



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

IMPLANTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
UNO MAS TRES A UNA EMPRESA
CHOCOLATERA MEXICANA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO
Á R E A: M E C Á N I C A
P R E S E N T A:
JOSÉ MARTÍN NAVA CASTELLANOS

ASESOR: ING. JAVIER NAVA PÉREZ



ARAGÓN, ESTADO DE MÉXICO

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

El término de mi carrera represento un logro mas en mi vida; hoy con la conclusión de este trabajo de Tesis significa una de las etapas más importantes de mi desarrollo profesional. En este pequeño espacio quiero agradecer a quienes incondicionalmente han estado a mi lado para apoyarme en buenos y malos momentos.

A mi papá Baltazar †:

Quien con alegría vivió intensamente conmigo el poco tiempo que la vida le permitió estar a mi lado.

A mi mamá Juanita †:

Mujer de alto valor, luchadora, trabajadora y tenaz. A quien no solamente debo la vida, sino los valores que hoy tengo y quien me impulso a seguir y siempre concluir con lo que se comienza. Mamá y papá a la vez. No hay palabras para poder expresar todo lo que ella se merece. Gracias... Mamá.

A mi hermano Antonio:

Quien a falta de mi padre me dio todo lo que tuvo a su alcance y ante lo adverso me defendió como a un hijo. Doy gracias a Dios por ser tu hermano y tu amigo.

A mi hermano Félix:

Quien me impulso con su apoyo incondicional, de quien siempre tuve palabras de aliento. Un hermano que siempre confió en mí y al cual hoy le doy las gracias en especial, no hay palabras para expresarte lo que significas en mi vida. Te respeto y te admiro...

A mi hermano Javier:

Con quien compartí los mejores momentos y juegos de mi infancia, siempre dispuesto a apoyarme y darme ánimos para continuar.

A mi hermana Yolanda:

Doy gracias por que hayas llegado a compartir los bellos momentos de infancia; por todo lo vivido. Gracias por tu comprensión y apoyo incondicional en los buenos y malos momentos; por la alegría de darme una linda sobrina a quien quiero como una hija; Brenda Samantha.

A mi esposa María de Lourdes:

Por todos estos años en que momento a momento nos hemos y me has apoyado. Tiempos en los que crecimos juntos, compañeros de estudios, de alegrías y tristezas; como no dar gracias a la vida si te tengo a mi lado. Por el tiempo vivido y lo que viene por vivir. Gracias... Te amo.

A mis hijos Stephanie Monserrat y Diego Orlando:

Doy gracias a Dios por haberlos mandado a mi vida, por llenarme de alegrías, por hacerme sonreír, por que gracias a ustedes aprendí a madurar, a ver hacia delante siempre. Hija, hijo los amo infinitamente; así mismo quiero que ustedes se amen toda la vida.

A mi maestro Ing. Moisés Mendoza Linares:

Un especial agradecimiento por guiarme en mi carrera, por ayudarme a levantar en momentos difíciles en los que no sabía qué quería y a donde iba. Aprendí bastante de su forma de enseñar, de su rectitud en la vida y su profesión, de sus valores como persona, de su experiencia. Ing. Moisés, no hay forma de expresarle y darle las gracias en tan pequeño espacio.

A mis suegros Jesús y Cristina:

Gracias por el apoyo que he tenido de ustedes durante todo este tiempo, por quererme como a un hijo; los amo y hoy que están con vida quiero que lo sepan. Que Dios los bendiga...

A mi familia:

Susana, Estela, Alejandro, Gabriela, Isaac, Nicté, Samara, Alexa, Isabel, Patricia, Emmanuel, Miriam, Fernanda. Gracias por toda esta vida juntos; a todos los quiero como no se imaginan.

A mi asesor Ing. Javier Nava Pérez:

Por su apoyo en ésta parte de mi superación profesional, por su confianza en mi y por el aliento a concluir. Mil gracias.

Y a todos mis maestros:

Gracias por los conocimientos y su experiencia que compartieron, por la paciencia, por el interés que mostraron para que se hiciera amena y entendible su cátedra. De verdad; los recuerdo con cariño, respeto y admiración.

INDICE

	Página
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1. ELEMENTOS DE MAQUINA	3
1.1 ENGRANES	3
1.2 LEVAS	6
1.3 BANDAS	8
1.4 CADENAS	12
1.5 COPLES	14
1.6 CUÑAS	18
1.7 TORNILLOS	21
1.8 RESORTES MECANICOS	23
1.9 BALEROS, LUBRICACION	28
1.10 SOLDADURA	34
1.11 METALES FERROSOS Y NO FERROSOS	38
CAPITULO 2. FALLAS EN LA MAQUINARIA	45
2.1 ANÁLISIS DE CAUSAS QUE PRODUCEN FALLAS	47
2.2 MODOS DE FRACTURA	50
2.2.1 FRACTURA POR FATIGA	53
2.2.2 FRACTURA POR FLEXIÓN	59
2.2.3 FALLAS TORSIONALES	61
2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CAUSAS QUE PRODUCEN FALLAS.	63
CAPITULO 3. MANTENIMIENTO	66
3.1 REGISTROS DE REPARACIONES Y ALMACEN	70
3.2 PERSONAL DE MANTENIMIENTO	74
3.3 CLASIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO	74
3.4 MANTENIMIENTO CORRECTIVO	76
3.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	78
3.6 PLAN DE MANTENIMIENTO PREV. UNO MAS TRES	81
3.7 PORQUÉ TENER UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	83
3.8 PLANEACIÓN PRELIMINAR	84
3.9 INSTAURACIÓN DE UN PROGRAMA	85

	Página
CAPITULO 4. ADMINISTRACION DEL MANTENIMIENTO	86
4.1 GENERALIDADES	86
4.2 PLANEACIÓN	87
4.3 ORGANIZACIÓN	97
4.4 EJECUCIÓN	100
4.5 CONTROL	101
CAPITULO 5. IMPLANTACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO UNO MÁS TRES.	109
5.1 ANÁLISIS DE FALLAS MÁS FRECUENTES.	109
5.2 ANÁLISIS DE EQUIPO CRÍTICO	110
5.3 ASIGNACIÓN DE PRESUPUESTO.	119
5.4 ABATIMIENTO DE COSTOS DEL PLAN UNO MAS TRES CONTRA MANTENIMIENTO PREVENTIVO GENERAL.	122
5.5 EJEMPLO.	124
CONCLUSIONES	148
BIBLIOGRAFIA	150

INTRODUCCION

Tocar el tema de Mantenimiento en cualquiera de sus modalidades como lo es el Predictivo, Preventivo y Correctivo nos abre un panorama enorme en cuanto a la administración para lograr mantener la Calidad de servicio de las máquinas y así lograr el más alto porcentaje de eficiencia referente a un buen producto final y una buena cantidad de producción.

Cada empresa establecerá un programa de Mantenimiento y lo podrá implantar desde un software de PC; en donde se le retroalimentara información que vaya solicitando como máquinas, personal de mantenimiento, refacciones, mínimos y máximos de refacciones, lubricantes, etc. para hacer su banco de datos y pueda reportar análisis de fallas recurrentes, refacciones críticas, emisión diaria-semanal-mensual de trabajos por ejecutar, rutinas de inspección, tiempo laborado por el personal de mantenimiento, tiempos muertos por fallas y trabajos pendientes por falta de refacciones que es lo que usualmente traen los programas de computadora. Grandes empresas utilizan este tipo de programas de mantenimiento que por su complejidad a veces es necesario establecer para abarcar lo más posible y poder tener controles; que aunque hay veces que teniendo tantos y tantos se vuelve un mundo de información que no es posible analizar con detenimiento.

La intención del establecimiento del Plan 1+3 es ir haciendo un programa de mantenimiento poco a poco pero con resultados inmediatos de ahorro en el presupuesto asignado al departamento, elevar la eficiencia de las máquinas para dar calidad y cantidad al producto final, eliminar en lo posible los altos inventarios y costos por manejo de almacén, y controlar el tiempo trabajado por el personal de mantenimiento. Este programa dará pauta para generar el programa general de Mantenimiento Preventivo con frecuencias semanales, mensuales, semestrales y anuales.

Cabe hacer mención que el programa se puede hacer tan ambicioso como se quiera y de acuerdo al presupuesto que asigne la Dirección General o Socios de la empresa; se puede establecer anexo un programa en donde se programa en el mes uno, para surtir las refacciones en el mes seis y doce y a esta aplicación se le llamaría Plan 1+6+12; pero como lo mencioné anteriormente implica la asignación de un presupuesto con miras a reparar máquinas que representan una inversión a mediano (6) y largo plazo (12). En el caso del plan 1+12 la inversión suele ser para la adquisición del reemplazo de equipos o máquinas utilizando el presupuesto de mantenimiento más que encaminado a la adquisición de refacciones.

Este trabajo de tesis se divide en cinco capítulos.

En el primer capítulo “Elementos de máquina”, se dan conocer los elementos de máquina a los cuales nos vamos a enfocar en cuanto a su cambio, su reparación o modificación. Partes importantes para lograr formar en conjunto un bien que dará un producto final, sea el que sea; el cual debe tener una buena calidad para satisfacción del cliente final o usuario y además una buena cantidad apegada a la eficiencia de la máquina con la cual fue fabricada para satisfacción monetaria de los empresarios inversionistas.

En el segundo capítulo “Fallas en maquinaria”, se analizan las causas que ocasionan la pérdida de calidad del servicio de las máquinas, jugando un papel muy importante el Jefe de mantenimiento y sus Supervisores, los cuales basados en su experiencia y conocimientos de Ingeniería deberán analizar las causas que propician las fallas en los elementos de máquina y atacar de raíz el problema y no solo limitarse a “copiar” las piezas que se dañaron.

En el tercer capítulo “Mantenimiento”, se ve la los diferentes tipos de mantenimiento que existen y porque de la importancia de tener un programa de mantenimiento, desde su planeación hasta la instalación del mismo. El tipo de personal que se debe tener en el departamento y los registros que nos darán un historial de cada máquina.

En el cuarto capítulo “Administración del mantenimiento”, se analiza desde la planeación de cómo instituir un programa, la organización del mismo, la puesta en marcha y sus elementos de control que sirven para retroalimentar y detectar fallas para hacer mejoras.

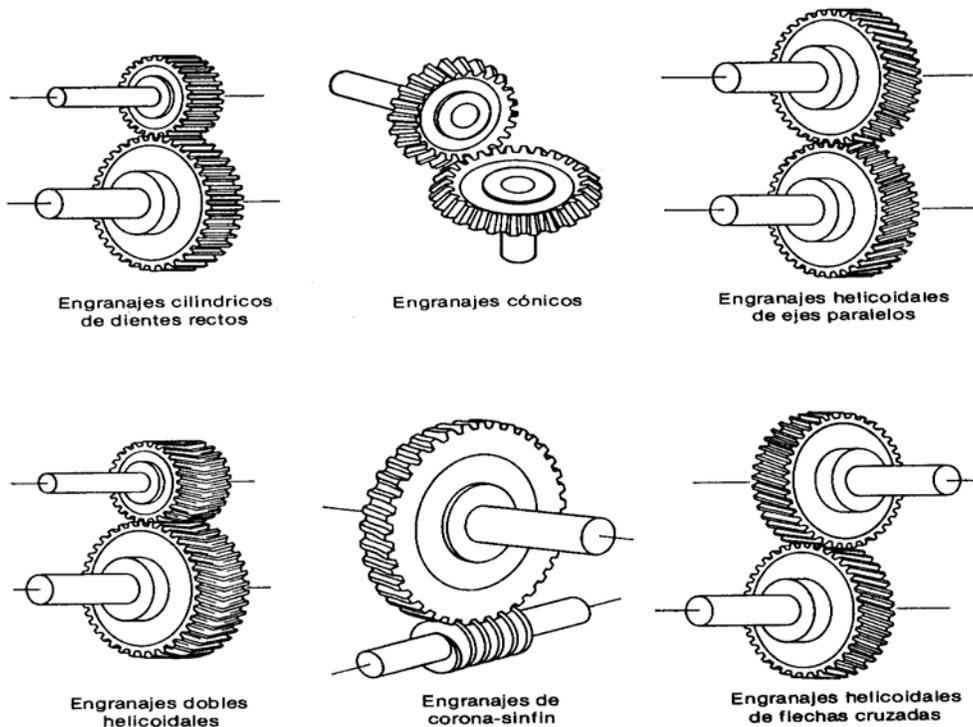
En el quinto capítulo “Implantación del Plan de Mantenimiento Uno mas Tres”, se realiza un ejemplo de la forma en como se comienza a instalar un programa de mantenimiento que dará resultados de mejora en la calidad de servicio a las máquinas, se controla el presupuesto asignado al departamento, eleva la eficiencia del personal de mantenimiento, eleva la cantidad de producción por menos paros no programados y permite elaborar un programa de mantenimiento preventivo anual con frecuencias semanales, quincenales y mensuales.

CAPITULO 1. ELEMENTOS DE MAQUINA

1.1 ENGRANES

La mayoría de las máquinas requieren de alguna forma de mecanismo para cambiar la velocidad, alterar el movimiento relativo, producir una característica de diseño requerida o proporcionar alguna ventaja mecánica. Para lograr esto nos auxiliamos de los engranes. La representación y la especificación de engranes se necesitan hacer con tanta frecuencia que es importante familiarizarse con su nomenclatura, sus proporciones básicas y las fórmulas para su cálculo.

Los engranes son modificaciones de cilindros y conos rodantes, diseñados para sustituir a éstos de modo que aseguren una transmisión directa del movimiento. Hay numerosas variaciones, pero las formas básicas son: Los engranes cilíndricos, para transmitir energía mecánica de un eje a otro paralelo; el mecanismo de rueda de engrane y cremallera, para transformar un movimiento giratorio en movimiento rectilíneo; los engranes cónicos, para ejes que se cortan, y los engranajes de gusano ó tornillo sin fin, para ejes que se cruzan, se cortan con un ángulo de 90° ; como se ilustra en la siguiente figura.

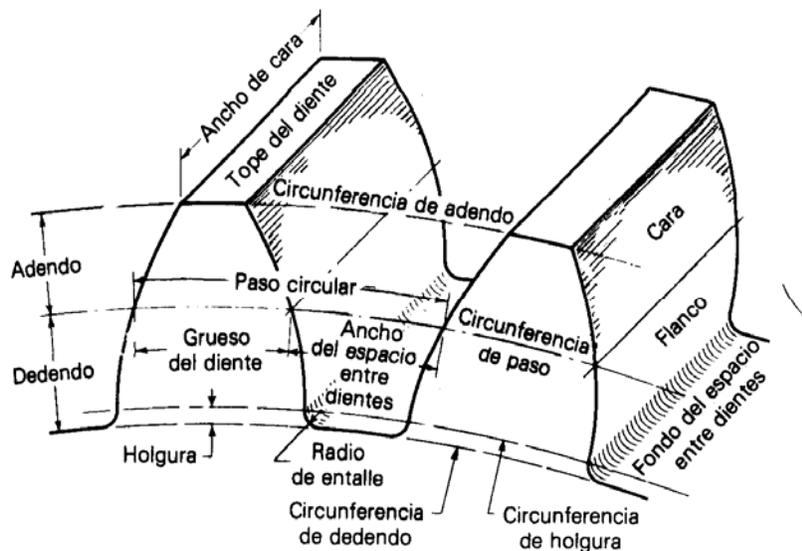


Cuando uno de los engranes que constituyen un par es mucho más pequeño que el otro se le llama piñón; al mayor suele denominarse rueda dentada o simplemente rueda.

Los dientes de un engrane son salientes construidos en forma que encajen en los huecos entre los salientes de otro compañero, y el contacto de los dientes que engranan se verifica a lo largo de una línea común conocida como línea de presión o de engrane. La forma más común de los flancos de los dientes es la de evolvente, y cuando tienen esta forma los engranes se llaman de evolvente. El ángulo de la línea de presión determina la evolvente particular que debe formar el flanco. El ANSI tiene dos ángulos de presión estandarizados, de $14\frac{1}{2}^\circ$ y de 20° . También se emplean un diente compuesto de $14\frac{1}{2}^\circ$ y uno llamado mocho, corto o rebajado (*stub*) de 20° .

Símbolos literales y formulas para engranes cilíndricos.

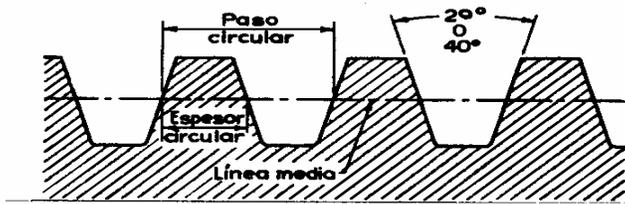
En la siguiente figura se dan los nombres de las diversas partes de un engrane cilíndrico y de sus dientes. Los símbolos literales y fórmulas estándares del ANSI para el cálculo de engranes son los siguientes:



Nomenclatura de los dientes de engranes.

Una cremallera es teóricamente, un engrane cilíndrico de diámetro primitivo infinito. Por tanto comparada con el engrane compañero, todas las dimensiones circulares se convierten en lineales o rectilíneas.

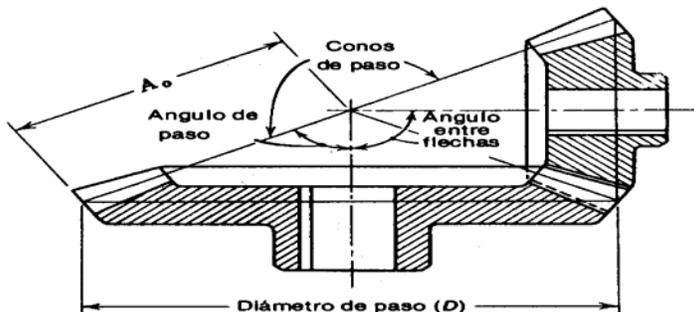
Las especificaciones de los dientes de cremallera (que deben darse en un dibujo de detalle) son: paso lineal (igual al paso circular de la rueda de engrane equivalente a la cremallera), número de dientes, paso diametral de la rueda y altura total.



Método de trazado de una cremallera de evolvente. El paso circular y el espesor son lineales, porque el diámetro de la circunferencia primitiva o del paso es infinito.

Engranés cónicos.

En los engranes cónicos, las superficies teóricas de rodadura se convierten en conos, El diámetro del paso o de la circunferencia primitiva, D , del engranaje es el diámetro de la base del cono que se indica en la siguiente figura. El adendum y el dedendum se calculan de la misma manera que para un engrane cilíndrico, y se miden sobre un cono, llamado *cono complementario*, cuyas generatrices son perpendiculares a las del cono de las caras o superficies de los dientes. El paso diametral, el módulo, el paso circular, etc., se definen igual que para un engrane cilíndrico.



Mecanismos de rueda dentada y tornillo sin fin.

Los mecanismos de rueda dentada y tornillo sin fin o de gusano se emplean principalmente para obtener grandes reducciones de la velocidad relativa y para conseguir un incremento considerable en la potencia eficaz. El tornillo sin fin es semejante a una rosca de tornillo, y el cálculo de su diámetro primitivo o de paso, etc., es también semejante. En un corte o sección por el eje del tornillo sin fin, la rueda dentada y el tornillo guardan la misma relación que un engranaje cilíndrico y una cremallera. Por tanto, la forma del diente, el adendum, el dedendum etc., serán iguales que para un engranaje cilíndrico y una cremallera.

1.2 LEVAS

Una *leva* es un elemento de máquina cuya superficie tiene una forma tal que sirve para producir un movimiento especial o irregular de una segunda pieza, llamada *seguidor*. La forma de la leva depende del movimiento necesario y del tipo de seguidor que se vaya a usar. El tipo de leva lo determina la relación requerida entre las piezas y los movimientos de ambas.

Tipos de levas.

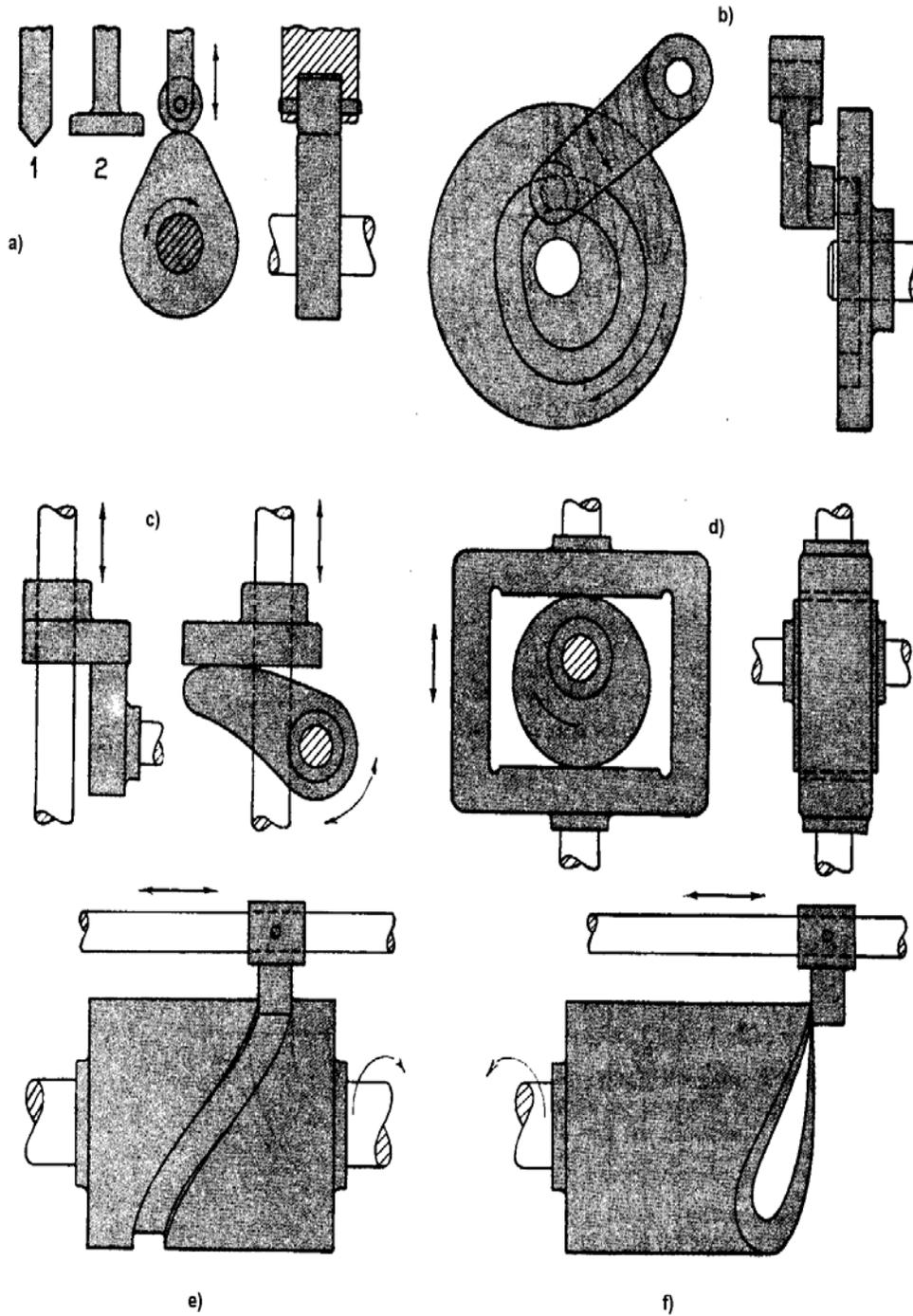
La dirección del movimiento del seguidor con respecto al eje de la leva determina dos tipos generales, como sigue:

- 1) levas radiales o de disco, en las cuales el seguidor se mueve en una dirección perpendicular al eje de la leva.
- 2) levas cilíndricas o de extremo, en las cuales el seguidor se mueve paralelamente al eje de la leva.

