSU a 100°F. Cuando las máquinas son pesadas se usa un aceite más pesado (180 a 3.550 SSU) Estos aceites están entre los más cuidadosamente refinados. Deben tener mucha resistencia a la oxidación y a la formación de residuos porque en un rotar a alta velocidad, esto tiene mucho efecto en el consumo de energía.

ACEITE PARA CILINDROS.- Son aceites minerales que contienen una proporción de aceites-grasas animales. Estos aceites animales están siendo reemplazados ahora por productos sintéticos. La proporción y la clase de éstos, varía según la naturaleza del vapor, la utilización de la salida y si requiere o no una rápida atomización. Los aceites para cilindros de vapor son impactados en la línea de vapor donde se atomizan. Son agrupados según su viscosidad en:

Livianas - 100 a 120 SSU a 210°F

Medios - 120 a 150 SSU a 210°F

Pesados - 150 y más SSU a 210°F

El ingeniero de mantenimiento puede darse cuenta que un cilindro está bien lubricado si no hay ruidos dentro del cilindro, si el condensado tiene una apariencia lechosa y si hay una pequeña capa de aceite en la biela.

LUBRICANTES PARA CABLES.- Antiguamente se creía que el mejor lubricante para cables era un lubricante de residuo tipo pesado semejante al aceite para engranajes. Ahora se usan lubricantes livianos, aplicados con atomizador para asegurar una mejor penetración. Existe un fluido lubricante espe-

resiste hasta 750°F deteriorándose a mayores temperaturas.

Es importante también para una buena lubricación escoger un buen tipo de cojinete. Este puede ser tan sencillo como un agujero en una pieza de fundición hasta cojinetes tan complicados como los enfriados por agua y engradados con anillos - que se emplean en la maquinaria pesada. Pero por más sencillo - que sea, siempre requerirá de un proyecto detallado. Deberá tomarse en cuenta la forma, los materiales a usarse, el trabajo que va a realizarse, las condiciones con las que funcionará. Vamos a dar a continuación una serie de condiciones que se deben tomar en cuenta al diseñar u ordenar un cojinete para un uso específico. Esto se encuentra en el libro "Machine Design" Joseph E. - Shigley, Mac-Graw Hill Book Company Inc. New York.

- a) Número de unidades a fabricar u ordenar
- b) La carga y sus características, es decir, si es continua o alternativa y si se puede predecir o no
- c) La velocidad y sus características
- d) Información sobre el eje y su alojamiento
- e) El método de lubricación, es decir si es por presión, salpicado, anillo o mecha; el lubricante utilizado y la temperatura de funcionamiento e información relativa a los cambios que se pueden hacer en cualquiera de estos.

□ □ □ □ □ □



BIBLIOTECA

CARACTERISTICA DE LOS LUBRICANTES SINTETICOS

<u>Nombre</u>	<u>Flujo a bajas temperaturas</u>	<u>Susceptibilidad de inhibición</u>	<u>Resistencia a la oxidación</u>	<u>Solubilidad en agua</u>	<u>Estabilidad térmica</u>	<u>Facilidad de lubricación</u>	<u>Indice de viscosidad</u>
HIDROCARBONOS	Regular hasta 0°F, algunos hasta -40°F	Mala a buena de acuerdo al tipo	Mala a buena de acuerdo al tipo	Inmisible	Pobre a buena de acuerdo al tipo	Comparable con los similares de petróleo	Un poco mejor que los de base parafínica.
OXIDOS POLIALCALINOS Y POLIESTERES	Buena hasta -40°F	Regular	Bajo	La mayoría de soluble a insoluble	Util para trabajos a alta temperatura	Buena donde se requiere alta temperatura	Hasta 150
ESTERES	Buena hasta -70°F	Buena	Regular	La mayoría inmisible	Tiene alto punto de flash		Hasta 150
SILICONES	Buena hasta -70°F	Mala	Buena hasta 390°F, más arriba se oxida rápidamente	Inmisible	Buena	Más efectiva cuando la superficie es no ferrosa. Aditivos lo mejoran	Alta
FLUORCARBONOS	Regular		Excelente	Inmisible	Excelente pero la volatilidad puede ser alta	No se sabe bien	Bajo 100

CARACTERISTICAS DE LAS GRASAS LUBRICANTES

	<u>Grasas Especializadas</u>			<u>Grasas Multipurpose</u>		
	Calcio Suave	Sodio Fibrosa	Base Mixta	Aluminio Suave	Barium Suave a fibrosa	Litio Suave
Especificaciones tipo de jabón Textura						
Punto de Goteo ASTM	190°F	325°F +		185°F	350F	350°F
Cualidades de servicio: temperatura máxima de servicio continuo	160°F	250°F		180°F	275°F	275°F
Resistencia al agua	Buena	Regular		Buena	Buena	Buena
Resistencia al rompimiento y suavización por el trabajo	Regular a Buena	Regular a excelente		Mala a regular	Mala a regular	Buena a excelente
Comportamiento - después de estar a 250°F y ser enfriada	Se separa	No hay cambio		Se liqui- difica	No hay cambio	No hay cambio
Usos principales	Trabajo pe- sado uso - general en las Indus.	Antifricción superficies planas para temperaturas moderadamente altas	Cojinetes lubricados por vida. Lubrica- ción espe- cializada	Para chasis cojinetes oscilantes cuando se necesita in- solubilidad	Servicio múltiple para todos los co- jinetes para lu- bricación de auto- móviles en gene- ral.	Servicio múlti- ple. Lubrica- ción aeroplanos

5-6 LUBRICANTES Y CLAVES DE COLORES

En una planta industrial, cualquiera que sea su tipo, se usan algunos tipos de aceites y grasa. Se ha encontrado conveniente dar una clave de colores a los distintos lubricantes. Las ventajas que se obtienen con este procedimiento, son los siguientes:

- Una identificación más rápida de los lubricantes.
- Disminución de los errores, debido a que el recipiente del lubricante tiene el mismo color que el lugar donde debe ser colocado.
- En caso de obreros analfabetos, que es muy frecuente en el país, es la única manera que pueden identificar el lubricante.

Los colores que se asigna a los lubricantes, no tiene ninguna regla fija. Varían según las necesidades de cada planta. Lo que se debe evitar es que los colores no sean lo suficientemente parecidos como para que se confundan entre ellos. Daremos a continuación un ejemplo sobre el uso de los colores en los lubricantes que puede servir como un modelo:

ACEITES

COLOR DE IDENTIFICACION

Para uso general	Carmelita
Husillos para máquinas	Amarillo o verde
Engranajes	Morado
Sistema hidráulico	Amarillo
Usos especiales	Rojo

GRASAS

Uso general	Azul claro
Cojinetes antifricción	Anaranjado
Usos especiales	Rosado

5-7) DEBERES DEL INGENIERO DE MANTENIMIENTO CON RESPECTO A LA LUBRICACION

Siendo de vital importancia para el buen funcionamiento de un equipo que este reciba una lubricación adecuada, el ingeniero de mantenimiento no debe descuidar esta parte. Damos a continuación una lista de los deberes y obligaciones del ingeniero para lograr una correcta lubricación de los equipos.

- Usar los lubricantes correctos para cada caso, y el mínimo posible de tipos para toda la planta.
- Aplicar los lubricantes correctamente
- Aplicar la cantidad correcta de lubricante.
- Aplicar los lubricantes en el intervalo correcto de tiempo.
- Hacer una lista de los anteriores puntos para cada máquina, colocarlo en un punto visible y ver que sean seguidos fielmente.
- Enseñar y entrenar al personal de lubricación.
- Instalar y usar los aparatos de lubricación correctamente
- Suministrar los lubricantes en recipientes limpios y claramente identificables.
- Practicar el mantenimiento preventivo
- Cooperar con los demás departamentos en los problemas de lubricación.
- Llevar un registro sobre el consumo de lubricantes
- Eliminar todos los peligros de accidente debidos a la lubricación
- Estar enterado de los nuevos avances en la técnica en cuanto a lubricantes y su uso.
- Minimizar el costo de lubricación.

Si siguiendo estas simples indicaciones, el ingeniero está en capacidad de garantizar un buen programa de lubricación, asegurando así un buen funcionamiento sin fallas, debido al mal uso de los lubricantes, o a la falta de ellos.

A P E N D I C E

Para dar un ejemplo práctico en esta tesis, sobre lo que se refiere a confiabilidad, especialmente, se han obtenido los siguientes datos, por cortesía de la Empresa "La Internacional" S.A.