La siguiente figura ilustra en:

- a) Leva radial, con un seguidor de rodillo mantenido contra la leva por gravedad o por medio de un resorte. A medida que la leva gira, el seguidor asciende y desciende. Se, hace también seguidores terminados en punta o con extremo plano.
- b) Leva frontal con un seguidor de rodillo colocado en el extremo de un brazo o articulación y el seguidor oscila a medida que la leva gira. Cuando la propia leva oscila, se usa la forma de talón rozador
- c) Leva de talón o seguidor, puede hacerse también en forma de un brazo oscilante. Una leva radial de yugo o de doble efecto

- d) Leva de yugo, haciendo posible que el seguidor cerrado de este tipo de leva aplique la fuerza en uno y otro sentido.
- e) Leva cilíndrica acanalada.
- f) Leva de extremo



1.3 BANDAS

Los elementos de máquina flexibles, como bandas se utilizan para la transmisión de potencia a distancias comparativamente grandes. Cuando se emplean, por lo general sustituyen a grupos de engranes, ejes y sus cojinetes o a dispositivos de transmisión similares. Por lo tanto, simplifican mucho una máquina o instalación mecánica y son así un elemento importante para reducir costos.

Además son elásticos y generalmente de gran longitud, de modo que tienen una función importante en la absorción de cargas de choque y en el amortiguamiento de los efectos de fuerza vibrantes. Aunque esta ventaja es importante en lo que concierne a la vida de una máquina motriz, el elemento de reducción de costo suele ser el factor principal para seleccionar estos medios de transmisión de potencia.

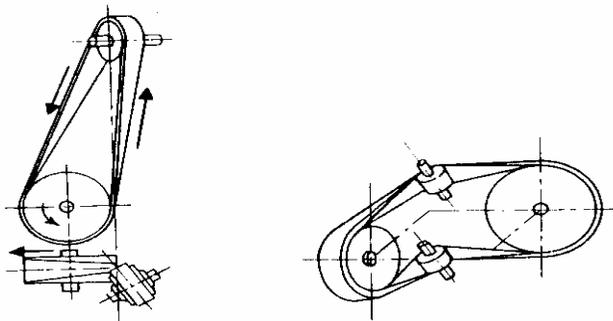
Las bandas se utilizan para transmitir potencia entre dos ejes paralelos. Tales ejes deben estar situados a cierta distancia mínima, dependiendo del tipo de banda para trabajar con la mayor eficiencia. Las bandas tienen las siguientes características:

- Pueden utilizarse para grandes distancias entre centros.
- Debido a los efectos de deslizamiento y estirado que se producen en las bandas, la relación entre las velocidades angulares de los dos ejes no es constante ni exactamente igual a la relación entre los diámetros de las poleas.
- Cuando se utilizan bandas planas puede obtenerse acción de embrague si se pasa de una polea libre a una de fuerza.
- Cuando se emplean bandas V o trapeciales, es posible obtener alguna variación en la relación de velocidad angular si se emplea una polea menor con lados cargados por resortes; o comúnmente llamada polea de velocidad variable. Por lo tanto, el diámetro de la polea es función de la tensión de la banda y puede modificársele cambiando la distancia entre centros.
- El empleo de poleas escalonadas es un medio económico para cambiar la relación de velocidad.

Bandas planas

Están hechas de cuero curtido con corteza de roble o de tela, como de algodón o rayón, impregnada de caucho o hule. La banda plana moderna consta de una parte central elástica fuerte, como un núcleo de alambre de acero o de cuerdas de nylon, que resiste la tensión y transmite la potencia, combinada con una cubierta flexible que proporciona fricción entre la banda y la polea.

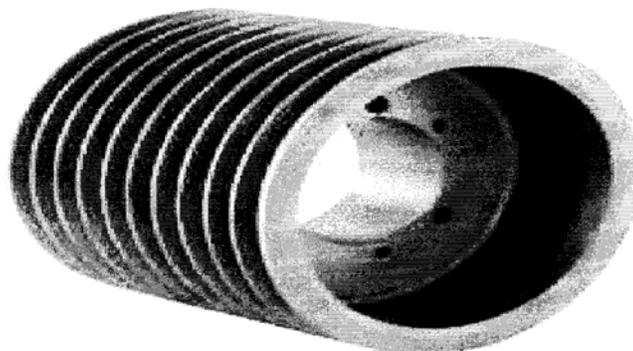
Son muy eficaces para altas velocidades pues resultan silenciosas, pueden transmitir altas potencias a distancias entre ejes relativamente grandes, no requieren poleas de diámetro excesivo y pueden transmitir fuerza motriz al otro lado de una esquina o entre ejes perpendiculares entre sí. A continuación se presentan algunas formas de la disposición de las bandas planas.



Bandas en V (o de sección trapecial)

Están hechas de tela y cuerdas, generalmente de algodón o de rayón impregnadas de caucho. A diferencia de las bandas planas, éstas pueden trabajar con poleas más pequeñas y a distancias entre centros más cortas. Son ligeramente menos eficientes que las planas, pero algunas pueden utilizarse en una sola polea, constituyendo así una transmisión múltiple. Como son de una pieza se elimina la junta que tiene que hacerse en las bandas planas.

En la siguiente figura se muestra una polea para banda en V.



Banda V eslabonada

Se compone de un gran número de eslabones de tela impregnada de goma, unidos por sujetadores de metal apropiados. Este tipo de banda puede abrirse en cualquier punto y ajustarse a una longitud determinada quitando algunos de los eslabones. Lo anterior elimina la necesidad de distancias ajustables entre centros y simplifica la instalación. Permite cambiar la tensión para obtener la eficiencia máxima y también reduce el inventario de tamaños de bandas que habrían de tenerse en existencia en el almacén.

Banda sincronizante o de tiempo.

Está hecha de tela impregnada de goma o caucho y alambres de acero. Está provista de dientes que se ajustan a ranuras formadas en la periferia de las poleas. La banda sincronizante no se estira ni resbala y, en consecuencia, transmite potencia con relación constante de velocidad angular. El hecho de que sea dentada proporciona varias ventajas sobre las bandas ordinarias; una de ellas es que no se necesita tensión inicial, de modo que pueden utilizarse transmisiones de centros fijos. Otra es que se elimina la restricción de las velocidades; los dientes hacen posible que pueda moverse a casi cualquier velocidad, baja o alta. Las desventajas son el costo inicial.

Transmisiones de bandas planas

Las correas o bandas planas modernas se fabrican con un núcleo elástico fuerte, recubierto por cuero al cromo o por material elastómero. Tienen notables ventajas sobre las bandas V o las dentadas. Una transmisión de correa plana tiene una eficiencia de aproximadamente 98%, que es casi la misma que una transmisión de engranes, pero la eficiencia de una transmisión de correas trapeciales está en la proximidad de 70 a 96 %. Las transmisiones de banda plana son más silenciosas y absorben más vibraciones del sistema conectado que los engranes o las correas V.

Transmisión de bandas V (trapeciales)

La sección transversal y la longitud de las bandas trapeciales han sido estandarizadas por el ANSI, considerando unidades inglesas y unidades SI. Las correas para automóvil están en una categoría especial y han sido estandarizadas por el ANSI y la SAE también en ambos sistemas.

En este capítulo se consideran sólo las *transmisiones usuales de bandas V para servicio pesado*, a fin de ahorrar espacio. Los detalles acerca de estos elementos para las series en unidades inglesas y SI se muestran en la siguiente tabla. Obsérvese que los fabricantes también pueden suministrar una correa angosta para servicio pesado, llamada de la serie V, y una correa para servicio ligero, denominada de la serie L. Las bandas trapeciales angostas tienen muchas ventajas en ciertas aplicaciones, donde el espacio es limitado. Operan con poleas de pequeño diámetro, permiten mayores velocidades, motores de impulsión más eficientes y menor número de correas, y cuestan menos que la correa común de sección trapecial para servicio pesado.

Las bandas trapeciales se especifican combinando las designaciones de sección con las longitudes de las correas. Por ejemplo, una banda común D173 tiene una sección transversal D y una *longitud interior* de 173 pulg. La longitud de paso se obtiene agregando un aumento de longitud, a la longitud interior de la banda. Por consiguiente, una correa D173 tiene una longitud de paso de $L = 173 + 3.3 = 176.3$ pulg. Los cálculos de relaciones de velocidad se basan en los diámetros de paso (o efectivos) de las poleas. Por este motivo se sobreentiende que los diámetros de polea señalados son los diámetros de paso, a menos que se especifique otra cosa. La longitud interior de la banda se da en la siguiente tabla.

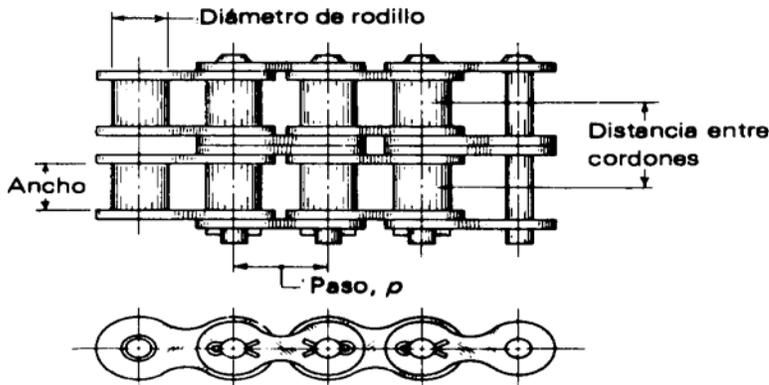
**AUMENTOS DE LONGITUD PARA BANDAS V
COMUNES DE SERVICIO PESADO-SERIE EN
PULGADAS**

Sección transversal	Intervalos de tamaño pulg	Aumentos de longitud pulg
A	26 a 128	1.3
B	35 a 240	1.8
B	240 o mayor	2.1
C	51 a 210	2.9
C	210 o mayor	3.8
D	120 a 210	3.3
D	210 o mayor	4.1
E	180 a 240	4.5
E	240 o mayor	5.5

1.4 CADENAS

Las características básicas de las transmisiones de cadena de rodillos incluyen una relación constante de velocidad, puesto que no hay resbalamiento o estirado; larga vida o duración y la capacidad para impulsar cierto número de ejes desde una sola fuente de potencia o fuerza motriz.

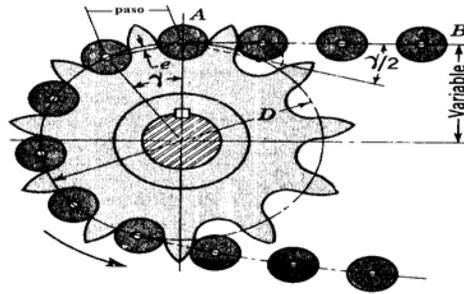
La siguiente figura ilustra la nomenclatura. El paso es la distancia lineal entre centros de rodillos. El ancho es la distancia entre las caras internas de los eslabones.



Las ventajas de las cadenas de rodillos de acero con acabado son: alto rendimiento (alrededor de 98 a 99 por ciento), deslizamiento nulo, no precisa tensión inicial, las cadenas pueden marchar en uno u otro sentido. La construcción básica de la cadena de rodillos está ilustrada en la figura anterior.

Cuanto más corto sea el paso, mayor será la velocidad de funcionamiento admisible para la cadena de rodillos. Se puede obtener una capacidad de transmisión mayor que la de una cadena sencilla por el empleo de cadenas múltiples, las cuales son, en esencia, cadenas sencillas paralelas acopladas con pasadores comunes a todas las hileras. Para velocidades relativamente bajas se pueden usar ruedas dentadas para cadena con menos de 16 dientes, pero para altas velocidades son convenientes las de 18 a 24 dientes. Las ruedas dentadas para cadenas con menos de 25 dientes, que trabajen a velocidades mayores de 500 a 600 rpm, deben recibir un tratamiento térmico para darles una superficie tenaz resistente al desgaste con una dureza de 35 a 45 Rc.

En la siguiente figura se muestra una rueda dentada para cadena (sprocket o catarina) que impulsa una transmisión de cadena.



Designando el paso de la cadena por p , el ángulo de paso por γ y el diámetro de paso de la rueda por D , por la consideración de las características trigonométricas indicadas en el diagrama de esta transmisión se tiene

$\text{Sen } (\gamma/2) = (p/2)/(D/2)$ despejando D tenemos

$$D = p/(\text{sen } (\gamma/2))$$

Puesto que $\gamma = 360/N$, donde N es el número de dientes de la rueda dentada la ecuación anterior puede escribirse

$$D = \frac{p}{\text{Sen } (180/N)}$$

El ángulo $\gamma/2$, que oscila el eslabón a medida que entra en contacto, se denomina *ángulo de articulación*. Puede verse que su magnitud es función del número de dientes. La rotación del eslabón en este ángulo ocasiona impacto entre los rodillos y los dientes de la rueda; también produce desgaste en la junta o unión de la cadena.

Puesto que la vida de una transmisión seleccionada propiamente es función del desgaste y de la resistencia a la fatiga en la superficie de los rodillos, es importante reducir el ángulo de articulación tanto como sea posible.

Generalmente se define a la velocidad de la cadena como el número de dientes que salen de la rueda en la unidad de tiempo. Por lo tanto, la velocidad V en pies por minuto es

$$V = (\pi Dn)/12 = (Npn)/12 \quad \text{Donde:}$$

N número de dientes de la rueda

P paso de la cadena

n velocidad de la rueda, rpm

Aunque un gran número de dientes se consideraría deseable para la rueda motriz de una cadena, usualmente es ventajoso que la rueda sea lo más pequeña posible, y para esto se requiere que tenga pocos dientes. Para una operación suave a velocidades moderadas y altas se considera buena práctica que la rueda tenga por lo menos 17 dientes; desde luego, 19 o 21 darían una mejor esperanza de vida con menos ruido en la cadena. Donde las limitaciones de espacio son severas o en el caso de velocidades muy bajas, pueden utilizarse números más pequeños de dientes sacrificando la duración probable o esperanza de vida de la cadena. Las transmisiones más eficaces tienen relaciones de velocidad hasta de 6:1, pero pueden usarse valores más elevados sacrificando la vida de la cadena.

Las cadenas de rodillos rara vez fallan por deficiencia en la resistencia a la tensión, sino más bien debido a que se las somete a un gran número de horas de servicio. Las fallas reales pueden deberse al desgaste de los rodillos en los pasadores o a fatiga en la superficie de los rodillos. Los fabricantes de cadenas de rodillos han formado tablas que dan la capacidad de potencia correspondiente a una duración probable de 15 000 hrs para diversas velocidades de las ruedas dentadas. Las características de la carga son factores importantes en la selección de cadenas de rodillos. En general se requiere capacidad extra en una cadena por cualquiera de las siguientes condiciones:

- La rueda menor tiene menos de 9 dientes en transmisiones de baja velocidad o menos de 16 en transmisiones de alta velocidad.
- Las ruedas dentadas son exageradamente grandes.
- Se tienen cargas de choque o inversiones de carga frecuentes.
- Se usan tres o más ruedas en la transmisión.
- La lubricación es deficiente.
- La cadena tiene que operar en condiciones de polvo y suciedad.

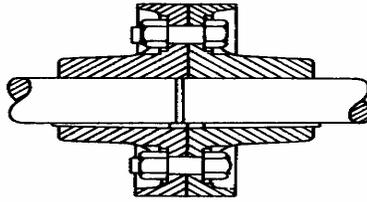
1.5 COPLES

Los acoplamientos se fabrican para hacer conexiones semi permanentes entre dos ejes o árboles. Se construyen en tres tipos: rígido y flexible (mencionados e ilustrados en este tema), e hidráulico.

Acoplamientos rígidos

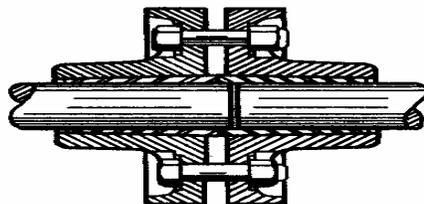
Los acoplamientos rígidos sólo pueden utilizarse con ejes que estén perfectamente alineados. El *acoplamiento de platillos* es el más simple de éstos.

Los platillos o bridas han de sujetarse a los ejes con chavetas.



Acoplamiento de platillos.

El *acoplamiento de compresión sin chaveta* proporciona un medio sencillo para unir ejes a tope sin necesidad de abrir chaveteros en ellos. Los dos platillos, al ser acercados deslizando sobre el manguito cónico ranurado, centran automáticamente los árboles y proporcionan suficiente presión de contacto para transmitir cargas medias o ligeras.



Acoplamiento de compresión sin chaveta

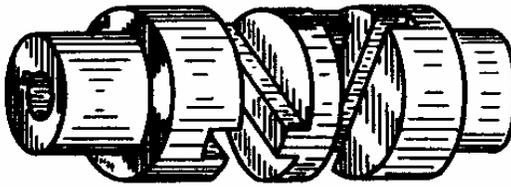
Los acoplamientos de manguito partido nervado, están partidos longitudinalmente y su agujero interior se ajusta al diámetro del eje mediante una lámina muy delgada (calce o laina) que se coloca entre las dos mitades del manguito. Es necesario conectar los árboles al acoplamiento por medio de chavetas.



Acoplamiento de manguito partido nervado

Acoplamientos flexibles

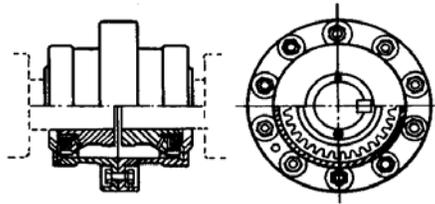
Los acoplamientos flexibles se han ideado para unir árboles de transmisión que están desalineados, bien por desplazamiento transversal o por formar cierto ángulo. Un beneficio secundario consiste en la absorción de los choques debidos a las fluctuaciones del momento del par que actúa sobre el árbol o de la velocidad angular de éste. El acoplamiento Oldham o de discos con corredera doble de ajustes cruzados se utiliza para acoplar árboles que sólo están desalineados transversalmente.



**Acoplamiento flexible de discos
con encaje doble.**

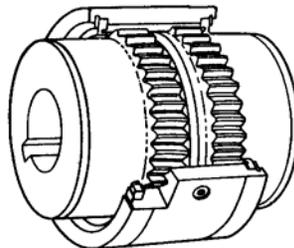
El acoplamiento flexible "Fast" consta de dos cubos unidos por chavetas a sus árboles respectivos. Cada cubo tiene ranuras amortajadas a la máxima distancia posible del extremo del árbol. Rodeando a los cubos hay una cubierta o manguito que está dividida transversalmente y con los rebordes sobresalientes de cada mitad unidos con pernos.

Cada una de estas mitades tiene ranuras talladas en su agujero central en la parte opuesta al reborde. Estas ranuras internas permiten un error definido de alineamiento entre los dos árboles.



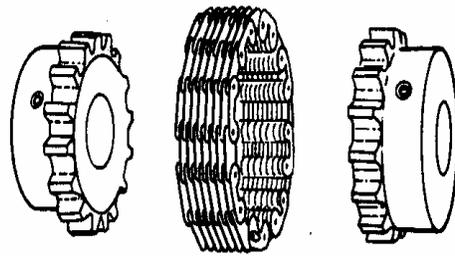
Acoplamiento flexible "Fast".

Otro tipo, el acoplamiento Waldron (Midland-Ross Corp.), se muestra en la siguiente figura.



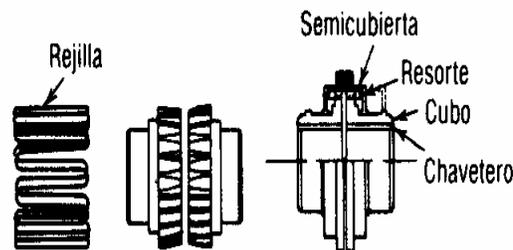
Acoplamiento Waldron.

El acoplamiento de cadena mostrado en la figura utiliza cadena silenciosa, pero puede usarse la cadena de rodillos normal con las ruedas dentadas apropiadas. Cubiertas de nylon que envuelven a las ruedas dentadas son otra variación del acoplamiento de cadena.



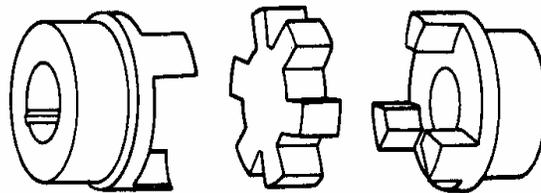
Acoplamiento de cadena.

Los acoplamientos Steelflex se hacen con dos cubos de acero ranurados sujetos con cuñas a sus ejes respectivos. La conexión entre las dos mitades está asegurada por un miembro de aleación de acero especialmente templado llamado "rejilla".



Acoplamiento Steelflex "Falk".

El tipo de la siguiente figura usa un miembro de hule intermedio, que soporta cargas a compresión. Ambos tipos permiten un razonable desalineamiento del eje y se recomiendan sólo para cargas ligeras.



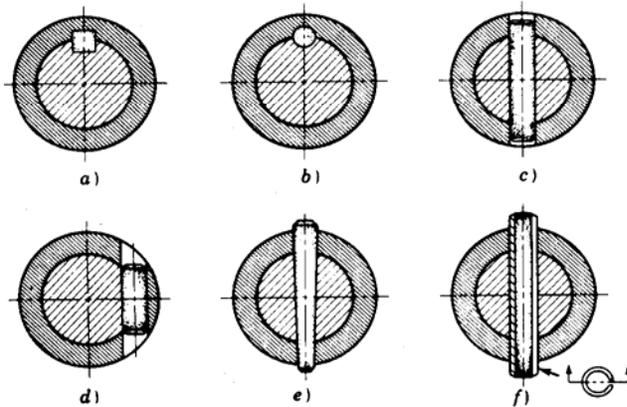
Acoplamiento flexible de hule, tipo de compresión.

Las juntas universales se emplean para acoplar árboles con desalineaciones angulares mucho mayores que las toleradas en otros tipos de acoplamientos flexibles. Pueden emplearse con ejes que formen un ángulo hasta de 30 grados.

1.6 CUÑAS

Estos elementos se usan normalmente para fijar piezas como engranes o poleas a sus ejes, de modo que se pueda transmitir momento de torsión. Un pasador puede tener la doble función de transmitir momento de torsión e impedir el movimiento axial relativo entre las piezas ensambladas. Dicho movimiento también puede evitarse mediante un ajuste a presión o por contracción, tornillos opresores, retenes o pasadores de patas (chavetas). La siguiente figura ilustra diversos dispositivos de este tipo y de los métodos para emplearlos.

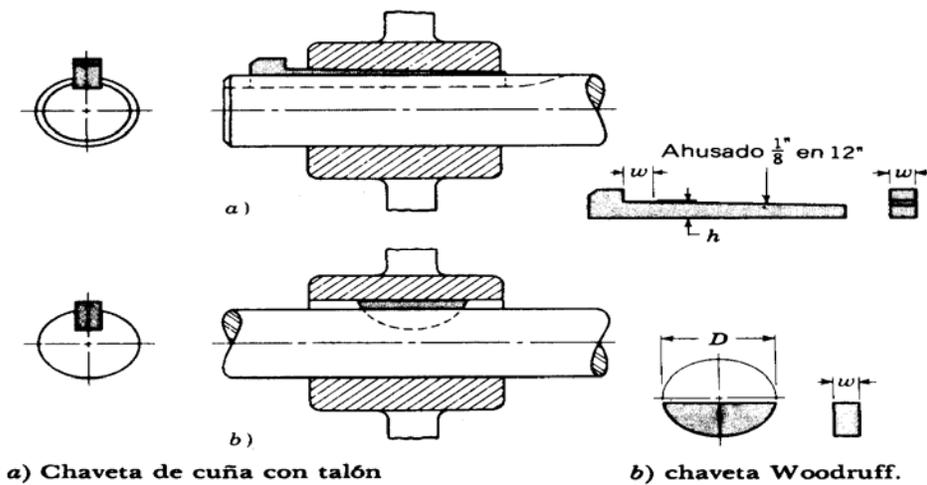
a) Chaveta cuadrada b) chaveta redonda c) d) pasador redondo
e) pasador cónico f) pasador tubular partido de resorte.
Los pasadores e) y f) se muestran con longitud exagerada para ilustrar el bisel en los extremos; pero no debe exceder al diámetro del cubo de la pieza para evitar lesiones por la rotación de partes salientes.



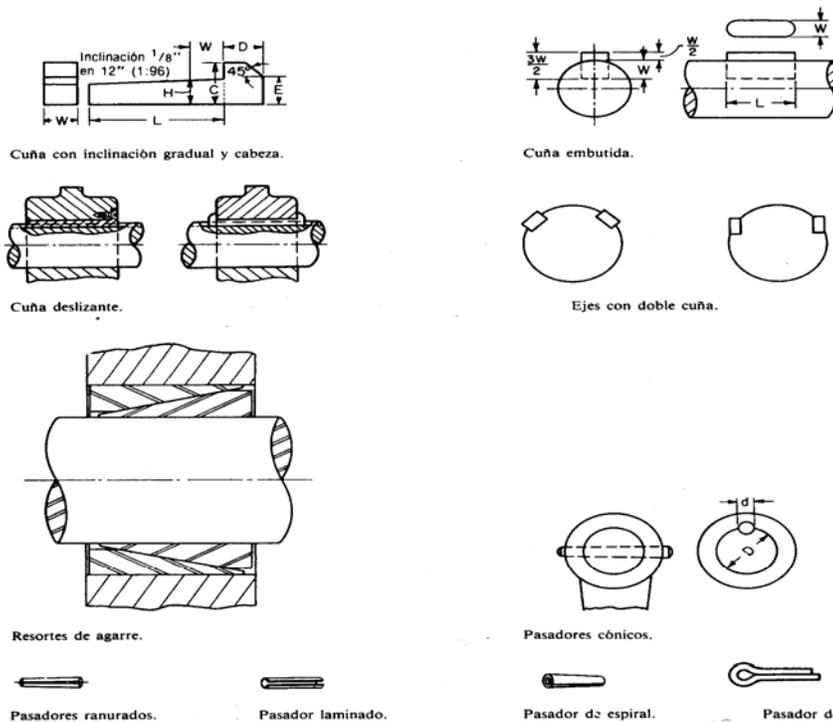
Debe notarse que la chaveta (o cuña) de talón es ahusada (comúnmente llamada en la industria: cuña cónica, por los grados de inclinación que lleva en una de sus caras), de modo que una vez colocada firmemente, también impide el movimiento axial relativo.

Su talón o cabeza permite extraerla sin llegar al otro extremo; pero como sobresale resulta peligrosa cuando se trata de partes rotatorias; teniéndose que sobreponer un dispositivo que la oculte para eliminar la situación de riesgo.

La chaveta Woodruff es de utilidad general y, especialmente, cuando se ha de montar una rueda contra el hombro o escalón de un eje puesto que no se necesita hacer la ranura en la región de esfuerzo concentrado del escalón.



Los datos sobre tamaños estándar y sistemas de designación numérica de chavetas y pasadores pueden encontrarse en numerosos manuales de maquinaria o de Ingeniería Mecánica. A continuación se muestran otros tipos de cuñas.



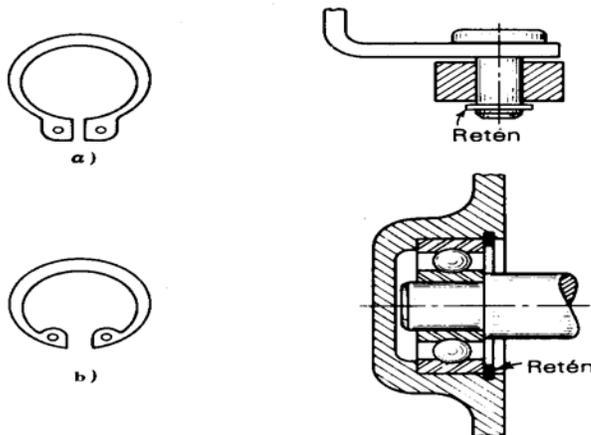
La práctica usual consiste en elegir una chaveta cuyo tamaño sea un cuarto del diámetro del eje. Entonces se ajusta la longitud de la pieza, según la longitud del cubo de la pieza montada y la resistencia requerida. A veces es necesario utilizar dos chavetas para obtener la resistencia que se desee.

Para determinar la resistencia de una cuña o chaveta se considera que las fuerzas se distribuyen de manera uniforme a todo lo largo de la pieza. Probablemente esta hipótesis no se verifica puesto que la rigidez torsional del eje por lo general será menor que la del cubo, produciendo fuerzas de gran magnitud en un extremo de la cuña y fuerzas pequeñas en el otro.

Cuando se ha supuesto una distribución de fuerzas, se acostumbra basar la resistencia de una cuña o chaveta en la falla por compresión o por cortante.

ANILLOS DE RETENCION (SEGUROS TRUACK)

Frecuentemente se utiliza un retén o anillo de retención en vez de un escalón de eje para situar axialmente un elemento sobre un eje o dentro de un hueco. Como se indica en la siguiente figura, se forma una ranura en el eje o en el alojamiento para colocar al retén de resorte. La forma ahusada de los anillos exteriores a) e interiores b); asegura una presión uniforme contra el fondo de la ranura. Los tamaños, medidas y capacidades pueden verse en los catálogos de los fabricantes.



1.7 TORNILLOS

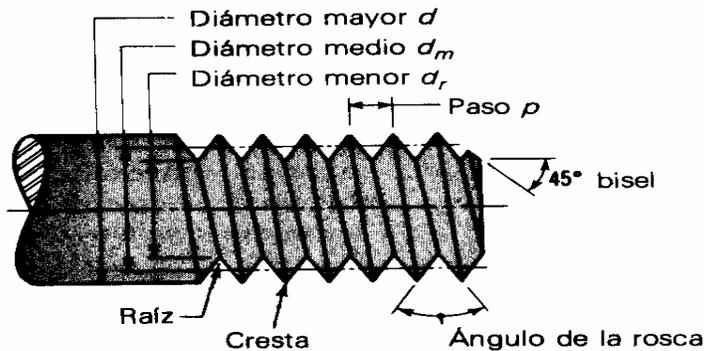
Los métodos comunes para sujetar o unir piezas; incluyen el uso de elementos como pernos, tuercas, tornillos de maquinaria, tornillos opresores, remaches, retenes de resortes, dispositivos de aseguramiento y chavetas o cuñas.

DEFINICIONES PARA ROSCAS DE TORNILLOS

La nomenclatura usada para las roscas de tornillos, se explica en la siguiente forma:

El paso (N) es la distancia que hay entre dos hilos adyacentes, medida paralelamente al eje de la rosca, y es el recíproco del número de hilos por pulgada. El diámetro mayor (d); es el diámetro de mayor tamaño de la rosca.

El diámetro menor (d_r); es el diámetro de menor tamaño de la rosca. Y el avance (l) es la distancia que se desplaza una tuerca, paralelamente al eje de la rosca de un tornillo, cuando se le da una vuelta. En el caso de una rosca simple (o de un solo filete) como lo muestra la siguiente figura, el avance es igual al paso.



Un elemento con *rosca múltiple* es aquel cuya rosca tiene dos o más filetes (imagínese dos o más cordones enrollados juntos, alrededor de un lápiz.). Los productos estandarizados como tornillos y tuercas, etc., tienen rosca sencilla.

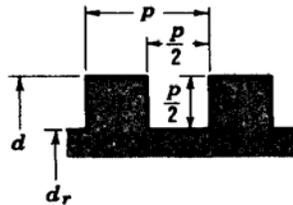
En un tornillo de *rosca doble* el avance es igual a dos veces el paso, y en uno de *rosca triple* el avance es igual a tres veces el paso. Todas las roscas que se mencionen serán del tipo de cuerda a la derecha, a menos que se indique otra cosa.

La siguiente figura presenta la configuración geométrica de las tres roscas estándar, en sistema inglés, más generalmente utilizadas.

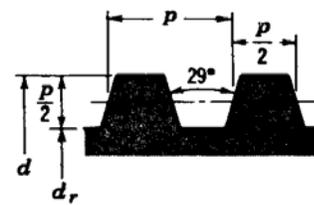
a) Rosca American National



b) rosca cuadrada



c) rosca Acme



En la figura a) se muestra la rosca estándar American *National (Unificada)* que se usa comúnmente en Estados Unidos y en Gran Bretaña para todos los productos roscados estandarizados. El ángulo de la rosca es de 60° y las crestas de los hilos pueden ser planas o redondeadas.

Las roscas de perfil cuadrado y ACME, figuras b) y c) se utilizan en tornillos para transmisión de fuerza o potencia.

Suelen hacerse modificaciones a las roscas, cuadrada y ACME. Por ejemplo, la rosca cuadrada algunas veces se modifica recortando el espacio entre filetes para tener un ángulo de rosca de 10 a 15° . Lograrlo no es difícil, pues estas roscas generalmente están hechas con una herramienta de una sola punta en cualquier caso. Con esta modificación se conserva la mayor parte de la alta eficiencia inherente a las roscas cuadradas y el tallado o corte resulta más sencillo. A veces se modifica a las roscas ACME dándoles forma achatada y haciendo los dientes más cortos, con lo que se obtiene un diámetro menor más grande y, en consecuencia, puede usarse en tornillos más fuertes.

En la siguiente página se muestra una tabla la cual será útil para la especificación y diseño de piezas roscadas. Cabe hacer la aclaración que el tamaño de rosca se especifica por el paso p , en las medidas métricas, y por el número de hilos por pulgada, N , en las medidas del sistema unificado.

Dos series principales de roscas del tipo Unificado están en uso común: UNC y UNF. La diferencia entre ellas es simplemente que un radio de raíz se debe utilizar en la serie UNC. Debido a la reducción en los factores de concentración del esfuerzo, la serie UNF tiene más altas resistencias a la fatiga. Las roscas de tipo unificado se especifican enunciando el diámetro nominal, el número de hilos por pulgada y la designación de la serie, por ejemplo, $5/8-11$ UNC o $5/8-18$ UNF.

Para especificar roscas métricas se expresan el diámetro y el paso en milímetros, en este orden. Por lo tanto, M12 X 1.75 es una rosca que tiene un diámetro mayor nominal de 12 mm y un paso de 1.75 mm. La letra M que precede al diámetro es el distintivo de la designación métrica.

TORNILLOS PARA MÁQUINA

Se definen de acuerdo con el tipo de cabezas que llevan como sigue:

Cabeza plana Este tornillo tiene una superficie plana para la parte superior de la cabeza con un ángulo de avellanado de 82°.

Cabeza redonda o de gota Este tornillo tiene una cabeza de forma semielíptica y es el normal para tornillos para máquina, este tornillo se denomina *cabeza de gota*

Cabeza cilíndrica o filister Este tornillo tiene una superficie redondeada en la parte superior de la cabeza y el resto es cilíndrico.

Cabeza ovalada Este tornillo tiene una superficie redondeada en la parte superior de la cabeza y un ángulo de avellanado de 82°.

Cabeza hexagonal Tiene una cabeza en forma de hexágono para uso con llaves exteriores. Es normal para tornillos para máquina.

Cabeza con caja Tiene una caja en la cabeza en forma de hexágono interno para llave interior

Los tornillos autoroscantes son de tres tipos:

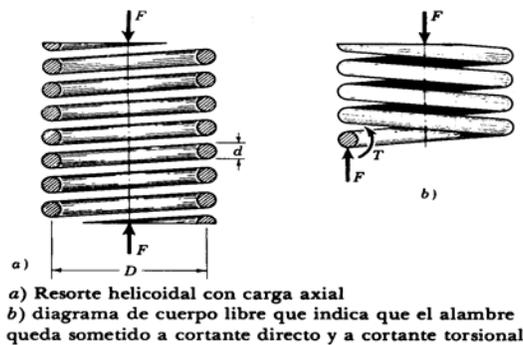
1. *Tornillos formadores de rosca* que desplazan plásticamente el material adyacente al agujero piloto.
2. *Tornillos autoroscantes cortadores de rosca* tienen bordes que cortan y cavidades para las virutas y forman una rosca hembra para quitar el material adyacente al agujero piloto. Los tornillos cortadores de rosca se usan en general para unir materiales más gruesos y más duros que requieren un par de transmisión menor que los tornillos formadores de rosca.
3. *Tornillos metálicos de clavar* se meten en el material a presión y se destinan a la formación de sujeciones permanentes.

1.8 RESORTES MECANICOS

Los resortes mecánicos se utilizan en las máquinas con objeto de ejercer fuerzas, proporcionar flexibilidad y almacenar o absorber energía. En general pueden clasificarse como de alambre, planos, o con formas especiales, teniéndose variaciones en estas divisiones.

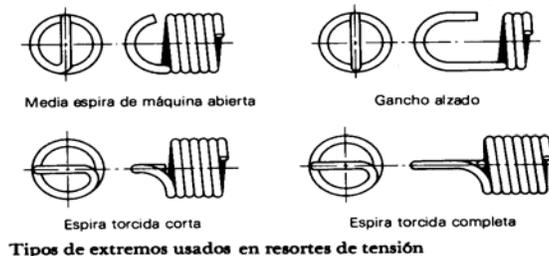
Los de alambre incluyen a los helicoidales, sean de alambre de sección circular o cuadrada, y se fabrican con el fin de resistir cargas de tensión, compresión o torsión. Dentro de los planos se incluyen los tipos en cantilever y elípticos, las muelles arrolladas del tipo de reloj.

La siguiente figura, inciso a), muestra un resorte helicoidal de compresión hecho de alambre redondo cargado con una fuerza axial F . Se designará con D al diámetro medio del resorte y con d al diámetro del alambre. Ahora imagínese que el resorte se secciona en algún punto, inciso b), se le separa una parte y se sustituye por el efecto de las fuerzas internas. Por lo tanto, como se indica en la figura, la parte seccionada ejercería una fuerza cortante directa F y un momento de torsión T en el resto del resorte. Para visualizar la torsión, hay que pensar en una manguera de jardín enrollada en espiral e imaginar que se tira del extremo libre de ella en dirección perpendicular al plano del rollo. A medida que cada vuelta de la manguera se saca de la espiral, se tuerce o gira sobre su propio eje. En forma similar, la deformación producida por la carga en un resorte de este tipo crea una torsión en el alambre del mismo.



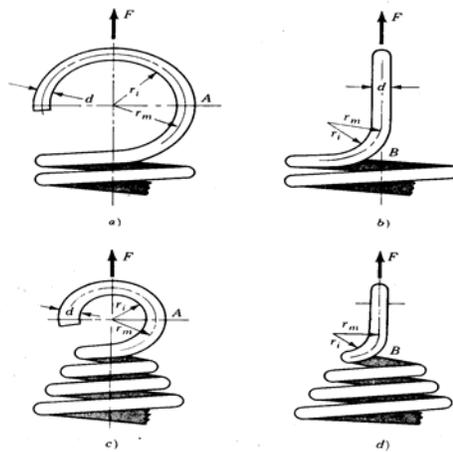
RESORTES DE TENSIÓN

Los resortes de tensión (a veces llamados también de extensión) necesariamente deben tener medios para transmitir la carga desde el soporte hasta el cuerpo del resorte. Ejemplo de estos es el de la siguiente figura.



Al diseñar un resorte con extremo de gancho debe considerarse el efecto de concentración del esfuerzo.

La siguiente figura en a) y b) se muestra un método muy utilizado para diseñar el extremo. La concentración del esfuerzo, debida a un doblar muy agudo, hace imposible diseñar el gancho con la misma resistencia que el cuerpo; en c) y d) se presenta un diseño mejorado mediante un diámetro reducido de las espiras y no por la eliminación de la concentración del esfuerzo. El diámetro menor de espiras da por resultado un esfuerzo inferior debido al brazo de palanca más corto. No es necesario un factor de concentración de esfuerzos para la componente axial de la carga.



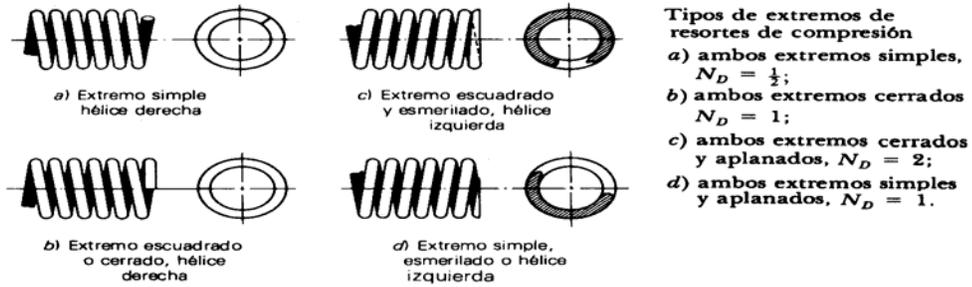
Cuando los resortes de tensión se fabrican con sus espiras en contacto, se dice que son del tipo cerrado. Los fabricantes imparten cierta tensión inicial a estos resortes con objeto de mantener la longitud libre de manera más precisa. La tensión inicial se origina en el proceso de enrollado o bobinado, torciendo al alambre a medida que se enrolla en el mandril formador. Cuando el resorte se termina y se retira del formador, la tensión inicial queda incorporada debido a que éste no puede hacerse más corto.

RESORTES DE COMPRESIÓN

Los cuatro tipos de extremos que se utilizan comúnmente en los resortes de compresión se ilustran en la siguiente figura. El tipo de extremo utilizado ocasiona espiras muertas o inactivas en cada extremidad del resorte, las que deben restarse del número total a fin de obtener el de espiras activas.

La fórmula es $N = N_t - N_d$ Donde: N = no. de espiras activas

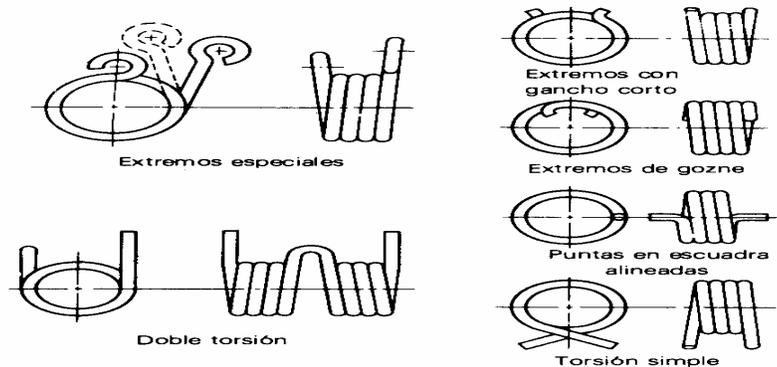
N_t = no. total de espiras; N_d = no. de espiras inactivas



La explicación de la figura anterior contiene una estimación del número de espiras muertas que puede esperarse. En el diseño de resortes se acostumbra despreciar los efectos de excentricidad de la carga debidos a las espiras de los extremos. También suele despreciarse el efecto de esfuerzos residuales, originados en el tratamiento térmico o en sobreesfuerzos. En vez de esto, ambos efectos se toman en cuenta generalmente con un aumento en el factor de seguridad. En la fabricación de resortes de compresión es práctica usual cerrarlo hasta tener su longitud maciza o cerrada; esto induce un esfuerzo remanente, de sentido contrario al esfuerzo de trabajo, y da por resultado un incremento en la resistencia del resorte.