En la Sección Tejeduría existen 100 telares marca RÜth, - que son movidos por un motor que es de las mismas características - para todos los telares. Las características de este motor son:

Marca: Brown Boverly	Tipo de Inducción
H.P. = 1,25	Clase = MW 126a
Fases = 3	Ciclos = 60
R.P.M. = 1.130	Voltaje = 208
Amps. = 4	

Se han llevado registros de daños, reparaciones e interrupciones desde el 2 de septiembre de 1968. Se asume que en esta fecha los motores se hallaban todos en perfecto estado de funcionamiento, y dentro de su período de vida útil. Esto es, habían salido del período de fallas iniciales, y todavía no llegaban al período de fallas por desgaste.

Estos motores trabajan 134 horas semanales, en tres turnos diarios. Se descansa los domingos, aunque cuando hay algún apuro, - se trabaja toda la semana.

Se han recopilado todos estos datos el día 25 de julio de 1969. Esto quiere decir que desde el 2 de septiembre de 1968 se han trabajado 6.298 horas que para facilitar el cálculo se han aproximado a 6.300 horas.

Las siguientes son las fechas en que se produjo una interrupción en algún motor y el número de horas que llevaba trabajando, cuando se produjo la interrupción:

<u>FECHA</u>	<u>HORAS</u>
9 - 12 - 68	1.876 /
4 - 1 - 69	2.412 /
18 - 1 - 69	2.680
25 - 1 - 69	2.814 /
1 - 2 - 69	2.948 - 20
7 - 2 - 69	3.052
22 - 2 - 69	30 - 3.350
27 - 2 - 69	3.446 /
2 - 3 - 69	3.542 /
10 - 3 - 69	3.676 /
16 - 3 - 69	3.810
21 - 3 - 69	3.944 - 20
29 - 3 - 69	4.078
12 - 4 - 69	4.288 /
22 - 4 - 69	4.370
3 - 5 - 69	20 - 4.690 - 90
19 - 5 - 69	4.958 /
12 - 6 - 69	5.456 - 30
12 - 6 - 69	5.456
25 - 6 - 69	5.700
30 - 6 - 69	5.752
17 - 7 - 69	6.102
22 - 7 - 69	6.218 - 18 21

Encontramos los siguientes totales:

Total de Fallas = 23

Total de horas trabajadas por los motores que fallaron =
93.648

Con estos datos, estamos en capacidad de encontrar la vida media de todos los motores que han entrado en la prueba. Aplica-

618

mos el método descrito en la sección 1-3. Hacemos esto porque sería muy largo esperar que los motores fallen todos, para poder encontrar el término medio real, pero podemos encontrar una aproximación bastante buena con este método. Usamos pues, la fórmula deducida, que es:

$$m = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_f + (n - f) t_n}{f}$$

en que:

t = tiempo de falla de un motor

f = número de fallas

n = número total de motores en la prueba

(n-f) = número de motores que no han fallado.

Los motores que no han fallado hasta el final de la prueba han funcionado un total de 6.300 horas. Reemplazando estos valores, nos queda:

$$m = \frac{93.648 + (100 - 23) 6.300}{23}$$

$$m = \frac{93.648 + 485.100}{23}$$

$$m = \frac{578.748}{23} = 25.162 \text{ horas}$$

Podemos decir entonces que el tiempo medio entre fallas de los motores que intervienen en la prueba es de 25.162 horas.

Como habíamos visto anteriormente, de este valor podemos sacar la razón de falla de estos motores, que es el valor inverso de r, el tiempo medio entre fallas, o sea:

$$= \frac{1}{m} = \frac{1}{25.162} = \underline{0,000039}$$

Una vez encontrado este dato, podemos calcular la confiabilidad de los motores con la fórmula $R = e$ para un tiempo cual-

quiera que se encuentre dentro del período de vida útil de los motores.

Si calculamos la confiabilidad para diversos tiempos de funcionamiento, veremos como varía la confiabilidad de un motor - conforme avanza el tiempo de operación.

Haciendo los cálculos, tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Para 2.000 horas} \\ R = e &= e^{-0,000039 \cdot 2000} = e^{-0,078} = 0,925 \end{aligned}$$

Para 6.000 horas:

$$R = e = e^{-0,000039 \cdot 6000} = e^{-0,234} = 0,792$$

Para 10.000 horas:

$$R = e = e^{-0,000039 \cdot 10000} = e^{-0,39} = 0,678$$

Para 20.000 horas:

$$R = e = e^{-0,000039 \cdot 20000} = e^{-0,78} = 0,46$$

Para 25.162 horas:

$$R = e = e^{-0,000039 \cdot 25162} = e^{-0,981} = 0,368$$

Trazamos una curva con estos valores y nos queda de la siguiente forma: (figura Nº)

En la sección 1-2 habíamos visto la curva de la figura Nº 5, o sea la curva estandarizada de la confiabilidad que es de la misma forma que la encontrada aquí.