RESORTES DE TORSIÓN HELICOIDALES

Los resortes de torsión ilustrados en la siguiente figura se utilizan en bisagras de puerta y arrancadores de automóvil y, de hecho, en cualquier aplicación donde se requiera par de torsión. Se enrollan de la misma manera que los resortes de tensión o de compresión; pero sus extremos están diseñados para transmitir momento torsionante.



Un resorte de este tipo se somete a la acción de un momento flexionante, lo cual produce un esfuerzo normal en el alambre. Obsérvese que esto contrasta con el caso de un resorte helicoidal de tensión o de compresión, en el cual la carga origina un esfuerzo torsional en el alambre. Lo anterior significa que los esfuerzos residuales ocasionados durante el enrollado del alambre están en el mismo sentido que los esfuerzos de trabajo que se producen durante la operación. Estos esfuerzos remanentes se utilizan para hacer más fuerte el resorte por oposición al esfuerzo de trabajo, siempre que la carga se aplique en todos los casos haciendo que el resorte tienda a enrollarse más. Debido a que el esfuerzo residual se opone al de trabajo, los resortes de torsión pueden diseñarse para que funcionen a niveles de esfuerzo que sean iguales o excedan a la resistencia de fluencia del alambre.

MATERIALES PARA RESORTES

Los resortes se manufacturan mediante procesos de trabajo en frío o en caliente, dependiendo del tamaño del material, el índice de resorte y las propiedades deseadas. En general, el alambre pretemplado no debe utilizarse si $D/d < 4$ o si $d > 6$ mm o 1 pulg. El devanado o enrollado de un resorte induce esfuerzos residuales por la flexión, pero éstos son perpendiculares a la dirección de los esfuerzos de trabajo torsionales en un resorte helicoidal. Con frecuencia, en la fabricación de resortes tales esfuerzos posteriores al enrollado se eliminan por medio de un tratamiento térmico suave.

Alambre de instrumento musical UNS G10850, AISI 1085

Es el mejor material, más tenaz y el más ampliamente usado para resortes pequeños. Tiene la mayor resistencia a la tensión y puede resistir mayores esfuerzos bajo cargas repetidas que cualquier otro material de resorte. Se fabrica con diámetros de 0.12 a 3 mm (0.005 a 0.125 pulg). No se emplee a más de 120 °C (250 °F) o a temperaturas bajo cero.

Alambre revenido en aceite UNS G10650, AISI 1065

Este acero para resortes de uso general se emplea en muchos tipos de resortes helicoidales, cuando el costo del alambre para cuerda musical es prohibitivo o se requieren tamaños mayores que los de éste. No se emplee con cargas de choque o impacto. Se fabrica en diámetros de 3 a 12 mm, (0.125 a 0.500 pulg), pero es posible obtener mayores y menores tamaños. No se use a más de 180 °C (350 °F), ni a temperaturas bajo cero.

Alambre estirado duro UNS G10660, AISI 1066

Es el acero de uso general de menor costo y debe utilizarse sólo donde la vida, la exactitud y la deformación no son muy importantes. Se fabrica en diámetros de 0.8 a 12 mm (0.31 a 0.500 pulg). No se emplee a más de 120 °C (250 °F) ni a temperaturas bajo cero.

Alambre el cromo vanadio

El acero aleado de uso más extenso en aplicaciones que implican esfuerzos elevados, inadmisibles en aceros al alto carbono, y de donde se necesitan resistencia a la fatiga y alta durabilidad. También sirve para cargas de choque o impacto. Es ampliamente utilizado en válvulas de motores de aviación y para temperaturas hasta de 220 °C (425 °F). Se surte en clases recocido o prerrevenido y en tamaños de 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg.) de diámetro.

1.9 BALEROS, LUBRICACION

Los cojinetes de contacto rodante (También llamados Baleros) se proyectan para soportar y ubicar los ejes o partes que giran en las máquinas. Transfieren las cargas entre los miembros rotatorios y estacionarios y permiten la rotación relativamente libre con un mínimo de fricción. Constan de *elementos rodantes* (bolas o rodillos) entre un *anillo exterior* y un *anillo interior*. Se usan las jaulas para interponer espacio entre los elementos rodantes. En la (figura 1) se ilustra la terminología común usada en la descripción de los cojinetes de contacto rodante.

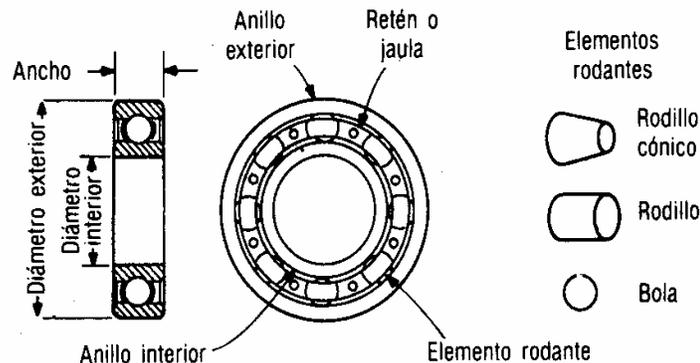


Fig. 1 Terminología del cojinete de contacto rodante.

Anillos: Los anillos interior y exterior de un cojinete de contacto rodante están hechos normalmente de acero SAE 52100, endurecido de 60 a 67 Rc. El canal de rodadura del elemento rodante está rectificadado exactamente dentro de los anillos con un acabado muy fino (16 μ pulg o menos).

Los anillos se fabrican para propósitos especiales en materiales como acero inoxidable, cerámica y plásticos. Estos materiales se usan en las aplicaciones en que la corrosión es un problema.

Elementos rodantes: Los elementos rodantes, bolas o rodillos, se hacen normalmente del mismo material y tienen el mismo acabado que los anillos. Otros materiales para elementos rodantes, como el acero inoxidable, cerámica, monel y plásticos, se usan junto con los distintos materiales para anillos en que la corrosión es un problema.

Jaulas: Las jaulas, llamadas algunas veces separadores o retenes, se emplean para proveer espacios entre los elementos rodantes. Las jaulas se proporcionan en una amplia variedad de materiales y de construcción. Las jaulas de acero prensado, de remaches o remachadas, son muy comunes. Las jaulas sólidas maquinadas se usan en donde se requieren mayores resistencias o altas velocidades. Se fabrican de bronce o de materiales del tipo plástico sintético. A altas velocidades, el tipo sintético trabaja más silenciosamente y con mínima fricción. Los cojinetes sin jaulas se denominan *complemento pleno*.

PRINCIPALES TIPOS DE COJINETES

La selección del tipo de cojinete de contacto rodante depende de muchos factores, como es evidente por los diversos tipos disponibles. Además, cada tipo básico de cojinete se proporciona en varias "series", como se ilustra en la (figura 2).

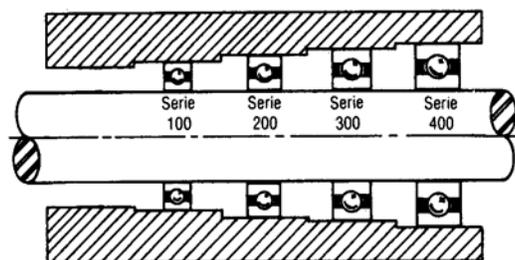


Fig. 2

Aunque el diámetro interior es el mismo, el diámetro exterior, el ancho y el tamaño de bola son progresivamente más grandes. Así, debido a la gran variación de la capacidad para soportar cargas para un tamaño determinado de eje, existe considerable flexibilidad para seleccionar los cojinetes intercambiables en tamaño de norma. Más adelante se ilustran los cojinetes más comunes y se describen brevemente sus características.

Cojinetes de bolas

De una hilera radial (Fig. 3) A este cojinete se le denomina muchas veces cojinete de ranura profunda o cojinete conrad. Disponible en muchas variaciones: protecciones o sellos sencillos o dobles. Se emplea normalmente para cargas radiales y de empuje moderado.

De máxima capacidad (Fig. 4) La geometría es similar a la del cojinete de ranura profunda excepto por un canal de llenado. Este canal permite más bolas en el complemento y, así, soportará cargas radiales más fuertes. Sin embargo, a causa del canal de llenado, se reduce la capacidad de empuje en ambos sentidos.

De doble hilera (Fig. 5) Este cojinete está provisto para cargas radiales fuertes y cargas de empuje ligeras, sin aumentar el diámetro exterior del cojinete. Es aproximadamente, de 60 a 80% más ancho que el cojinete de una hilera. A causa del canal de llenado, las cargas de empuje deben ser ligeras

De doble hilera alineamiento propio interno (Fig. 6) Este cojinete puede usarse en primer lugar para cargas radiales en donde se requiere alineamiento propio (0.003 a 0.005 pulg) No se debe abusar del alineamiento propio, pues excesivo desalineamiento o carga de empuje (11% de la radial) causa pronta falla.

Cojinete de contacto angular (Fig. 7) Estos cojinetes están proyectados para soportar cargas radiales y de empuje combinadas o cargas de empuje fuertes, lo cual depende de la magnitud del ángulo de contacto. Los cojinetes con grande ángulos de contacto pueden soportar cargas de empuje más pesadas. Pueden montarse en pares, que se denominan cojinetes dúplex: respaldo a respaldo, tándem o cara a cara.

Camisas de bolas (Fig. 8) Este tipo de cojinete se utiliza para movimientos lineales sobre ejes endurecidos (Rockwell C58 a 64), pero no para movimiento de rotación.

Cojinetes de bolas de tipo partido (Fig. 9) Este tipo de cojinete de bolas o de rodillos tiene partidos el anillo interior, el anillo exterior y la jaula. Están armados con tornillos. Este aspecto, aunque costoso, es útil, cuando es difícil instalar o cambiar un cojinete sólido.

De rodillos cilíndricos (Fig. 10) Estos cojinetes utilizan, como elementos rodantes, cilindros con relación aproximada de longitud/diámetro que varía de 1:1 a 1:3. Se usan, en general, para cargas radiales fuertes. Especialmente útiles para movimiento axial libre del eje. Los más altos límites de velocidad para los cojinetes de rodillos.

Cojinetes de aguja (Fig. 11) Estos cojinetes tienen rodillos cuya longitud es, por lo menos, cuatro veces su diámetro.

Son de más utilidad en donde el espacio es un problema. Hay con ranura interior o sin ella. Si se usa el eje como el aro interior, se debe endurecer y rectificar. El tipo de complemento pleno se usa para cargas altas, oscilantes o para bajas velocidades. El tipo de jaula se debe emplear para movimiento rotacional; no puede soportar cargas de empuje.

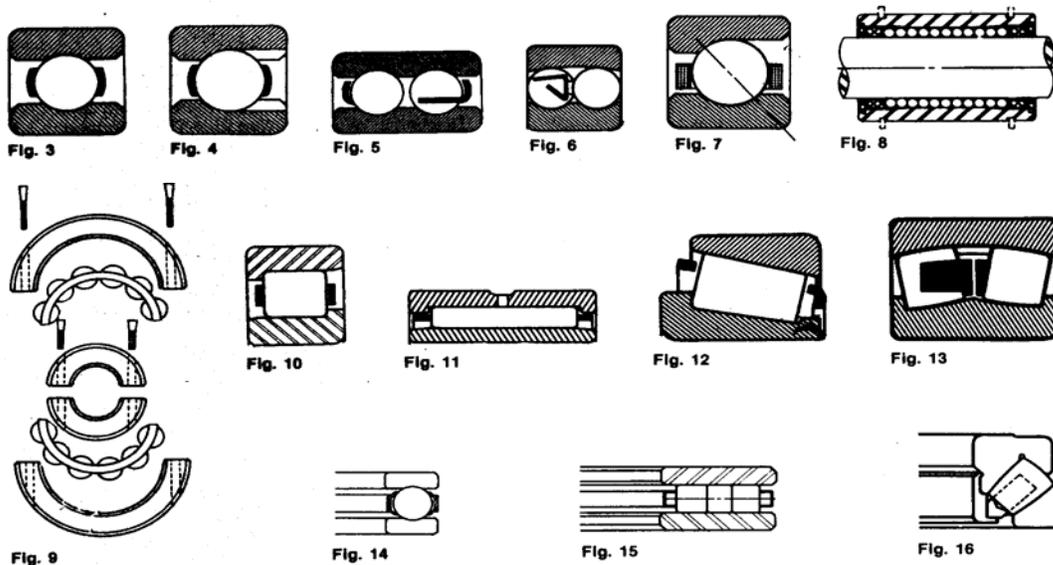
De rodillos cónicos (Fig. 12) Estos cojinetes se emplean para fuertes cargas radiales y de empuje. El cojinete se proyecta de manera que todos los elementos en la superficie de rodamiento y los canales de rodamiento hagan intersección en un punto común sobre el eje: así, se obtiene el verdadero rodamiento.

De rodillos esféricos (Fig. 13) Estos cojinetes son excelentes para cargas radiales fuertes y empuje moderado. Su característica de alineamiento propio interno es útil en muchas aplicaciones, pero no se debe abusar de ello.

Cojinete de empuje (axiales) de bolas (Fig. 14) Puede utilizarse para las aplicaciones de baja velocidad en que otros cojinetes soportan la carga radial. Estos cojinetes se fabrican con protecciones, así como del tipo abierto.

Cojinete de empuje (axiales) de rodillos rectos (Fig. 15) Estos cojinetes están hechos de una serie de rodillos cortos para reducir al mínimo el deslizamiento, que causa torcedura, de los rodillos. Pueden emplearse para velocidades y cargas moderadas.

De empuje con rodillos cónicos (Fig. 16) Elimina el deslizamiento que ocurre con los rodillos rectos, pero causa una carga de empuje entre los extremos de los rodillos y el resalto en la ranura. Así las velocidades están limitadas, a causa de que el extremo del rodillo y la brida de la ranura están en contacto deslizante.



SELECCIÓN DE UN COJINETE DE BOLAS O DE RODILLOS

Para determinar si se debe seleccionar un cojinete de bolas o de rodillos, se aplican las siguientes *reglas generales*:

1. Los cojinetes de bolas funcionan sobre el contacto teórico de puntos. Así, son más adecuados para velocidades más altas y cargas más ligeras que los cojinetes de rodillos.
2. Los cojinetes de rodillos son en general más costosos, excepto en los tamaños mayores. Puesto que funcionan teóricamente sobre contacto de líneas, soportarán cargas más fuertes, que incluyen las de choque, pero están limitados respecto de la velocidad.

LUBRICACIÓN

Los cojinetes de contacto rodante necesitan un lubricante fluido (*aceite*), para obtener o sobrepasar la vida nominal. En ausencia del ambiente de alta temperatura, sólo se requiere una pequeña cantidad de lubricante para rendimiento excelente. El exceso de lubricante causa el calentamiento del cojinete y acelera el deterioro del lubricante.

En las prácticas de ingeniería suele ser deseable proyectar un mecanismo para que funcione con una película de líquido que separe las superficies. Esta *lubricación hidrodinámica* ocurre cuando las presiones desarrolladas en una película convergente de líquido son suficientes para soportar la carga sobre los cojinetes. Cuando las cargas sobre los cojinetes son elevadas, el espesor de la película se puede reducir al tamaño de las asperezas de la superficie. La viscosidad del lubricante en sí se puede afectar por condiciones de funcionamiento tales como la presión de película, temperatura y velocidad cortante. Cualquiera de estos factores puede influir en el sistema hidrodinámico. Para que exista un estado hidrodinámico, la combinación de velocidad, carga y viscosidad del lubricante debe estar dentro de una gama bastante amplia, pero definida. El aumento en la velocidad o en la viscosidad produce una película más gruesa; si se aumenta la carga se reduce el espesor de la película en un cojinete dado. Los cojinetes se construyen para permitir la conservación de una película de líquido en la mayoría de las condiciones usuales de funcionamiento. Sin embargo, cuando el movimiento entre las superficies de cojinetes y apoyo se aproxima a cero (durante el arranque y la parada), cuando se aplican severas cargas de choque o cuando se reduce la viscosidad, no se puede mantener la totalidad de la película entre el muñón (apoyo) y el cojinete y ocurre contacto de metal a metal.

En estas condiciones de lubricación marginal, se utilizan aditivos suaves para extrema presión (EP) para dar cierta medida de seguridad.

El tratamiento clásico de la lubricación hidrodinámica supone que las superficies de cojinete y apoyo son geoméricamente lisas y que los lubricantes y las superficies no se afectan con los esfuerzos aplicados. En el otro extremo, en la *lubricación marginal*, las superficies sólidas no están en contacto continuo ni soportan la carga por completo. En la *lubricación real* con líquido es muy poco probable que prevalezca ninguno de los dos extremos y no se debe de olvidar la interacción de las superficies.

A menudo, en la práctica, los regímenes de funcionamiento son en condiciones en las cuales las películas hidrodinámicas tienen una delgadez suficiente para permitir que interactúen las la zona de contacto. Por tanto, la superficie de contacto depende de la deformación de las superficies de soporte de carga. Aunque las cargas puedan ser elevadas, por lo general existe una película delgada entre las superficies "en contacto". La película se llama *película elastohidrodinámica (EHD)*. La formación de esa película depende de dos factores de dependencia mutua: las propiedades hidrodinámicas del líquido y la deformación de los puntos de contacto y apoyo.

El lubricante sirve para varias funciones:

- 1) Lubricar los puntos de contacto y componentes rotatorios y deslizables
- 2) Permitir el enfriamiento;
- 3) Evitar la herrumbre de las superficies altamente pulidas
- 4) Evitar rayaduras y desgaste
- 5) Servir como sello contra la humedad y la mugre

La selección de grasa o aceite como lubricante se debe basar en:

- 1) Temperatura;
- 2) Velocidad;
- 3) Carga;
- 4) Método de aplicación;
- 5) Sellado;
- 6) Tamaño del cojinete;
- 7) Tipo de servicio.

Por lo general se recomienda la lubricación con aceite cuando el funcionamiento a altas temperaturas y alta velocidad requiere enfriamiento y circulación.

El aceite para la lubricación de cojinetes de bolas y rodillos debe ser resistente a la degradación. Si las condiciones lo aconsejan, se pueden usar aditivos para protección contra la herrumbre, inhibición de la corrosión, extrema presión, detergencia y otras propiedades especiales. La viscosidad del aceite depende de los sellos, la velocidad y la temperatura de funcionamiento. Los métodos para el suministro de aceite incluyen salpicado, aspersión, o nebulización, un chorro continuo de aceite, goteo o presión.

Aplicaciones Industriales Muchos aceites industriales se refuerzan o modifican con aditivos, por lo general compuestos químicos que mejorarán alguna propiedad o impartirán nuevas características.

En general, los modificadores de lubricantes son de dos clases generales:

- 1) Los que afectan una característica física, tal como el índice de viscosidad o el punto de fluidez y
- 2) Aquellos cuya influencia final es de naturaleza química, tales como inhibidores de oxidación y corrosión o los detergentes.

Los aditivos no transforman un aceite malo en un producto de alta calidad; es necesario que el lubricante básico sea de calidad. Los aditivos en los aceites industriales tienen en cuenta los diferentes niveles de temperatura y las condiciones de operación.

La *grasa* Se usa comúnmente para lubricar los cojinetes de contacto rodante, debido a que es conveniente y requiere mínimo mantenimiento. La selección de la grasa adecuada depende de la carga, velocidad, temperatura, método de aplicación, presencia de humedad y diseño de la caja o jaula del cojinete. Las grasas de uso más común son las de litio.

Una grasa NLG1 2 (la anterior nomenclatura variará de acuerdo a catálogo de diferentes marcas, como por ejemplo: Mobil, Esso, Quaker State, etc.) de base litio, de alta calidad, debe utilizarse en temperaturas hasta de 180 °F (82 °C).

1.10 SOLDADURA

En la actualidad, en las operaciones de manufactura se utilizan mucho los procesos de unión de piezas denominados *soldadura* directa o con metal de aporte. Probablemente, siempre que deban montarse o ensamblarse las partes de un dispositivo se tendrá que considerar este proceso en el trabajo de diseño preliminar.

Generalmente, para fabricar piezas soldadas se sujeta en determinada posición un conjunto de elementos de acero laminado en caliente, de contenido mediano o bajo de carbono, y cortados, según configuraciones particulares antes de proceder a soldar.

PRINCIPIOS DE SOLDADURA

La soldadura se produce mediante calentamiento a temperaturas convenientes, con aplicación de presión o sin ella y con utilización de metal de relleno o sin él. El metal de relleno puede tener, aproximadamente, el mismo punto de fusión que los metales base, o puede tener un punto de fusión inferior pero arriba de $427\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tipos básicos de *soldaduras de arco* y *con gas* se muestran en sección transversal en la Fig. 1, arriba; abajo se indican las juntas usadas comúnmente en la fabricación con placa y lámina.

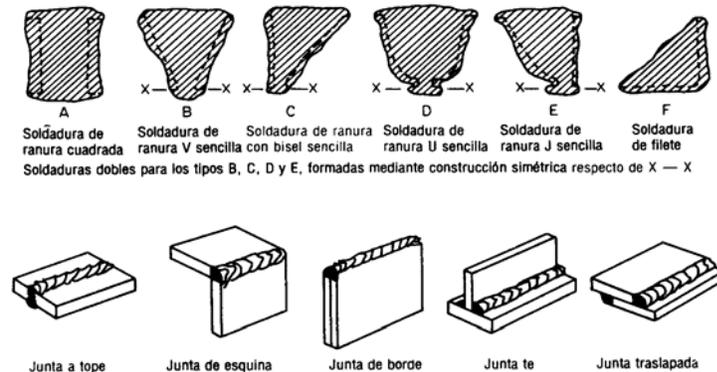


Fig. 1 Algunos tipos de soldaduras (arriba) y de juntas (abajo).

En la Fig. 2 se dan las dimensiones típicas de preparación de bordes de placa, para hacer juntas a tope con seis tipos de soldadura de ranura, depositadas por el proceso manual de arco metálico protegido. Este proceso es el que más se usa en la industria.

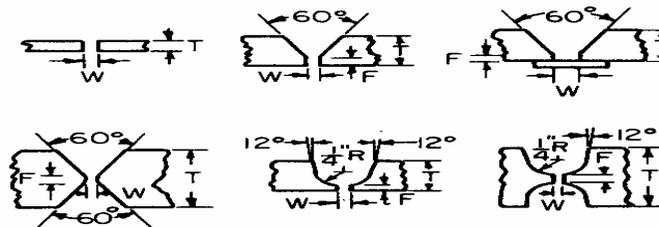


Fig. 2 Soldaduras de ranura para soldadura manual de arco metálico protegido. Las dimensiones en pulgadas se muestran en la tabla inmediatamente abajo.

Ranura	1	2	3	4	5	6
T	1/8 - 3/16	1/4 en adelante	1/4 en adelante	1/2 en adelante	3/8.	3/4 en adelante
W	0 - 1/16	0 - 3/16	3/16 - 1/4	0 - 3/16	0 - 1/16	0 - 1/16
F		0 - 1/16	0 - 1/16	0 - 1/16	1/8 + - 1/32	1/8 + - 1/32

La base para diseñar ranuras de soldadura es proveer una forma y tamaño de abertura que capacite un depósito sano de metal de relleno, en condiciones especificadas, con economía máxima. Para otros procesos de soldadura que emplean metales de relleno, las dimensiones de ranura pueden ser distintas de las que se muestran en la Fig. 2.

Por ejemplo, en soldadura de arco sumergido, hay mayor entrada de energía y es posible la penetración más profunda. Por tanto, se requieren ranuras menores para soldar. Para establecer el método de dibujo uniforme y simple, la AWS ha normalizado los símbolos de soldadura y la ANSI los ha aceptado.

SOLDADURA DE ARCO

Los procesos de más importancia son el arco metálico protegido, la soldadura de arco sumergido, la soldadura de arco con gas tungsteno, la soldadura de arco metálico con gas y la soldadura de puntos con arco. Hay otros procesos; algunos con variaciones.

En todos estos casos, se mantiene un arco entre el electrodo y las piezas de trabajo (o entre dos electrodos), que forman las terminales de un circuito eléctrico. El empleo de corriente directa o alterna puede depender del proceso, del metal de relleno, del tipo de protección, del metal base o de otros factores. Los procesos de soldadura pueden ser manuales, semiautomáticos o automáticos.

Arco de soldadura Más que una fuente de calor, el arco es una mezcla compleja de partículas de gas ionizado aceleradas a través de un campo eléctrico, limitado por su campo magnético y que ejerce un profundo efecto en la transferencia del metal de relleno. El comportamiento del arco depende del metal de relleno, del metal base, del tipo de protección, de las características del circuito y de otros factores.

Arco de Corriente Directa de electrodo desnudo Se libera más calor en la terminal positiva (ánodo) que en la terminal negativa (cátodo); en un arco de Corriente Alterna, el color es, aproximadamente, el mismo en ambas terminales. La polaridad del electrodo afecta no sólo la entrada de calor, sino la penetración de la soldadura, la fluidez y la transferencia de metal. Por su acción en el arco, los fundentes y los gases de protección mejoran, retardan o regulan estos efectos. En la soldadura de arco de CD, *Polaridad Directa* significa que el electrodo está en la terminal negativa; y *Polaridad Inversa*, que está en la terminal positiva. La otra terminal, en cada caso, se conecta a la pieza de trabajo.

Hay una relación directa entre la longitud del arco y el voltaje del arco; tanto más largo sea el arco, más alto es el voltaje. La relación precisa depende de las condiciones del arco, es decir, arcos metálicos desnudos, arcos con electrodos cubiertos, arcos sumergidos o arcos en atmósferas de gases. Según estas condiciones, hay diversas longitudes de arco para lograr condiciones óptimas de soldadura.

Las *máquinas para soldadura de arco* pueden ser conjuntos motogenerador, conjuntos de rectificador, transformadores o generadores impulsados por motores primarios comunes. Los conjuntos motogenerador constan de un generador de CD para soldar, conectado a un motor de CA o CD. Los conjuntos de rectificador emplean un transformador reductor de una fase o de tres fases, cuya salida es alimentada a los rectificadores para producir corriente directa. Las máquinas para soldar de transformador son transformadores reductores monofásicos que suministran energía de CA para soldar. Las unidades de motogenerador, rectificador y de transformador, se usan en los talleres y en las localidades de campo en donde existen líneas de energía. Las máquinas impulsadas con motor (de combustión interna) se usan en el trabajo de campo, en donde no se dispone de líneas de energía.

La *protección* sirve para separar el oxígeno y el nitrógeno del aire del arco y del metal, con lo cual se evita la formación de óxidos y nitruros que disminuyen la ductilidad del metal de soldadura y, algunas veces, la resistencia. La protección puede lograrse por:

- 1) Aplicando una cubierta de fundente (generalmente extruido) sobre el alambre del núcleo,
- 2) Un fundente pulverizado acumulado sobre el área de soldadura y el extremo terminal del electrodo,
- 3) Un flujo de gases inertes o activos, o mezclas de gases, proyectados alrededor del arco y metal fundido.

Las *cubiertas del electrodo* sirven para varios propósitos:

- 1) para facilitar el establecimiento y mantenimiento del arco;
- 2) para proteger del aire al metal fundido;
- 3) para proveer fundente de los metales que se funden, particularmente con los metales no ferrosos;
- 4) para proveer un medio de introducir elementos de aleación no contenidos en los alambres de núcleo.

La AWS ha publicado una serie de especificaciones de norma acerca de estos electrodos. La Especificación para Electrodos Cubiertos para Soldadura de Arco de Acero. La adaptabilidad es la capacidad de un electrodo para pasar la prueba de soldadura de filete, cuando se usa en las posiciones y con el tipo de corriente para los que está destinado. La sanidad se basa en la comparación de las radiografías de metal fundido con las gráficas de porosidad de la norma. El tipo de cubierta y su condición, cuando se usa, son los factores fundamentales que determinan la adaptabilidad y sanidad.

Las 12 clasificaciones se subdividen en dos grupos: la serie E60XX y la serie E70XX. Por ejemplo, en la designación E6010, "E" designa un electrodo, los primeros dos dígitos indican la resistencia mínima de tracción en miles de lb/pulg² del metal depositado en la condición como resulta en la soldadura, el tercer dígito indica la posición en que el electrodo es capaz de hacer soldaduras satisfactorias, y el último dígito designa el tipo de cubierta sobre el electrodo y el tipo de corriente con la que se va a usar. Las diferencias principales entre la serie E60XX y la serie E70XX son las propiedades mecánicas indicadas en la siguiente tabla y la ausencia de requerimientos químicos para la serie E60XX.

1.11 METALES FERROSOS Y NO FERROSOS

ACEROS AL CARBONO Son muy satisfactorios donde la resistencia y otros requisitos no son muy severos. Estos aceros se utilizan también con todo éxito a las temperaturas comunes y en atmósferas que no son altamente corrosivas, pero su templabilidad relativamente baja limita la resistencia que puede obtenerse, excepto en secciones regularmente delgadas. Casi todos los aceros endurecidos se revienen para reducir las tensiones internas. Los aceros al carbono muestran una marcada suavidad con el incremento de la temperatura de revenido. Este comportamiento disminuirá su aplicabilidad para piezas que requieren dureza por arriba de la temperatura ambiente. La mayoría de las limitaciones de los aceros al carbono pueden vencerse mediante el uso de elementos de aleación.

Algunas veces, los aceros se clasifican con base en el amplio rango de contenido de carbono, como sigue:

Acero de bajo carbono: Hasta 0.25% de carbono;

Acero de medio carbono: De 0.25 a 0.55% de carbono y

Acero de alto carbono: Más de 0.55 % de carbono.

ACERO ALEADO Puede definirse como aquel cuyas propiedades características se deben a algún elemento diferente del carbono. Aunque todos los aceros al carbono contienen moderadas cantidades de manganeso (hasta del 0.90%) y silicio (hasta del 0.30%) no se consideran aleados, porque la función principal del manganeso y del silicio es actuar como desoxidadores. Ellos se combinan con el oxígeno y con el azufre, para reducir el efecto nocivo de dichos elementos.

Propósito de la aleación: Los elementos de aleación se añaden a los aceros para muchos propósitos, entre los cuales los más importantes son:

1. Aumentar la templabilidad
2. Mejorar la resistencia a temperaturas comunes
3. Mejorar las propiedades mecánicas tanto a altas como a bajas temperaturas
4. Mejorar la tenacidad a cualquier dureza o resistencia mínima
5. Aumentar la resistencia al desgaste
6. Aumentar la resistencia a la corrosión
7. Mejorar las propiedades magnéticas

Los elementos de aleación pueden clasificarse de acuerdo con la forma en que se distribuyan en los dos constituyentes principales de un acero recocido.

Aceros al níquel: (serie 2xxx) El níquel es uno de los más viejos y el más fundamental de los elementos de aleación de los aceros. Tiene ilimitada solubilidad en el hierro, contribuye a la resistencia y tenacidad. Además, disminuye las temperaturas críticas del acero, amplía el intervalo de temperatura para un tratamiento térmico exitoso, por tanto, la estructura de los aceros no endurecidos al níquel contiene mayor porcentaje de perlita que los aceros al carbono tratados de manera similar. Como la perlita se forma a una temperatura menor, es más fina y tenaz que la de los aceros no aleados.

Aceros al cromo: (serie 5xxx) El cromo es un elemento de aleación menos costoso que el níquel y forma carburos simples o carburos complejos. Estos carburos tienen alta dureza y buena resistencia al deterioro. El cromo es soluble hasta en 13% en hierro.

En los aceros de bajo carbono, el cromo tiende a entrar en la solución, incrementando de esta manera la resistencia y la tenacidad de la ferrita. Cuando el cromo está presente en cantidades que exceden al 5%, las propiedades a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión del acero se ven ampliamente mejoradas.

Los aceros al cromo de la serie 51xx contienen entre 0.15 y 0.64% de carbono y de 0.70 a 1.15% de cromo. Los aceros aleados de bajo carbono de esta serie generalmente se carburizan (introducción de carbón en una aleación sólida ferrosa). La presencia del cromo aumenta la resistencia al desgaste de la superficie endurecida, pero la tenacidad en la parte interna no es tan alta como en los aceros al níquel. Al medio carbono, estos aceros son endurecibles en aceite y se utilizan para resortes, tornillos para motores, pernos, ejes, etc. Un acero aleado (52100) al alto carbono (1 %) y al alto cromo (1.5 %) se caracteriza por la gran dureza y resistencia al desgaste. Este acero se utiliza ampliamente para cojinetes de bolas y rodillos y para maquinaria de trituración. Un tipo especial de acero al cromo con 1 % de carbono y de 2 a 4% de cromo tiene excelentes propiedades magnéticas y se emplea para imanes permanentes.

Los aceros al alto cromo que contienen más de 10% de cromo son notables por su alta resistencia a la corrosión

Aceros al níquel-cromo: (serie 3xxx) En estos aceros, la razón de níquel a cromo es de aproximadamente 2½ partes de níquel por una parte de cromo. Una combinación de los elementos de aleación generalmente presenta algunas de las propiedades características de cada uno. El efecto del níquel de aumentar la tenacidad y la ductilidad se combina con el efecto del cromo de mejorar la templabilidad y la resistencia al desgaste. Es importante recordar que el efecto combinado de dos o más elementos de aleación sobre la profundidad y distribución de la dureza suele ser mayor que la suma de los efectos de los mismos elementos de aleación utilizados por separado.

Los aceros aleados al níquel-cromo de bajo contenido de carbono se carburizan (introducción de carbón en una aleación sólida ferrosa). El cromo proporciona la resistencia al desgaste de la superficie endurecida, mientras que ambos elementos de aleación mejoran la tenacidad de la porción interna.

Con 1.5% de níquel y 0.60% de cromo: (serie 31xx) Se utilizan para formar engranes helicoidales, pernos para pistón, etc.

Con 3.5% de níquel y 1.5% de cromo: (serie 33xx). Los aceros al níquel-cromo de contenido medio de carbono se utilizan en la manufactura de bielas automotrices y flechas de transmisión. Para aplicaciones de trabajo pesado, como engranes para avión, flechas y levas.

Aceros al manganeso: (serie 31xx) El manganeso es uno de los elementos de aleación menos costosos y está presente en todos los aceros como desoxidador; asimismo, reduce la tendencia a la *fragilidad en caliente* (fragilidad al rojo), resultante de la presencia del azufre, permitiendo de ese modo que el metal se trabaje en caliente.

Aceros al molibdeno (serie 4xxx) El molibdeno es un elemento de aleación relativamente costoso, tiene una solubilidad limitada en hierros y es un fuerte formador de carburo. Además, ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad. Y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Los aceros con molibdeno son menos susceptibles al fragilizado, debido al revenido, que los demás aceros aleados

Aceros al molibdeno: (series 40xx y 44xx) Con bajo contenido de carbono generalmente se carburizan (introducción de carbón en una aleación sólida ferrosa) y se emplean para flechas ranuradas, engranes de transmisión y aplicaciones similares en que no son tan severas las condiciones de servicio. Con mayor contenido de carbono, se han utilizado para resortes de suspensión y muelles para automóviles.

Aceros al cromo-molibdeno: (serie 41xx) Son relativamente baratos y poseen buenas características de endurecido profundo, de ductilidad y de capacidad para soldarse. Se han empleado ampliamente para recipientes sujetos a presión, partes estructurales de los aviones, ejes de automóviles y para aplicaciones semejantes.

Aceros al níquel-molibdeno: (series 46xx y 48xx) Tienen la ventaja de la alta resistencia y ductilidad del níquel, combinada con templabilidad profunda y la maquinabilidad mejorada, que proporciona el molibdeno. Tienen buena tenacidad, combinada con alta resistencia a la fatiga y resistencia al desgaste. Se utilizan para engranes de transmisión, pernos de las cadenas, flechas y cojinetes.

Aceros al níquel-cromo-molibdeno: Triplemente aleados (series 43xx y 47xx) tienen las ventajas de los aceros al níquel-cromo, conjuntamente con la alta templabilidad proporcionada por el molibdeno.

Se usan mucho en la industria aeronáutica para las partes estructurales del ensamble de las alas, fuselaje y tren de aterrizaje.

Aceros al tungsteno: El tungsteno tiene un marcado efecto sobre la templabilidad. En general, el efecto del tungsteno en el acero es similar al del molibdeno, aunque se requieren mayores cantidades. Aproximadamente 2 a 3% de tungsteno equivale a 1% de molibdeno, como el tungsteno es relativamente costoso y se necesitan grandes cantidades para obtener un efecto apreciable, generalmente no se utiliza para aceros empleados en ingeniería. El tungsteno se usa principalmente en aceros para herramientas.

Aceros al vanadio: El vanadio es el más costoso de los elementos comunes de aleación. Es un potente desoxidador y un fuerte formador de carburo, el cual inhibe el crecimiento de grano. Las adiciones de vanadio de 0.05% producen una pieza de fundición sin defectos, uniforme y de grano fino. Cuando se disuelve el vanadio tiene un marcado efecto sobre la templabilidad y proporciona altas propiedades mecánicas al enfriamiento con aire. Por tanto, los aceros al carbono-vanadio se utilizan para las grandes forjas de locomotoras y maquinaria, las cuales se normalizan.

Aceros al cromo-vanadio al bajo carbono: (serie 61xx) se utilizan en la condición de endurecimiento superficial en la manufactura de pernos y cigüeñales. Los aceros al cromo-vanadio de *medio carbono* tienen alta tenacidad y resistencia y se emplean para ejes y resortes. Los grados con *alto carbono*, gran dureza y resistencia al desgaste se emplean para cojinetes y herramientas.

Aceros al silicio: (serie 92xx) El silicio, como el manganeso, está presente en todos los aceros como un desoxidador barato. Cuando un acero contiene más del 0.60% de silicio, se clasifica como acero al silicio. Al igual que el níquel, el silicio Un acero que contiene 1 a 2% de silicio, conocido como acero naval, se utiliza para aplicaciones estructurales que requieren un alto punto de cedencia. El acero *Hadfield* al silicio, con menos del 0.01% de carbono y como 3 % de silicio, tiene excelentes propiedades magnéticas para emplearlas en los núcleos y polos de la maquinaria eléctrica como por ejemplo los transformadores.

Aceros inoxidables: Estos aceros tienen aplicaciones resistentes a la corrosión y al calor. La propiedad de resistencia a la corrosión se debe a una película delgada, adherente, estable de óxido de cromo o de óxido de níquel que protege efectivamente al acero contra muchos medios corrosivos. Esta propiedad no es evidente en los aceros estructurales al bajo cromo y existe sólo cuando el contenido de cromo excede al 10%.

METALES NO FERROSOS

Latón fundido: Es el *latón plomado rojo*(85Cu-5Sn-5Pb-5Zn), El cual se utiliza para piezas fundidas en general, que requieren propiedades de regular resistencia, pocos defectos internos y buena maquinabilidad, tales como válvulas para bajas presiones, accesorios para tubería, engranes pequeños y piezas fundidas para bombas pequeñas.

Bronces en general: El término *bronce* se aplicó originalmente a las aleaciones *cobre-estaño*; sin embargo, ahora el término se emplea para designar cualquier aleación de cobre, con excepción de las de cobre-zinc, que contienen hasta aproximadamente 12% del elemento principal de aleación.

Como nombre, el bronce lleva la idea de una aleación de mayor clase que el latón y se ha aplicado incorrectamente a algunas aleaciones que son realmente latones especiales. Los bronce comerciales son sobre todo aleaciones de *cobre y estaño, aluminio, silicio o berilio; además, pueden contener fósforo, plomo, zinc o níquel.*

Bronces al estaño: Estos generalmente se refieren a *bronces al fósforo*. Los bronce al fósforo se caracterizan por tenacidad, alta resistencia a la corrosión, bajo coeficiente de fricción y libertad de presencia de fisuras por esfuerzo de corrosión. Se utilizan ampliamente para diafragmas, fuelles, arandelas de sujeción, seguros, bujes, discos de embrague y resortes.

Algunas veces, el zinc se emplea para sustituir parte del estaño, cuyo resultado es una mejoría en las propiedades de las piezas fundidas y en la tenacidad con poco efecto sobre la resistencia al desgaste.

Generalmente se añade plomo al bronce y al estaño a fin de mejorar la maquinabilidad y la resistencia al desgaste. El bronce al estaño al alto plomo puede contener 25% de plomo. Las aleaciones que contienen plomo se utilizan para bujes y cojinetes sujetos a cargas moderadas o ligeras.

Bronces al silicio: Los bronce al silicio son los más fuertes de las aleaciones al cobre endurecibles por trabaja. Tienen propiedades mecánicas comparables a las de los aceros al medio carbón y resistencia a la corrosión comparable a la del cobre. Se utilizan para tanques, recipientes de presión, construcción marina y conductos hidráulicos sujetos a presión.

Bronces al aluminio: La mayoría de los bronce al aluminio comerciales contienen entre 4 y 11 % de aluminio. Los bronce al aluminio muestran buenas propiedades de trabajado en frío y gran resistencia, combinadas con resistencia a la corrosión por ataque atmosférico y por agua. Se utilizan en tubos para condensador, piezas trabajadas en frío, recipientes que resisten la corrosión, tuercas y tornillos, y cubiertas de protección en aplicaciones marinas. Los bronce al aluminio son interesantes porque se pueden tratar térmicamente a fin de obtener estructuras semejantes a aquellas que hay en el acero. Tratados térmicamente se utilizan para engranes, ejes motrices, aletas, piezas de bombas, cojinetes, bujes, herramientas que no formen chispas y dados para estiramiento y formado.

Aluminio: La característica más conocida del aluminio es su peso ligero y su densidad; que viene siendo como una tercera parte de la del acero o de las aleaciones al cobre. Ciertas aleaciones al aluminio tienen mejor proporción resistencia al peso que la de los aceros de alta resistencia. El aluminio tiene buena maleabilidad y formabilidad, alta resistencia a la corrosión y gran conductividad eléctrica y térmica. Una forma de aluminio ultrapuro se utiliza para reflectores fotográficos con el fin de aprovechar sus características de alta reflectividad a la luz y de la no decoloración superficial. El aluminio no es tóxico, ni magnético y no produce chispa, la característica no magnética hace al aluminio útil para diversos fines de protección eléctrica, como cajas para barras conductoras o cubiertas para equipo eléctrico.

Aunque la conductividad eléctrica del aluminio de la clase conductor eléctrico (EC) es como el 62% que la del cobre, su peso ligero lo hace más apropiado como conductor eléctrico para muchas aplicaciones industriales.

CAPITULO 2. FALLAS EN LA MAQUINARIA

La maquinaria o equipo mismo se vuelve una fuente más o menos importante de fallas, dependiendo de las propiedades eléctricas, mecánicas y electrónicas de sus partes; la calidad de los materiales empleados en ella; la sencillez del diseño y por último, la calidad de su instalación en el lugar a donde va a prestar el servicio.

El ambiente circundante se torna una fuente de fallas cuando es agresivo a la maquinaria, por ejemplo, humedad y temperatura fuera de especificaciones, polvo, humo, salinidad o acidez, etc. Es necesario construir un ambiente adecuado para la maquinaria en cuestión a fin de reducir al mínimo las fallas por este concepto.