Con esta curva podemos encontrar el período en el cual se debe hacer el mantenimiento y las revisiones, para que la confiabilidad no baje de un valor de 0,80, entonces en la curva estandarizada de la confiabilidad que hemos encontrado, vemos que este valor se encuentra más o menos a 6.000 horas. Por lo tanto, si en este tiem-

po, revisamos el motor, cambiamos sus partes desgastadas y le hacemos un mantenimiento general, la confiabilidad será nuevamente 1.

En la sección 1-4-b, hemos visto que se puede calcular la probabilidad de que durante este período de 6.000 horas, no se produzca ninguna falla. La fórmula que se usa es:

$$R = e^{-\frac{T_0}{m}}$$

en que T_0 es el período en el cual se hacen las inspecciones y m es el tiempo medio entre fallas. Reemplazando nos queda:

$$R = e^{-\frac{T_0}{m}} = e^{-\frac{6000}{25162}} = e^{-0,23} = 0,798$$

Esto es aproximadamente 0,8, que coincide con la confiabilidad que habíamos deseado.

Ahora nos interesa conocer un detalle muy importante, y es el tiempo promedio en que se producirá una falla en alguno de los 100 motores. Es decir, cada cuanto esperaremos una interrupción en los telares. Este dato nos es muy importante porque nos permite saber la capacidad que debe tener el equipo y el taller de mantenimiento, cuando se desea trabajar con una confiabilidad de 0,8. Para encontrar el tiempo promedio en que se va a producir las fallas, usamos la fórmula (1-30) que es:

$$T_{avg} = mQ(T)$$

En esta fórmula, $Q(t) = 1 - R(t) = 1 - 0,798 = 0,202$

tenemos entonces:

$$T_{avg} = 6000 \cdot 0,202 = 1212 \text{ horas}$$

Es decir que, en promedio, se produce una falla cada 1212 horas de funcionamiento de los 100 motores. Esto permite calcular la capacidad del taller eléctrico de la compañía.

Veamos ahora en la figura N^o como la razón de falla de los motores eléctricos de la prueba, varía cuando se hacen reparaciones e inspecciones cada 6.000 horas.

En caso de que surja la pregunta de qué pasaría con la confiabilidad, si reducimos el período entre revisiones de mantenimiento.

Para 3.000 horas:

$$R = e^{-3000/25162} = 0,889$$

Para 2.500 horas:

$$R = e^{-2500/25162} = 0,906$$

Para 1.000 horas:

$$R = e^{-1000/25162} = 0,960$$

Nos damos cuenta en seguida que para conseguir una confiabilidad elevada, tenemos que recurrir a un alto número de inspecciones. Cada inspección cuesta dinero y mantener una confiabilidad tan alta, que para el caso de una fábrica de telas es demasiada, nos va a costar más dinero que el que producen las interrupciones por daños. Si se tratara de motores de aviación, en que la confiabilidad exigida es muy alta, valdría la pena el tener inspecciones más frecuentes.

Hagamos ahora una relación entre el tiempo que se emplea en mantenimiento preventivo, o sea el de una revisión, con el tiempo en que se tarda en reparar, en promedio, una falla cualquiera de los motores. Para el caso particular de la empresa "La Internacional", estos dos tiempos son iguales. La excepción a esto es cuando se rebobina los motores, pero este daño no es muy frecuente. Entonces se podría pensar que no habría necesidad de mantenimiento preventivo, ya que toma el mismo tiempo que reparar un daño. Si tenemos en cuenta que cada 6.000 horas debemos hacer, según el plan que nos habíamos propuesto, una revisión del motor, y que el tiempo medio entre -

fallas es de 25.162 horas, vemos que el motor va a recibir 4 revisiones antes de que se dañe. Esto significa una pérdida de 24 horas, contra una posible de 6 horas. Si nos guiamos por este criterio, entonces podemos dejar que los motores se dañen o presenten síntomas de falla antes de repararlos. Un estudio más profundo de los demás costos involucrados como costo del tiempo de paro, costo del posible desperdicio, costo de la mano de obra de reparación, etc., podría decidir cuál es el mejor sistema.