El personal que en él interviene, se comporta como una fuente de fallas cuando sus habilidades de pensamiento lógico y manuales son de baja calidad; también, cuando no conoce en forma plena el equipo que va a mantener, en este caso hablamos exclusivamente del personal de mantenimiento, ya que es el que tiene necesidad de intervenir en forma más directa en los equipos. La mano de obra de mantenimiento debe ser cuidadosamente considerada a fin de adecuarla en cantidad y calidad, pues es tan negativo que haga falta ésta, como que sobre, ya que en ambos casos baja la calidad del servicio que proporcionan las máquinas mantenidas. Siempre habrá un punto óptimo en la cantidad de horas-hombre necesarias para conseguir la mejor calidad de servicio o funcionamiento.

Otro tipo de personal que interviene en los equipos o máquinas es el de operación o sea aquel que las maneja; por ejemplo, en grandes talleres donde se tengan tornos el personal de mantenimiento los atenderá bajo este punto de vista; pero, el personal de operación (el tornero) que es el que lo utiliza, también será una fuente de fallas si maneja mal su maquinaria; es obvio que esto sucede generalmente por ignorancia.

El tercer tipo de personal que también origina fallas es el que las construye, o sea, aquel que tiene que intervenir en las máquinas para modificar su diseño, ampliarlas o simplemente interrelacionarlas con otras. En cualquier caso, el personal de mantenimiento será, el responsable de la buena conservación de la maquinaria o equipo. Es inadmisibles suponer que tiene prioridad con respecto a las labores de mantenimiento alguna ampliación o reconstrucción, o simplemente alguna operación a no ser que se trate de alguna emergencia.

Todo lo anterior nos hace pensar en el principio esencial del mantenimiento, y éste es: *"Toda maquinaria debe ser intervenida lo menos posible"*.

Esto nos lleva al punto de vista de que los equipos o máquinas deben estar preferiblemente aisladas del elemento humano, el cual hará sus programas de trabajo con base a las políticas de intervención y para el personal de mantenimiento son éstas:

- a) El servicio que proporciona el equipo tiene prioridad ante todas las demás labores de mantenimiento.
- b) Deben hacerse constantes análisis de verificación del equipo en conjunto desde el punto de vista del que lo opera.
- c) Deben hacerse excepcionalmente pruebas y verificaciones sobre el comportamiento del equipo (en conjunto o algunas de sus partes) para comprobar que éste puede trabajar, aun en situaciones de compromiso.
- d) Toda intervención a un equipo debe estar basada en un diagnóstico.
- e) Todo diagnóstico debe estar basado en pruebas y análisis minuciosos.
- f) Para las labores de mantenimiento correctivo y de planeación del mantenimiento, solamente se empleará personal hábil para el diagnóstico.
- g) Para las labores de mantenimiento preventivo, debe emplearse personal con habilidad manual.

El segundo punto nos da la base del mantenimiento preventivo, que consiste en establecer una serie de controles que nos permitan detectar que la maquinaria está dando el rendimiento previsto y que ésta no sobrepasa los límites de tolerancia establecidos previamente por el fabricante; pero hacemos hincapié en que debe juzgarse con un criterio de usuario del servicio.

Por ejemplo, los programas modernos de mantenimiento para centrales telefónicas automáticas, están integrados por una serie, más o menos grande, de verificaciones que indican al personal de mantenimiento cómo se están comportando aquéllas con respecto a los usuarios; mientras este comportamiento esté dentro de los límites de calidad preestablecidos, dicho personal no efectúa ninguna labor en el equipo; pero, cuando las verificaciones o inspecciones indiquen que los usuarios empiezan a tener una baja en la calidad de su servicio, el personal de mantenimiento hace un mayor número de verificaciones y pruebas, hasta diagnosticar en qué parte del equipo se está generando una falla, por lo que hasta este momento el personal interviene en el mismo.

Los trabajos de mantenimiento exigen calidad y, sobre todo, la aplicación de un amplio criterio económico, pues en ocasiones es preferible cambiar una parte de una máquina (aunque esto a primera vista parezca muy costoso) que cambiar, por creerlo más económico, una pequeña pieza que no garantice que la máquina pueda continuar trabajando sin interrupción, También existen ocasiones en que es necesario ejecutar una reparación de emergencia, pero de buena calidad a fin de programar posteriormente una reparación adecuada pues de otra forma quizá se vería demasiado afectado el servicio.

Por lo tanto, para que el personal de mantenimiento consiga un criterio adecuado, sustentado sobre bases firmes, es necesario establecer en primer lugar políticas que determinen aunque de una manera general, cómo debe actuarse en los casos más comunes del mantenimiento. Después del establecimiento de estas normas, se hace necesario sistematizar el trabajo de mantenimiento.

2.1 ANÁLISIS DE LAS CAUSAS QUE PRODUCEN FALLAS

Cuando se consideran los muchos millones de piezas metálicas que se fabrican y ponen en servicio, no es raro que algunas fallaran prematuramente. Simplemente desde el punto de vista estadístico, no es razonable con la práctica de la Ingeniería no esperar fallas; sin embargo, aunque el número de fallas de una componente dada sea pequeño son importantes porque pueden afectar el prestigio del fabricante en cuanto a confiabilidad. En algunos casos sobre todo cuando la falla causa lesiones o muerte, origina costosos litigios. Para los fabricantes de automóviles bajo el estímulo y la publicidad de los fieles guardianes del consumidor, no es raro devolver a la fábrica millones de vehículos para corregirles un defecto de diseño o de tratamiento térmico, aun cuando el número real de fallas fuera mínimo.

Concentración de esfuerzos En una estructura o parte de máquina que tenga una muesca, o cualquier cambio brusco de sección transversal, el esfuerzo máximo ocurrirá en esa localización y será mayor que el esfuerzo calculado por las formulas elementales basadas en las suposiciones simplificadas acerca de la distribución de esfuerzos. La concentración de esfuerzos causará la falla de los materiales quebradizos si el esfuerzo concentrado es mayor que la resistencia última del material. En los materiales dúctiles los esfuerzos concentrados mayores que la resistencia de fluencia causarán en general, una deformación plástica local y redistribución de esfuerzos haciéndolos más uniformes.

Fractura a bajos esfuerzos Los materiales en tracción fallan a veces por rápida fractura muy abajo del grado de resistencia que se determinó en ensayos de probetas cuidadosamente preparadas. Estas fallas quebradizas e inestables se originan en defectos preexistentes, concentradores de esfuerzos que pueden ser inherentes en un material.

A continuación se explicarán brevemente las principales causas que producen fallas en los metales y se ilustrarán algunas de ellas mediante ejemplos.

Procedimiento En cualquier análisis de las causas que producen fallas es importante obtener tantos datos como sean posibles de la propia pieza que falló, además de examinar las condiciones en el momento en que se produjo la falla. Algunas preguntas que deben hacerse son:

1. ¿Cuánto tiempo estuvo la pieza en funcionamiento?
2. ¿Cuál era la naturaleza de los esfuerzos aplicados a la pieza en el momento en que se produjo la falla?
3. ¿Estuvo la pieza sometida a una sobrecarga?
4. ¿Se instaló adecuadamente la pieza?
5. ¿Estuvo sometida a servicio excesivo?
6. ¿Hubo algunos cambios en el ambiente?
7. ¿Tuvo la pieza un mantenimiento adecuado?

Después de estudiar la superficie fracturada se deben contestar las preguntas siguientes:

1. ¿Fue la fractura dúctil, frágil o una combinación de las dos?
2. ¿Empezó la falla en la superficie o por debajo de ella?
3. ¿Empezó la falla en un punto, o se originó en diversos puntos?
4. ¿Empezó la fisura recientemente o había estado creciendo por un tiempo largo?

Debe ser obvio que no puede prescribirse ninguna solución adecuada, a menos que se disponga de la información que considere la forma en que se comportó y falló la pieza.

Las pruebas de laboratorio y de campo permiten evaluar los efectos del material, el diseño y las variables de fabricación sobre el comportamiento de la pieza en condiciones controladas; por otro lado, el análisis de las causas que producen fallas se centra en las piezas devueltas del servicio y de este modo da resultados de condiciones reales de operación.

Combinando la información de los ensayos con los resultados del análisis, se puede obtener un cuadro claro de las causas que producen la falla. Rara vez son fallas asignadas a una sola causa; generalmente resultan de los efectos combinados de dos o más factores que son perjudiciales para la vida de la pieza o estructura.

Cuando se estudia una falla, se debe tener especial cuidado en no destruir pruebas importantes. Los estudios detallados requieren generalmente un conocimiento previo de la historia del servicio (tiempo, temperatura, carga, ambiente, etc.) junto con el análisis químico, fotomicrografías.

El estudio de la secuencia de acontecimientos que causaron la falla, más el conocimiento de la localización, marcas y condición de todas las piezas adyacentes en el momento de la falla, es necesario para confirmar el análisis. Siempre existe la posibilidad de aplicar cargas imprevistas, de colisiones no reportadas o de vibración no anticipada que pueden haber contribuido a fallas prematuras.

El procedimiento para investigar una falla abarca cuatro áreas como sigue:

1 Observaciones iniciales. Un estudio detallado visual de la componente real que falló debe hacerse tan pronto como sea posible, una vez que se detecta la falla; además, se deben registrar todos los detalles por medio de muchas fotografías para revisión posterior, y hacer la interpretación de las marcas de deformación, de la apariencia de la fractura, de la deterioración, de los contaminantes y de otros factores.

2 Datos informativos. Reunir todos los datos disponibles referentes a las especificaciones y dibujos, diseño de componentes, fabricación, reparaciones, mantenimiento y utilización de servicio.

3 Estudios de laboratorio. Verificar que la composición química del material esté dentro de los límites especificados y constatar las dimensiones y propiedades de la componente. Se deben hacer los ensayos suplementarios que se necesiten; por ejemplo, dureza y determinación de micro estructura para verificar el tratamiento térmico, pruebas no destructivas para examinar si existen defectos de procesamiento o fisuras, composición de productos de corrosión, un ensayo de flexión libre para verificar la ductilidad, etc.

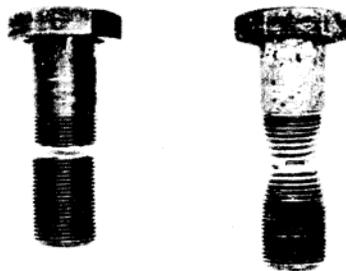
4 Síntesis de la falla. Estudio de todos los hechos y evidencias, tanto positivos como negativos, y respuestas a las preguntas típicas dadas previamente. Esto, combinado con el análisis teórico, debe indicar una solución al problema de la falla.

Estudios extensivos de engranes carburizados y endurecidos para camiones de gran tonelaje, máquinas para herramienta, máquinas para minería, motores de diesel, etc., mostraron que el 38% de las fallas se originaron por problemas de la superficie (formación de pequeños agujeros, descascaramiento, trituración y rayado), 24% de fatiga por flexión, 15% por impacto y 23% por otras causas. De un análisis detallado de las fallas hecho por compañías de acero, fabricantes de automóviles y fabricantes de equipo eléctrico, casi el 50% de las fallas puede atribuirse a defectos en el diseño, siendo el resto distribuido entre problemas de producción y de servicio.

2.2 MODOS DE FRACTURA

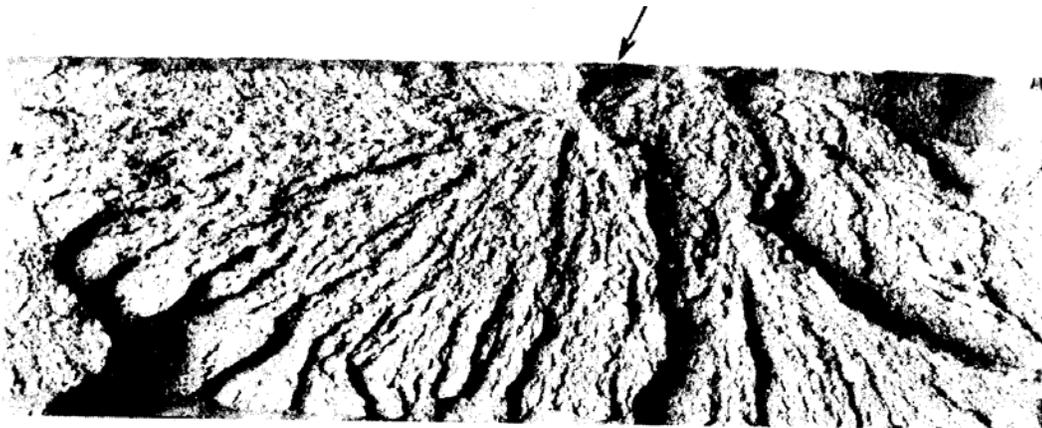
El análisis adecuado de la fractura suele dar mucha información sobre los factores de contribución y ayuda a identificar el tipo de falla. Las fracturas dúctiles son el resultado de fuerzas cortantes que producen deformación plástica a lo largo de ciertos planos cristalográficos en tanto que las fracturas frágiles se deben a fuerzas tensiles. En la mayoría de las fracturas, ambos tipos están presentes en diversos grados. La identificación del mecanismo básico suele determinar el tipo de carga que inició la fractura. De la misma manera, el conocimiento de la aplicación de la carga ayuda a determinar si una falla particular fue de naturaleza dúctil (*corte*) o frágil (*clivaje*).

La siguiente figura muestra dos tornillos estirados para producir fractura en tensión para ilustrar el comportamiento dúctil y frágil. El tornillo de la derecha era suave (Rockwell C 15); falló de manera dúctil por corte, causando deformación plástica extensiva. El tornillo de la izquierda era relativamente duro (Rockwell C 57) y falló en forma frágil, sin ningún flujo plástico aparente. Las fracturas por corte producidas por una carga única son de color gris opaco y fibroso, con bordes que por lo general están plásticamente deformados.



Dos tornillos estirados intencionalmente con el fin de producir falla en tensión para demostrar comportamiento frágil y dúctil. El tornillo frágil, izquierda, era duro, Rockwell C 57, en tanto que el tornillo dúctil era suave, Rockwell C 15. (Cortesía de D. J. Wulpi, International Harvester Company.)

Las fracturas frágiles (clivaje) (*clivaje: separación o fractura de un cristal sobre un plano cristalográfico*) aparecen brillantes y cristalinas. Cada cristal tiende a fracturarse en un plano de clivaje único, plano que varía sólo ligeramente de un cristal al siguiente en el agregado. Por esta razón, se concluye que una fractura por clivaje en una muestra policristalina generalmente brillará en la luz cuando se gira en la mano. Las superficies de fracturas frágiles algunas veces tienen apariencias distintivas, la naturaleza de las fracturas individuales puede determinarse por medio de un examen metalográfico en el laboratorio. Desde el origen de la fractura se forma un modelo característico de “cheurón” o “espigado”, el cual apunta al origen de la fractura como muestra la siguiente figura:



El modelo tipo “cheurón” apunta hacia el origen de la fractura frágil (flecha) en esta muestra. Una fractura por fatiga también es visible en la esquina superior derecha. (Cortesía de D. J. Wulpi, International Harvester Company.)

Las fracturas rara vez son de clivaje o de corte. Los esfuerzos variables que generalmente existen en una estructura, el cambio de modelos de esfuerzo durante el avance de la fractura, o las diferencias microscópicas en orientación de granos, producen fracturas compuestas tanto de áreas de corte como de clivaje.

Los esfuerzos básicos en una pieza sometida a carga externa más importantes son los normales (aquellos que son perpendiculares al plano de la sección transversal) y los de corte (aquellos que están en el plano de la sección transversal). Los primeros tienden a producir separación, en tanto que los segundos tienden a producir flujo plástico. Se destacó que el máximo esfuerzo cortante se presenta en un ángulo de 45° respecto al esfuerzo tensil que lo inicia.

Cuando una pieza está sometida a carga, se presentará la cedencia cuando el esfuerzo cortante sea mayor que la resistencia a la cedencia por corte; las fracturas dúctiles o de corte se presentarán cuando la resistencia de corte sea vencida por el esfuerzo cortante; y las fracturas frágiles se presentarán cuando la resistencia tensil sea excedida por el esfuerzo tensil.

Los esfuerzos significativos se deben considerar cuando se investiga un modo específico de falla; por ejemplo, si la falla se debe a una fractura por fatiga en la raíz de un diente de un engrane, el esfuerzo significativo sería el esfuerzo repetido de flexión en ese lugar. El esfuerzo de contacto que actúa sobre la cara del engrane no sería significativo en este caso. Para una falla por formación de agujeros en la superficie o de tipo desgaste del diente del engrane, lo contrario sería cierto.

Tipos de aplicación de cargas: En muchos casos, el tipo de carga es un factor que contribuye a la falla. Hay esencialmente cinco tipos de cargas: Axial, de flexión, torsional, corte directo y contacto.

La aplicación de cargas por flexión se producen por pares de fuerzas coincidentes con la línea central. A través de la sección transversal, el esfuerzo varía desde un máximo en las fibras exteriores hasta cero en el eje neutral, como en vigas y la raíz de los dientes del engrane. La aplicación de carga torsional implica la aplicación de un par de fuerzas en un plano normal a la línea central. El esfuerzo cortante varía desde un máximo en la superficie hasta cero en el eje neutral. Algunos ejemplos de piezas sometidas a cargas aplicadas con torsión son ejes (flechas) y resortes espirales. Las cargas directas de corte actúan sobre planos paralelos estrechamente espaciados y tienden a mover parte del material respecto al resto, similar a una acción de corte, como en remaches y tornillos. La distribución de esfuerzo cortante es uniforme a través de la sección transversal. Las cargas aplicadas por contacto son compresivas perpendiculares a dos superficies, combinadas con fuerzas de deslizamiento entre las superficies. La distribución de esfuerzos varía con la profundidad y dirección de la fuerza. Algunos ejemplos de aplicación de cargas por contacto son los cojinetes de rodillos y los dientes de engrane.

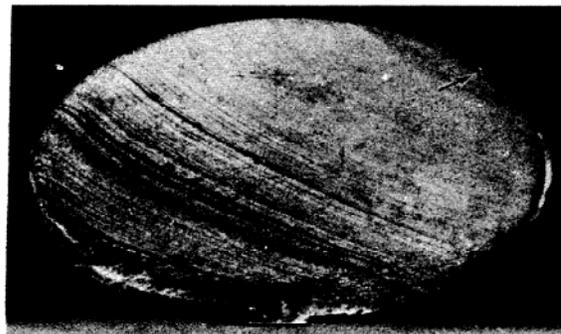
Todos estos tipos de cargas inducen esfuerzos normales y de corte; es posible que haya fracturas por sobrecarga cuando la carga aplicada alcance valores excesivos. Durante la reparación de un compresor de aire se encontró que el cojinete principal había fallado. La caja estaba rota, una bola separada en dos, otras bolas seriamente rayadas y tanto el canal interior como el exterior mostraban señales de estar seriamente sobrecalentados.

Un examen indicó que el cojinete estaba sometido a una mala alineación en el compresor, la cual produjo sobrecarga y sobrecalentamiento, conjuntamente con un empuje axial, mismo que dio como resultado la falla sobre un lado de la pista central.

2.2.1 Fractura por fatiga: La fatiga se refiere en general al deterioro gradual de un material que esta sujeto a cargas repetidas. En los ensayos de fatiga la probeta se sujeta a esfuerzos de amplitud constante que varían periódicamente por medio de dispositivos mecánicos o magnéticos. Los esfuerzos aplicados pueden alternar entre valores positivos y negativos; la carga más común es la tracción y compresión alternadas de iguales valores, obtenidos mediante la rotación de una probeta cilíndrica lisa mientras está bajo carga de flexión.

Por ejemplo, una fibra particular de la superficie de un eje rotatorio sometida a la acción de cargas de flexión pasa por esfuerzos de tensión y compresión en cada revolución del eje. Si éste es parte de un motor eléctrico que gira a 1725 rpm la fibra es esforzada en tensión y compresión 1725 veces por minuto. Las fallas por fatiga son los tipos más comunes de fractura en máquinas y probablemente constituyen el 90% de todas las fracturas. Tales fracturas se desarrollan después de un gran número ciclos de aplicación de carga, generalmente a un nivel de esfuerzos inferior a la resistencia de cedencia del material.

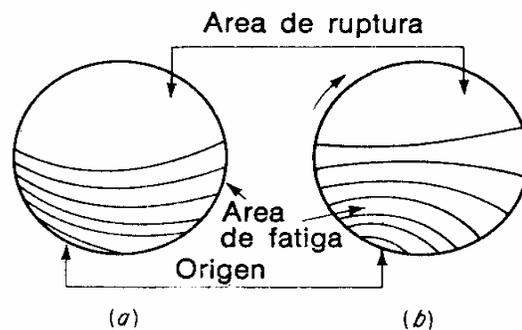
Como una fractura por fatiga es progresiva, desarrollándose durante un largo tiempo, la superficie de la fractura generalmente muestra marcas de "playa" o "concha de almeja" características. La siguiente figura revela una fractura por fatiga de un eje; una flecha indica el origen de la fractura.



La presencia de "marcas de playa" generalmente indica que la falla fue provocada por fatiga. Aquí la fractura empezó en una discontinuidad (flecha). (Cortesía de D. J. Wulpi, International Harvester Company.)

Generalmente, la falla se origina en la superficie de la pieza, donde los esfuerzos de corte excedieron primero la resistencia de corte. En este caso, la fractura se inició en la discontinuidad indicada sobre la superficie y, como lo muestran las marcas de playa, avanzaron casi por toda la sección antes de la última separación.

Las fracturas por fatiga se inician en los esfuerzos cortantes mediante un mecanismo que implica deslizamiento y endurecimiento por trabajado, formando eventualmente discontinuidades microscópicas que se desarrollan en fisuras. Una vez que se forma una fisura su rapidez de crecimiento depende de la magnitud de esfuerzo, del gradiente de esfuerzo, del límite de resistencia de material, de la sensibilidad de muesca y de la presencia o ausencia de imperfecciones e inclusiones estructurales.



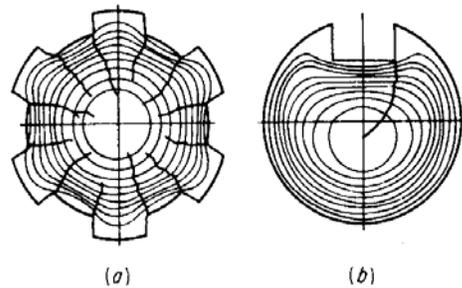
El grado de sensibilidad de la muesca afecta la manera en que se desarrollan las marcas tipo playa. En aleaciones sensibles a muescas (como acero de alta resistencia), estas curvas se alejan de la superficie de falla (izquierda). Lo contrario es cierto en materiales insensibles a muesca (derecha). (Del libro de D. J. Wulpi, *How components fail*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1966.)

La mayoría de las concentraciones localizadas de esfuerzos quedan incluidas en uno de los siguientes grupos:

1. Aquellas producidas por cambios en la geometría de una pieza, como agujeros, cajas de cuña, roscas, escalones o cambios en diámetro en ejes y cabezas de tornillos, etc.
2. Discontinuidades de la superficie, como muescas, rayaduras, marcas de maquinado, formación de agujeros, corrosión, etc.
3. Defectos inherentes en el material, como inclusiones no metálicas, fisuras pequeñísimas, huecos, etc.

Las concentraciones de esfuerzos primarios son generalmente del primer grupo, aunque las del segundo y tercer grupos pueden desempeñar papeles relacionados secundarios. Aun marcas ordinarias de herramienta actúan como muescas que tienden a concentrar esfuerzos, sobre todo en la raíz de la muesca. Son especialmente dañinas cuando ocurren en una sección de discontinuidades, como filetes.

Bajo la aplicación de una carga estática, el metal sometido a un gran esfuerzo cede plásticamente en la raíz de una muesca o en la orilla de un agujero, pasando así los esfuerzos altos a otras secciones hasta que ocurre la fractura; sin embargo, bajo fatiga o cargas repetidas, en que el esfuerzo es inferior al límite elástico, la cedencia se localiza mejor, y una fisura puede empezar antes de que el patrón de esfuerzo cambie para eliminar la concentración de esfuerzos. La siguiente figura muestra el efecto de muescas severas en muestras de acero.



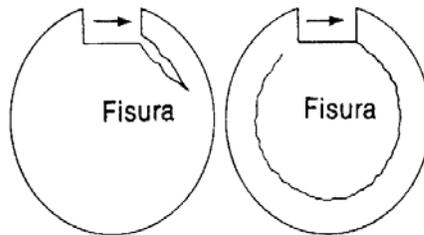
Las fisuras por fatiga tienden a seguir trayectorias a lo largo de los puntos de máxima concentración de esfuerzos. Las líneas circulares indican esfuerzos. En ranuras y cajas de cuñas, los esfuerzos se concentran en las esquinas. a) Eje ranurado, b) caja de cuña. (Tomada del libro de D. J. Wulpi, *How components fail*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1966.)

La importancia de las concentraciones localizadas de esfuerzos puede mostrarse en un solo ejemplo. Si sobre una banda ancha de material elástico se perfora un pequeño agujero y la banda se somete a tensión axial, el esfuerzo en la orilla del agujero alcanzará un máximo de tres veces el esfuerzo normal.

En piezas giratorias de máquinas, el área final de ruptura no está directamente opuesta al inicio de la fractura, sino que es ligeramente no paralela por el efecto de rotación.

La fractura se originó por la concentración de esfuerzos en una esquina de la caja de cuña, y las marcas tipo playa oscilan en sentido contrario al de las manecillas del reloj hacia la ruptura final, debido a la rotación en el sentido de las manecillas del reloj. Las esquinas afiladas son siempre concentraciones localizadas de esfuerzos y deben evitarse cuando sea posible.

En general, los materiales duros muestran mayor sensibilidad de muesca que los materiales suaves y esta propiedad afectará la aparición de una fractura bajo la aplicación de una carga cíclica. En un material altamente sensible a muesca, la fisura tiende a crecer más rápidamente a lo largo de la superficie sometida a gran esfuerzo que hacia el centro; por tanto, las marcas tipo playa se curvan alejándose del origen de la fractura; en un material menos sensible a muesca, como un acero recocido, la fisura se mueve más rápidamente hacia el centro.



Fisuras por fatiga en cajas de cuña donde las piezas ajustadas en forma floja pueden pelarse alrededor del eje por debajo de la superficie. (Tomada del libro de D. J. Wulpi, *How components fail*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1966.)

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Joseph Marin (Mechanical Behavior of Materials) ha propuesto una clasificación de algunos de los factores que modifican el límite de fatiga.

1. Material: Composición química.
2. Manufactura: Método de fabricación, tratamiento térmico, corrosión por desgaste, condición de la superficie, concentración del esfuerzo.
3. Condición ambiental: Corrosión, temperatura, estado de esfuerzo.
4. Diseño: Tamaño, configuración, duración, estado de esfuerzo, concentración del esfuerzo, velocidad.

Con base en lo anterior se tiene:

$$S_e = S'_e K_a K_b K_c K_d K_e K_f$$

Donde

S_e = Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico

S'_e = Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico rotatorio de prueba

K_a = Factor de superficie

K_b = Factor de tamaño

K_c = Factor de confiabilidad

K_d = Factor de temperatura

K_e = Factor de modificación por concentración del esfuerzo

K_f = Factor de efectos diversos

Cada uno de los factores K son menores a la unidad. Por consiguiente el valor original de límite de resistencia a la fatiga del elemento será menor al original.

-Acabado de superficie

La superficie en un elemento giratorio está perfectamente pulido y recibe un pulimento final en dirección axial para eliminar cualquier rayadura circunferencial. Por cuestiones de costo en la fabricación no todos los elementos de una máquina tienen esta alta calidad de acabado así que se tomara en consideración cada elemento que pueda fallar en forma inesperada y ponga en riesgo un desperfecto mayor en la máquina o ponga en riesgo la integridad de la persona que la opere.

-Efectos de tamaño

Los límites de fatiga de elementos de máquina que tienen un tamaño grande son susceptibles de fallar más rápidamente que las más pequeñas, así pues el *efecto de tamaño* está vinculado a las dimensiones, la forma y el método de carga.

-Confiabilidad

De muchas maneras, la vida y la confiabilidad se pueden medir fácilmente. Hay que hacer ensayos a la pieza por utilizar antes de que se pueda recomendar para su uso. Estas pruebas no aportan valores absolutos; su mayor utilidad es servir como una guía que ayudará a descubrir qué es lo mas efectivo para aumentar la vida y la confiabilidad de los elementos reales.

-Efectos de la temperatura

Bien es sabido que la temperatura cambia todas las propiedades mecánicas de un material. No hay límite de fatiga para los materiales que operan a altas temperaturas. Las altas temperaturas reducen la resistencia a la fatiga de muchos materiales. Por pruebas de laboratorio se han determinado los siguientes valores de K_d en función de la temperatura a la que está sujeto un acero. $K_d=1.0$ para $T \leq 450^\circ\text{C}$; $K_d=1-5.8(10)^{-3}$ para $450^\circ\text{C} < T \leq 550^\circ\text{C}$

-Efectos de concentración del esfuerzo

Un gran número de elementos mecánicos tienen agujeros, ranuras, muescas u otras clases de discontinuidades que alteran la concentración del esfuerzo. La concentración del esfuerzo si tiene que considerarse cuando las partes han de hacerse de materiales frágiles o cuando estarán sometidas a cargas de fatiga. Para efectos prácticos se puede utilizar el valor de K_e igual a 0.2

-Efectos diversos

Los efectos residuales o remanentes pueden servir para mejorar el límite de resistencia a la fatiga o bien para afectarlo negativamente. Por lo general si el esfuerzo remanente en la superficie de un elemento es de compresión se mejora el límite mencionado. Hay operaciones como graneado con perdigones, martillado y laminado en frío, las cuales originan esfuerzos de compresión en la superficie de una pieza y ayudan en gran medida a mejorar el límite de resistencia a la fatiga.

Corrosión

Es de esperar que en piezas que funcionan en ambientes corrosivos ocurra una disminución en su resistencia a la fatiga. Esto sucede y se debe al ataque por picadura de la superficie a causa de un producto o ambiente corrosivo. Después de cierto tiempo una pieza fallará cuando sea sometida a esfuerzos repetidos en una atmósfera corrosiva

Recubrimiento electrolítico

Los recubrimientos metálicos, como los procesos de cromado, niquelado o cadmizado, reducen el límite de resistencia a la fatiga hasta en un 50%. El galvanizado (revestimiento con zinc) no afecta la resistencia a la fatiga.

Metalizado por aspersión

Este proceso de recubrimiento origina imperfecciones en la superficie que pueden ser principios de grietas. Según pruebas efectuadas han mostrado reducción de 14% en la resistencia a la fatiga.

Frecuencia del esforzamiento cíclico

Si por alguna razón el proceso de fatiga llegara a depender del tiempo, entonces también lo haría de la frecuencia. En condiciones normales la falla por fatiga es independiente de la frecuencia, pero cuando se encuentra corrosión o temperaturas elevadas o en ambas, el factor cíclico llega a ser importante. Cuanto menor sea la frecuencia y más alta sea la temperatura, tanto mayor será la propagación de las grietas y más breve la duración a un nivel de esfuerzo dado.

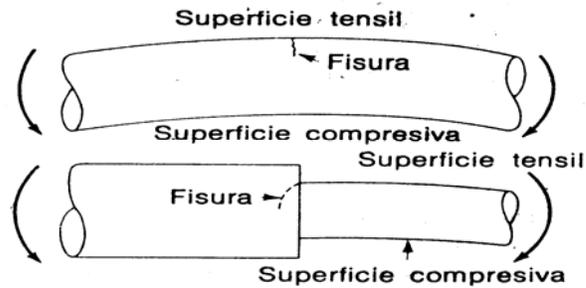
Corrosión por apriete

Este fenómeno es el resultado de movimientos microscópicos en la superficie de piezas mecánicas o estructuras estrechamente ajustadas. Lo anterior ocurre en juntas atornilladas, cojinetes, ejes de ruedas y en todo conjunto de piezas de montaje apretado. El proceso implica cambio de color en la superficie, picadura y eventualmente, fatiga. El factor de corrosión por apriete K_f depende del material de las piezas en contacto y varía de 0.24 a 0.9

2.2.2 Fractura por flexión: La flexión es una de las causas comunes de fractura en piezas de máquinas y estructurales. La falla puede originarse por una aplicación única de una carga mayor que la de la resistencia total de una pieza o deberse a una carga de inversión que da como resultado una fractura por fatiga de flexión.

En la siguiente figura el lado cóncavo está sometido a compresión y el lado convexo a tensión y muestra las apariencias típicas de fractura de fallas por fatiga de flexión, con las últimas zonas de fractura señaladas como áreas de tipo malla.

Generalmente, las fisuras por fatiga de flexión son perpendiculares al esfuerzo tensil, el cual ocurre sobre una orilla de la flexión y se origina en la superficie donde se localiza el máximo esfuerzo aplicado.



Como ya se vio, las concentraciones de esfuerzos localizadas, tales como filetes agudos y marcas herramientas tienden a iniciar las fisuras porque el esfuerzo es mayor en ese lugar.

La siguiente tabla muestra las apariencias típicas de fractura de fallas por fatiga de flexión, con las últimas zonas de fractura señaladas como áreas de tipo malla. Generalmente las fisuras por fatiga de flexión son perpendiculares al esfuerzo tensil, el cual ocurre sobre una orilla de la flexión y se origina en la superficie donde se localiza el máximo esfuerzo aplicado.

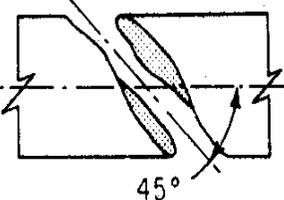
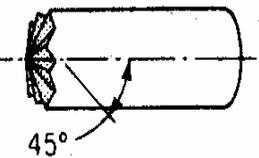
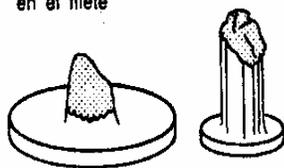
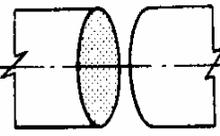
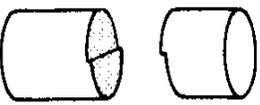
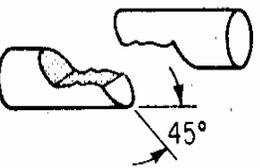
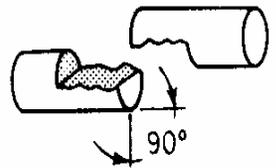
Condición de esfuerzo Caso	Ninguna concentración de esfuerzo		Mediana concentración de esfuerzo		Alta concentración de esfuerzo	
	Bajo sobreesfuerzo	Alto sobreesfuerzo	Bajo sobreesfuerzo	Alto sobreesfuerzo	Bajo sobreesfuerzo	Alto sobreesfuerzo
Carga de combado en una dirección						
Carga de combado en dos direcciones						
Carga con reversión de combado y rotación						

Apariencias de la fractura de fallas por fatiga-de combado. Las zonas finales de fractura se muestran como áreas doblemente cruzadas. (Tomada del libro *Machine design*, The Penton Publishing Co, Cleveland, noviembre 27 de 1969.)

La fatiga por inversión de la flexión sin rotación generalmente causará fisuras sobre lados opuestos del eje, ya que cada lado sufre esfuerzos tensiles y compresivos alternativos.

Las fracturas por flexión generalmente se desarrollan sobre las superficies y normales a la dirección del esfuerzo, los filetes agudos concentran esfuerzos por flexión, provocando que las fisuras se desarrollen más rápidamente, en tanto que las flechas indican la dirección del combado.

2.2.3 Falla torsional: Las fallas torsionales son más comunes en ejes, incluyendo cigüeñales, barras de torsión y ejes de vehículos. La apariencia de una fractura por fatiga por torsión es completamente distinta de la producida por fatiga por combado. Las fallas por fatiga por torsión ocurren a lo largo de los planos de corte.

Tipo de falla	Patrón básico	Variaciones de patrones básicos	
		(a)	(b)
Tensil 1		Patrón tipo estrella 	Diente de sierra debido a la concentración de esfuerzos en el filete 
Corte transversal 2		Escalón pequeño 	Escalón grande 
Corte longitudinal 3			

Fracturas básicas torsionales. (Tomada del libro *Machine design*, The Penton Publishing Co., Cleveland, diciembre 11 de 1969.)

La fatiga torsional se puede producir paralela a los esfuerzos de corte principales (arriba) o perpendicular a los esfuerzos tensiles principales (abajo).

El máximo esfuerzo de corte ocurre a lo largo del eje de la flecha (eje) y en ángulos rectos a ella, mientras que el esfuerzo máximo tensil actúa en un ángulo de 45° respecto a los dos esfuerzos cortantes. Las fisuras torsionales pueden seguir los planos transversales o longitudinales de corte, los planos diagonales de esfuerzo máximo, tensil o una combinación de éstos.

En una flecha sometida a torsión, el esfuerzo cortante máximo es igual al esfuerzo máximo tensil. En una pieza sin concentraciones de esfuerzos localizadas, la fractura que ocurrirá dependerá de los valores relativos de la resistencia de corte y de la resistencia tensil. Los valores de resistencia son una función del material y de su condición.

En el acero, la resistencia de corte es aproximadamente la mitad de la resistencia tensil; por tanto, el esfuerzo cortante alcanzará la resistencia de corte del acero mucho antes de que el esfuerzo tensil alcance la resistencia tensil, y resultará una falla de tipo de corte. Las fisuras transversales predominan más que las fisuras longitudinales, debido a que las marcas de esmerilado o de maquinado están orientadas en una dirección transversal. Por tanto, el esfuerzo tensil alcanzará la resistencia tensil del hierro fundido antes de que el esfuerzo cortante alcance la resistencia de corte, y resultará una falla de tipo tensil.

En fatiga torsional, las concentraciones de esfuerzos localizadas son casi tan serias como lo son en fatiga por flexión. Los agujeros para aceite, filetes y ranuras en una flecha tienden a concentrar los esfuerzos y producir una fractura de tipo tensil.

Para determinar la verdadera causa de una falla, en el análisis se debe tener en cuenta la acción interrelacionada del diseño, la fabricación, las propiedades del material, el ambiente y las cargas de servicio. La causa generalmente quedará incluida en una de las categorías señaladas en la siguiente lista. Las soluciones apropiadas pueden incluir rediseño, cambio de material o procesamiento (o ambos), control de calidad, protección contra el ambiente, cambios en los programas de mantenimiento, o restricciones en las cargas aplicadas durante el servicio o la vida de servicio.

Falla por desbalanceo

Esta falla se presenta cuando en un elemento mecánico sometido a rotación se encuentra desequilibrado en la masa. Un ejemplo clásico tenemos el mecanismo biela-manivela-corredera de un motor; estos elementos al girar provocan el sacudimiento en el monobloque. Es posible minimizar las fuerzas de sacudimiento en los motores debido a las fuerzas de inercia balanceando las fuerzas de inercia que están opuestas mutuamente en forma que se transmita muy poca o ninguna fuerza a los soportes del motor. Si las condiciones de vibración son próximas a la resonancia, las amplitudes de la vibración se pueden hacer suficientemente grandes para provocar fallas de la flecha, cojinetes o soportes.

Falla por vibración

La vibración es inherente a todas las máquinas debido al movimiento de las partes individuales que giran, oscilan o reciprocán. Cuando las fuerzas sobre las piezas individuales son tales que el sentido del desplazamiento del centro de masa de la pieza oscila o cambia periódicamente, se dice que vibra. El movimiento reciprocante del pistón del mecanismo biela-manivela-corredera es un ejemplo sencillo de la vibración. Un movimiento más complejo es el desplazamiento del centro de masas de la biela del mecanismo antes mencionado, que periódicamente invierte el sentido en dos direcciones; adicionalmente, la biela sufre desplazamientos angulares inversos. Teóricamente, un rotor con centro de masa en el eje de rotación no vibra. Sin embargo si el centro de masa del rotor está incluso ligeramente excéntrico con su eje de rotación, hay vibración.

El grado en el cual es indeseable la vibración depende de la intensidad del esfuerzo al que se someten las piezas debido a la vibración o la interferencia provocadas por el sacudimiento. La interferencia puede significar falta de comodidad de transportación, como sucede en los vehículos o falta de estabilidad como en la montura de la cámara de un aeroplano.

2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CAUSAS QUE PRODUCEN FALLAS

Fallas debidas a procesamiento defectuoso

1. Imperfecciones debidas a composición defectuosa (inclusiones, impurezas que fragilicen la pieza y material equivocado).

2. Defectos que se originan durante la manufactura de lingotes y piezas de fundición
3. Defectos debidos al trabajado (doblecés, costuras, fisuras internas y discontinuas, grietas por fragilidad y exceso de deformación local).
4. Irregularidades y errores debidos al maquinado, esmerilado o estampado (ranuras, quemaduras, rasgaduras).
5. Defectos debidos a la soldadura (porosidad, acanaladuras, fisuras, falta de penetración, presencia de fisuras abajo de los puntos de soldadura y zona afectada por calor).
6. Anormalidades debidas al tratamiento térmico (sobrecalentamiento, quemadura, presencia de fisuras por templado, crecimiento de grano)
7. Imperfecciones debidas al endurecimiento superficial (carburos ínter granulares, núcleo suave y cielos térmicos erróneos).
8. Defectos debidos a los tratamientos superficiales (limpiado, electro depositado, revestido, difusión química).
9. Ensamble descuidado (mal acoplamiento de las piezas, polvo o abrasivo atrapado, esfuerzo residual, ranuras o daño a piezas y causas semejantes).
10. Fallas en la línea de separación en el forjado debido a deficientes propiedades transversales.
11. Fallas debidas a consideraciones de diseño defectuoso o mala aplicación del material.
12. Falla dúctil (exceso de deformación, elástica o plástica y fractura por rasgadura o corte). 2 Fractura frágil (debido a imperfecciones o concentración de esfuerzos localizada de intensidad crítica).
13. Falla por fatiga (cargas cíclicas, deformación cíclica, calor cíclico, fatiga por corrosión, fatiga por contacto durante el rodamiento y fatiga por rozamiento).
14. Falla por alta temperatura (fluencia, oxidación, fusión local y deformación).

15. Fracturas estáticas demoradas (fragilización por hidrógeno, fragilización cáustica y lento crecimiento de imperfecciones estimuladas por el ambiente).

16. Concentraciones de esfuerzos localizadas excesivamente severas, inherentes en el diseño.

17. Inadecuado análisis de esfuerzos, o imposibilidad de efectuar un cálculo racional de esfuerzos en una pieza compleja.

18. Error al diseñar con base en propiedades estáticas tensiles, en vez de las propiedades significativas del material que miden la resistencia del material a cada posible modo de falla.

Fallas debidas al deterioro durante las condiciones de servicio

1. Condiciones de aplicación de cargas excesivas o imprevistas.

2. Desgaste (erosión, daño superficial por fricción, aferramiento y cavitación).

3. Corrosión (incluyendo ataque químico, esfuerzo por corrosión, fatiga por corrosión, y contaminación por la atmósfera).

4. Mantenimiento inadecuado o mal dirigido o reparación impropia (soldadura, esmerilado, agujeros por horadación con punzón, enderezamiento en frío, etc.).

5. Desintegración debida a ataque químico o a ataque por metales líquidos o electrodeposición a temperaturas elevadas.

6. Condiciones accidentales (temperaturas anormales de operación, vibración severa, vibraciones sónicas, colisiones por impacto o imprevistas, desgaste, choque térmico, etc.).

Es obvio que el análisis de las fallas y la determinación apropiada de las causas primarias o secundarias que producen la falla suele ser un problema muy complejo. El conocimiento de cada tipo de falla es importante para evitar o minimizar problemas futuros. Cada falla durante el servicio debe estudiarse cuidadosamente a fin de obtener la máxima cantidad de información referente a su falla. El examen metalúrgico y visual, el análisis de esfuerzos y el cuestionamiento inteligente también aportarán mucho conocimiento referente a la falla. La aplicación de este conocimiento acumulado a la prevención de fallas futuras es la meta del análisis de las causas que producen fallas.

CAPITULO 3. MANTENIMIENTO

Dada la relación tan estrecha entre los conceptos de servicio, calidad de servicio y mantenimiento, es necesario definir cada uno estableciendo las relaciones entre ellos.