Para solucionar mejor el problema anterior, existe un método más práctico. El método consiste en tener dos motores listos en Stand-by. Esto puede funcionar de la siguiente manera. En el taller de mantenimiento se tiene siempre listos, y en perfecto estado de funcionamiento, dos motores de la misma marca y características de los que mueven los telares. Cuando un motor falla, o está mostrando síntomas de que va a fallar, como recalentamiento, rozamiento, chisporroteo, etc., se llama al encargado del mantenimiento, y éste, si es necesario, ordena el cambio del motor por uno de los que están en Stand-by. Este se lo coloca en el telar y el motor dañado, se lo revisa y repara con toda tranquilidad y sin apuro de tiempo. Una vez revisado y reparado, se lo vuelve a colocar en el telar y se retira el motor que estaba en Stand-by. Operarios entrenados pueden cambiar los motores en solamente 15 minutos, o sea, que en total sólo se han perdido 30 minutos en total. Si comparamos esto con el tiempo promedio de 6 horas del método anterior, vemos que el tiempo improductivo puede bajar radicalmente.

Veamos ahora como afecta este sistema a la confiabilidad de los motores. Si no tomamos en cuenta, por no ser de mucha significación, el tiempo en que se tarda en cambiar los motores, ya que es de $0,5/1212$ del tiempo promedio entre fallas, y asumimos que el motor en Stand-by tiene la misma confiabilidad ($R = 0,80$) que el motor en operación, podemos usar la fórmula enunciada en la sección

1-5-b y que es:

$$R = e^{-\lambda t} + R_{ss} c (t) \quad (1-52)$$

Aquí $\lambda = 0,000039$ y t lo tomaremos como 6.000 horas

Reemplazando estos valores, nos queda:

$$R = e^{-0,000039 \cdot 6000} + e^{-0,000039 \cdot 6000} (0,000039 \cdot 6000)$$

$$R = 0,792 = 0,185328$$

$$R = 0,977$$

Nos podemos dar cuenta inmediatamente el gran aumento en la confiabilidad que se ha logrado al aplicar este método. Esto nos lleva a pensar inmediatamente en los costos, pues a menos revisiones que se hagan, menor es el costo por mantenimiento. Si habíamos dicho que a la empresa le interesa sólo tener una confiabilidad de $R = 0,80$, veamos empleando el método de Stand-by, cada cuanto deberíamos hacer las inspecciones:

Para 10.000 horas:

$$R = e^{-0,000039 \cdot 10000} + e^{-0,000039 \cdot 10000} (0,000039 \cdot 10000)$$

$$R = 0,678 + 0,678 \cdot 0,39$$

$$R = 0,938$$

Para 20.000 horas:

$$R = e^{-0,000039 \cdot 20000} + e^{-0,000039/20000} (0,000039 \cdot 20000)$$

$$R = 0,46 + 0,46 (0,78)$$

$$R = 0,856$$

Vemos entonces que con el método en Stand-by, necesitamos solamente una inspección cada 20.000 horas para obtener una confiabilidad aún más alta (0,856) que la que necesitábamos.

Ahora hagamos un análisis económico para ver la ventaja de un método sobre el otro. Los costos promedios que se han podido obtener son los siguientes:

Costo de una revisión:	₡ 80,00
Costo de tiempo muerto	
por hora perdida:	" 39,00

En cuanto al costo de los repuestos, estos tienen las siguientes características:

La gran mayoría de los daños de un motor eléctrico, son simples de reparar, como ser cambio de escobillas, cambio de ruli-manes, alineamiento, aislamiento, etc. El daño mayor que puede ocurrir es que se queme el motor. Si el motor está bien protegido, el chance de este daño es muy pequeño y puede ocurrir en cualquiera de los métodos propuestos, ya que este daño se produce generalmente por mala operación del telar. De manera que este tipo de daño puede no tomarse en cuenta en el análisis de costos, porque es el mismo para ambos métodos. En cuanto a los cojinetes, estos tienen una vida media útil suficientemente larga como para durar más allá de las 20.000 horas entre revisiones, de manera que no se espera un daño entre las revisiones de 20.000 horas. Pero por seguridad se los puede cambiar, así no hayan fallado, a las 20.000 horas. En las revisiones de 6.000 horas puede hacerse este cambio - cada 3, a las 18.000 horas, o cada 4 a las 24.000 horas. De todas maneras, el gasto de cojinetes es casi el mismo para ambos métodos, luego se los puede no tomar en cuenta. En cuanto a los demás daños, se pidió al encargado del taller que haga un promedio del valor de los repuestos en cada reparación. El dió un valor de ₡ 40,00 que se aceptó como aproximado, por no existir registros o estadísticas que pudieran dar la cifra verdadera, y por ser esta persona la que más sabía sobre el asunto.

En lo que se refiere a los costos por desperdicio, estos casi no existen debido a la manera como trabaja el telar, lo impide. Si el motor falla se para el telar, pero la tela que está fabricando,

no sufre ningún daño. Simplemente se interrumpe su fabricación. - Igual cosa sucede al ser puesto nuevamente en servicio.

Tenemos entonces los siguientes costos para los diferentes métodos:

Para 6.000 horas tenemos:

El número de revisiones programadas son de 100 en un período de 6.000 horas. Como los motores tienen durante este período una confiabilidad de $R = 0,80$, quiere decir que la probabilidad es de que, de 100 equipos, 80 lleguen a las 6.000 horas, sin fallas y 20 fallen, o sea que la probabilidad de falla es $Q = 0,20$. Entonces habrá una probabilidad de que hayan 20 revisiones no programadas. O sea que en total, tendremos 120 revisiones, entre programadas y no programadas. Habíamos dicho que en promedio estas revisiones duran 6 horas, y cuestan \$ 80,00. El costo de una hora de tiempo muerto por telar era de \$ 39,00. La tabla de costos nos queda entonces de la siguiente manera:

Costo de 120 revisiones a \$ 80,00 cada revisión.....	9.600
Costo del tiempo muerto: 120 revisiones por 6 horas por revisión por \$ 39 por hora	28.080
Costo por repuestos: 120 revisiones - por \$ 40 por revisión.....	4.800
TOTAL:	\$ 32.980

Veamos ahora los costos para 20.000 horas:

El número de revisiones programadas será también de 100 a las 20.000 horas. La confiabilidad para este período es de $R = 0,46$ pero para más seguridad tomaremos la confiabilidad del tiempo medio entre fallas $R = 0,368$. Esto hacemos como un factor de seguridad, ya que los datos, pueden tener alguna falla. Esta confiabilidad nos di

ce que es probable que haya 63 motores de 100 que fallen. Luego el número total de revisiones programadas y no programadas será de 163. En este caso, la revisión produce 0,5 horas de tiempo muerto. Los costos nos quedarían entonces de esta manera:

Costo de 163 revisiones a \$ 80 cada revisión	13.040
Costo del tiempo muerto: 163 revisiones por 0,5 horas por revisión por \$ 39,00 por hora:	3.278
Costos por repuestos: 163 revisiones por \$ 40 por revisión.....	6.520
	<hr/>
TOTAL:	22.838
	=====

Si analizamos los datos, encontraremos una gran ventaja para el segundo método. Mientras que en el primero se gastan \$... 32/480 cada 6.000 horas de funcionamiento de los motores, en el segundo método se gasta sólo \$ 22.838 cada 20.000 horas, siendo la confiabilidad la misma en ambos casos. Si comparamos ambos métodos para un período de 20.000 horas, vemos que por el primer método se gastará una suma de \$ 97.240 y para el segundo método \$ 22.838.

En la práctica, quizá la diferencia no sea tan grande. Sin embargo, siempre el gasto del primer método será mucho mayor que el del segundo, y en el período de 20.000 horas se puede pagar sobradamente la inversión inicial de \$ 7.000,00 que es el costo de los dos motores en Stand-by.

□ □ □ □ □ □



BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFIA

- 1) Reliability Theory and Practice, Igor Bazovsky, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- 2) Reliability Principles and Practices, S.R. Calabro. MacGraw Hill Book Company, New York.
- 3) Principles of Engineering Economics, Grant Ireson. The Ronald Press Company, New York, 1.964
- 4) Engineering Economy, Clarence Bullinger, MacGraw Hill Book Company, New York, 1.958
- 5) Capacitación, John Proctor, William Thorton, Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional A I D, México.
- 6) Mantenimiento de Plantas Industriales Ing. Napoleón Arguello. A I D, México.
- 7) Maintenance Engineering Handbook, L.C. Morrow, 2nd Edition, MacGraw Hill Book Company, New York.
- 8) Manual del Ingeniero Mecánico de Marks, UTEHA, México 1.967
- 9) El Proyecto de Ingeniería Mecánica. Edward Shigley, MacGraw Hill Book Company, New York.
- 10) Production Handbook, L. T. Alfsord, J.R. Bangs, The Ronald Press Company, New York, 1.955
- 11) The Capital, Budgeting Decision. H. Berman, Seymour Smidt, The Mac Millan Book Company, New York.