El servicio, calificado como la utilidad que presta una cosa o las acciones de una persona para lograr la satisfacción directa o indirecta de una necesidad, es algo subjetivo pues se determina por el concepto que una persona tiene de lo que debe obtener de otra, en retribución del pago que de alguna forma efectúa.

Desde épocas remotas, el ser humano ha buscado servirse de los recursos materiales que lo rodean para lograr la satisfacción de sus necesidades, ha creado cada vez más complicados aparatos partiendo de las características básicas de elementos presentes en la naturaleza y, así como el rudimentario martillo del cavernícola dejaba satisfecho a su dueño siempre que requería golpear algo, la avanzada máquina automática de un moderno taller de zapatería logra complacer a su operario cuando golpea clavos para colocar tacones a un ritmo de 80 por minuto; es claro que si el zapatero mencionado pudiese obtener el mismo servicio mediante el martillo del cavernícola, sin duda elegiría éste último por su costo menor y el poco mantenimiento que requiere.

La calidad de servicio, entendiéndola ésta como el grado de satisfacción que se logra dar a una necesidad mediante la prestación de un servicio, por su propia esencia implica la presencia de dos personas o entidades diferentes, el que recibe el servicio y el que lo proporciona. La calidad de servicio podrá ser evaluada y siempre estará en relación directa con las expectativas del receptor del mismo; así tenemos por ejemplo, que existe gente dispuesta a gastar tres o cuatrocientos mil pesos por un lujoso automóvil, cuando es seguro que puede obtener la misma calidad en el servicio de transporte por una suma menor, lo que aquí se busca es el servicio que da el carro a su poseedor al hacerlo sentir proyectado como un triunfador ante los demás miembros de la sociedad.

Considerando los conceptos anteriores, podemos decir que el *mantenimiento es la actividad humana que conserva la calidad del servicio que prestan las máquinas, instalaciones y edificios en condiciones seguras, eficientes y económicas*. El concebir una máquina como medio y no como un fin, permitirá orientar adecuadamente los trabajos de mantenimiento que sobre ella se realicen tendientes a la conservación del servicio.

Un aparato o dispositivo es creado de tal forma que proporciona un servicio con la calidad suficiente para dar satisfacción a una necesidad; es lógico pensar que si la máquina fue diseñada adecuadamente, todos sus componentes cumplen una función y todos serán necesarios, por lo que mientras la necesidad que le dio origen no se modifique, las labores del personal de mantenimiento orientadas a la conservación de las propiedades físicas de un aparato deberán mantener adecuadamente la calidad del servicio que ésta presta.

La comprensión errónea de este concepto ha provocado que a través del tiempo el mantenimiento de las máquinas se haya orientado a la buena conservación de las mismas; esto queda fuera de toda lógica, pues es seguro que si el servicio que proporciona, por ejemplo, un televisor, pudiera lograrse con la misma calidad y eficiencia con el uso de un pequeño cubo de cristal, el cual además de ser de bajo costo no tiene problemas de mantenimiento, es claro que éste sería el nuevo televisor; de esta forma cuando las expectativas en cuanto al servicio cambian (por la evolución tecnológica, la variación de mercados, la mayor competencia, la diversificación, etc.), el mantenimiento deberá adecuarse a ellos. Tomando en consideración que es el servicio el que se mantiene y las máquinas las que se arreglan.

La correcta comprensión de la relación entre necesidad, máquina, servicio y mantenimiento, logrará orientar este último, de tal forma que en lugar de convertirse en pérdida para una empresa, sea un camino más hacia el logro de sus objetivos.

La organización del mantenimiento de una fábrica se desenvuelve en forma gradual y a lo largo de cierto periodo; esta organización se establece como resultado de dicho desenvolvimiento, sea siguiendo un plan o por el azar mismo, se trata de una estructura de relaciones prácticas para ayudar a la consecución de los objetivos de la empresa

Responsabilidades del mantenimiento

Es obligación primordial de la función de mantenimiento el propugnar por la obtención de los objetivos de la empresa de la cual forma parte.

Los objetivos de la función de mantenimiento son los siguientes:

- Maximizar la disponibilidad de maquinaria y equipo para la producción.

- Preservar el valor de las instalaciones, minimizando el uso y el deterioro.
- Conseguir estas metas en la forma más económica posible y a largo plazo.

Como los objetivos nunca son estáticos, pueden ocurrir cambios en algunos de ellos según las circunstancias. Si el objetivo final es la utilidad, resulta necesario conservar las instalaciones que contribuyen a la producción en un estado de eficiencia máxima y con un costo mínimo.

Para lograr lo anterior es necesario lo siguiente:

1. Mantenimiento Preventivo; como limpiar, engrasar, ajustar, etc. Con miras a economizar en la producción. Cuando el equipo esta en malas condiciones tienen lugar pérdidas cuantitativas y cualitativas.
2. El aseo personal, la salud y la seguridad de los trabajadores mejoran el trabajo y el aprovechamiento.
3. La planeación debe hacerse en conformidad con los objetivos de tiempo establecidos. La imprecisión en la estimación del tiempo repercute en los plazos, causa trastornos en los asuntos prioritarios, suscita efectos negativos en los costos y perturba la coordinación y sincronización con otros departamentos.
4. La planeación deberá basarse en el costo real de la mano de obra de reparación. Una diversificación en los costos de mano de obra tendrá efectos en los cálculos y hará que se exceda el presupuesto.
5. La planeación tendrá que ser de acuerdo con la disponibilidad de materiales y los costos. Toda desviación de los materiales disponibles implica demoras, con el consiguiente desorden de programas, así mismo la desviación en los costos de los materiales afecta las estimaciones y ocasiona aumentos en el presupuesto.
6. Es necesario establecer controles para determinar si se está cumpliendo o no con los planes y si se está avanzando hacia la realización de los objetivos. Tendrán que hacerse los ajustes necesarios en el desempeño antes de que las imprecisiones perjudiquen

producción, mantenimiento y otras metas, y de que llegue a ser imposible evaluar la calidad de la operación de mantenimiento.

Toda operación en el departamento de mantenimiento tiene que estar sujeta a controles. Si estos son pasados por alto o no se efectúan como debe ser, tanto el mantenimiento como la empresa sufren pérdidas computables en dinero.

Las distintas actividades y funciones de las unidades de mantenimiento deberán ser delineadas con toda precisión y deben quedar por escrito a fin de que puedan alcanzar sus objetivos.

Algunos ejemplos de quehaceres básicos de mantenimiento son los siguientes:

1. seleccionar y adiestrar a personal calificado para que lleve a cabo los distintos deberes y responsabilidades de la función proporcionando reemplazo de trabajadores calificados.
2. Planear y programar en forma conveniente la labor de mantenimiento.
3. Conservar, reparar, revisar maquinaria y equipo de producción, herramientas eléctricas portátiles y equipo para el manejo de materiales, manteniendo todas las unidades respectivas en buen estado de funcionamiento.
4. Conservar y reparar edificios, instalaciones, mobiliario y equipos de oficina.
5. Instalar, redistribuir o retirar maquinaria y equipo con miras a facilitar la producción.
6. Revisar las especificaciones estipuladas para la compra de nueva maquinaria, equipo y procesos, con el objeto de asegurar que estén de acuerdo con las ordenanzas de mantenimiento.
7. Escoger de acuerdo a la aplicación y al plazo requerido, los lubricantes necesarios para la maquinaria y equipo.
8. Iniciar y sostener los programas de conservación para la adecuada utilización de aceites y grasas lubricantes, así como aceites hidráulicos.
9. Proporcionar servicio de limpieza en equipos especializados, tales como cámaras de pulverización, tanques de aceite soluble, lavadoras, recolectores de polvo, ductos, etc.
10. Solicitar herramientas, accesorios y piezas especiales de repuesto para máquinas y equipos con la finalidad de efectuar con éxito la función de mantenimiento.

11. Preparar solicitudes de piezas de reserva para maquinaria y equipo y controlar el programa de conservación de partes de repuesto y material de mantenimiento.
12. Verificar que los inventarios de piezas de reserva, accesorios de mantenimiento y partes de repuesto especiales sean conservados en un nivel óptimo.
13. Conservar en buen estado los dispositivos de seguridad y cuidar que se observen las normas de seguridad para calderas, hornos y equipo en general que represente riesgos latentes para la integridad de las vidas humanas.

La tarea principal del Jefe de Mantenimiento será la de organizar un departamento que suscite seguridad y permita alcanzar los objetivos de la compañía. Todo individuo deberá conocer bien su tarea y el sitio que ocupa; cuando esto sea así se integrará como miembro de un equipo que funcionará en términos de compañerismo. Puede por consiguiente, afirmarse que los fines del departamento de mantenimiento son los mismos de los individuos que lo componen.

A medida que las organizaciones crecen y se tornan más complejas, va siendo cada vez mayor la importancia que las informaciones fluyan con facilidad entre los distintos elementos de la empresa. A esta corriente de información se le llama comunicación, la cual puede definirse como un procedimiento que comprende transmisión y recepción. Si el flujo de información no constituye un enlace en el conjunto de finalidades de la organización, sólo podrá calificársele de ruido que obstruye los canales. Sin comunicaciones que tengan un propósito no habrá coordinación de las actividades o funciones que realice la organización para la consecución de sus fines.

La corriente de comunicación se mueve en dos sentidos: Vertical y horizontal, cuando es hacia abajo sirve para dicta órdenes, hacia arriba son informes que exponen el adelanto de actividades. La comunicación horizontal tiene que ver principalmente con el traspaso de información entre el personal o departamentos de un mismo nivel.

3.1 REGISTROS DE REPARACIONES Y ALMACEN DE REFACCIONES

Se recurrirá a las órdenes de trabajo cuando la fábrica no cuente con datos sobre las reparaciones realizadas. Dichas órdenes se clasificarán por número o descripción del equipo, y por tipos de composturas, abarcando los dos

últimos años o mayor anterioridad. La información obtenida se asentará en una hoja de registro, por número y marca de máquina, incluyendo fecha y tipo de la reparación, así como una lista de las partes de repuesto usadas. Un examen de este registro señalará las situaciones que están exigiendo excesivas intervenciones de reparación.

Por ejemplo, en determinada fábrica esta clase de análisis podrá revelar que una máquina está requiriendo la instalación de chumaceras cada diez semanas

Una investigación al respecto demuestra que hay una flecha fuera de alineación. Tan pronto como se corrige el defecto, desaparece la necesidad de la frecuente reposición de chumaceras. A esta clase de análisis y reparación se le conoce como *Mantenimiento Correctivo*, y se tratará con mayor amplitud posteriormente. Un estudio minucioso de la hoja de registro descubrirá situaciones de reiteración de intervenciones de mantenimiento.

Por citar otro ejemplo; el motor de una máquina ha tenido que remplazarse cada catorce meses por deficiencia del mismo, deberá establecerse cuál es la causa (sobrecarga, suciedad o humedad excesiva, etc.) y procederse a hacer inspecciones mensuales, semestrales y anuales, dependiendo del elemento o sistema que este fallando para asegurar que no se repita el problema. Aseo, carga, presencia de humedad, temperatura, lubricación, etcétera, deberán ser revisadas a efecto de aplicar un remedio eficaz. La otra posibilidad es recurrir, en lugar de la hoja de registro mencionada, a un examen de los registros de maquinaria, si es que se tienen.

En el caso de que no los haya, deberán llevarse a medida que avance el programa de *Mantenimiento Preventivo*. Es de gran importancia que toda reparación y ajuste que denoten alguna falla seria queden apuntados a fin de que sea factible hacer una comparación y estudio detallados. Sólo sabiendo lo que ha tenido lugar en el pasado se pueden efectuar estudios para el mejoramiento de las funciones y disminuir los costos de mantenimiento en el futuro.

La ficha de Solicitud de Trabajo de equipo suelen ser de 12.5 X 20 cm y se archivan en un tarjetero de borde visible. Aunque cabe hacer mención que cada empresa podrá hacer su propio formato y dando la medida que se requiera de acuerdo a lo extensa que se quiera tener la información que va a contener. Es de vital importancia que el supervisor que emite la solicitud de trabajo de la descripción de la falla de forma detallada mencionando si se trata de una falla eléctrica, mecánica, neumática o combinación de algunas de ellas, así como es sistema al que se está haciendo referencia. Así mismo el

supervisor de mantenimiento tiene la obligación de cerciorarse que su personal coloque reporte de forma detallada la reparación que se llevó a cabo. Los materiales y refacciones que se utilizaron así como una descripción de qué es lo que fallo y si es necesario programar la compra de algún material o refacción.

SOLICITUD DE TRABAJO			
Departamento solicitante	Nombre y Número de Máquina	Fecha solicitud	Fecha entrega
Descripción de falla o trabajo por realizar :			
Trabajo realizado:			
Fecha y hora de inicio	Fecha y hora de término	Personal asignado	
Materiales utilizados			
Persona solicitante		Supervisor de Mantenimiento	
_____		_____	

La administración de mantenimiento necesita contar con medios claros y precisos para solicitar, autorizar y ejecutar trabajos; computar tiempo, materiales y costos, saber qué acciones son necesarias para reducir al

mínimo el costo de mantenimiento y el tiempo de paro para así finalmente evaluar los resultados comparándolos con lo planeado, estimado y programado.

Todas las solicitudes de trabajo se detallaran en un formato como el anterior; este documento constituye la autorización básica para realizar el trabajo y es la fuente de toda la información sobre reparaciones de rutina que pasa a formar parte de los registros históricos.

Estas formas de solicitud se utilizan en fábricas de todos los tamaños, es un documento muy sencillo de elaborar y se emplea en trabajos de carácter general, chicos, medianos y grandes.

Un factor importante para la reducción de costos es el control adecuado de las piezas de repuesto, materiales y accesorios de mantenimiento. En la mayoría de las fábricas independientemente de su tamaño existe la tendencia a subestimar la importancia de este control, que cuando no se ejerce como debe ser, origina costos exagerados con la consiguiente pérdida de utilidades. Cuando se tiene una existencia demasiado baja de algún artículo necesario, puede causarse un grave perjuicio a la producción por paralización prolongada y a esto se le puede sumar el gasto que es resultado de la necesidad de fabricar especialmente la pieza de que se trate. Por otra parte, tener una existencia demasiado alta resulta costoso debido a los intereses inútiles que devenga el capital invertido al espacio de almacenamiento indebidamente ocupado, al inventario de bienes o impuestos de bodega que a menudo hay que pagar, y se puede sumar el riesgo de que las piezas caigan en desuso.

El primer paso para el control de los materiales, consiste en inventariar y catalogar todas las piezas de repuesto que se encuentran dispersas en la fábrica, incluyendo las que están guardadas en los bancos de trabajo de los mecánicos. Cada pieza se identificará por la máquina a la que corresponda y su número; nombre y cantidad se rotularan en un marbete que se le adherirá. También se anotará en el registro de piezas de repuesto según la máquina o departamento a que corresponda, indicando el lugar donde se encuentra. Si una pieza determinada se utiliza en mas de una máquina debe asentarse este hecho tanto en el marbete como en el registro. Tan pronto como una pieza es marbeteada se instruirá a quienes la usen, que cuando dispongan de ella entreguen el marbete respectivo a fin de que el inventario se mantenga al corriente y se pueda ordenar su reposición.

Esto puede ser el principio de un sistema de inventario perpetuo susceptible de ampliación posterior. Levantar un inventario físico de material de almacén necesita planeación y organización; la responsabilidad debe ser de alguien que este familiarizado con la maquinaria y el equipo y que conozca el costo y disponibilidad de los diferentes artículos.

3.2 PERSONAL DE MANTENIMIENTO

Un elemento importante en un sistema de mantenimiento, debe ser personal calificado con preparación de nivel bachillerato o técnico y buena capacidad en el pensar para discernir de una manera lógica el medio por el cual va a ejecutar una revisión o reparación, así como tener la habilidad manual necesaria que estará en función de los equipos que va a mantener.

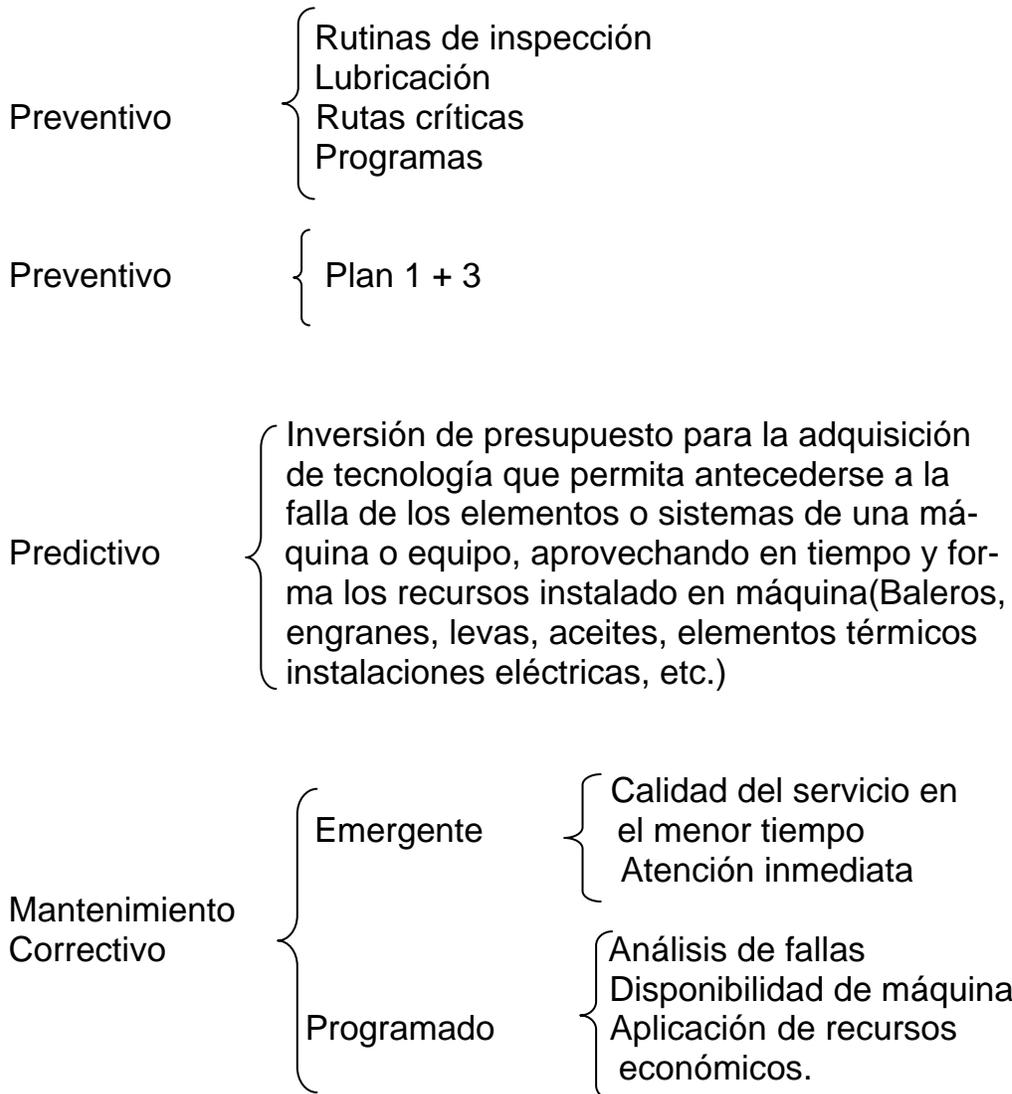
La falta de preparación de este personal produce defectos cada vez que interviene en los equipos; por lo tanto, es indispensable pensar en que antes de considerar un aumento de este tipo de individuos, se mejore la calidad de ellos, lo que producirá menor necesidad de mano de obra de mantenimiento. Su entrenamiento debe basarse en métodos teóricos y prácticos, utilizando equipos adecuados para la enseñanza (preferiblemente de los que no están en servicio), enfocando los programas hacia el objetivo de que el personal obtenga un conocimiento técnico profundo del diseño, función, operación y mantenimiento de los aparatos que debe cuidar.

Dado que él cuenta con elementos de habilidad manual, capacidad de análisis a nivel máquina y sistema, y con un amplio conocimiento de la tecnología de los equipos de una empresa, este tipo de personal resulta ser muy problemático; por lo tanto debe hacerse un profundo estudio que permita ubicar al personal en el desarrollo de labores de mantenimiento, lo más adecuado posible a sus capacidades y al sistema de mantenimiento de la compañía.

Como en el caso anterior, su desarrollo debe lograrse por la combinación de su esfuerzo y la cooperación de la empresa en suministrarle los medios y programas, los cuales deben involucrar materias, tanto técnicas como administrativas, a fin de lograr su proyección hacia una buena ejecución en tiempo y forma del mantenimiento necesario a los equipos.

3.3 CLASIFICACION DEL MANTENIMIENTO

La división del mantenimiento se muestra en el cuadro sinóptico siguiente:



Debemos hacer hincapié en que el punto de vista del mantenimiento debe ser tomado con respecto al servicio. Por ejemplo, supongamos que existe una maquinaria en funcionamiento y que está suministrando un servicio cualquiera; los trabajos que se ejecuten en esta maquinaria serán considerados de mantenimiento preventivo, siempre y cuando el servicio se esté proporcionando con una calidad mayor al “límite inferior de calidad de servicio” preestablecido.

Por ejemplo: Si una máquina está programada al mes con 15 días de programación por parte del departamento de producción ésta debe cumplir en calidad y cantidad, y cualquier reparación que se haga en los 15 días restantes entrará como mantenimiento preventivo. De lo contrario, si el tiempo de mantenimiento es mayor a 15 días se considerará mantenimiento correctivo

3.4 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Por definición, *mantenimiento correctivo es la actividad humana desarrollada en máquinas, instalaciones o edificios, cuando a consecuencia de una falla, han dejado de prestar la calidad de servicio para la que fueron diseñadas.*

Por lo tanto, las labores que en este caso deben llevarse a cabo tienen por objeto *la recuperación inmediata de la calidad de servicio*, es decir, que ésta se coloque dentro de los límites esperados, ya sea que para tal efecto se hagan arreglos provisionales o definitivos.

Toda labor de mantenimiento correctivo exige una atención inmediata, por lo que ésta no puede ser programada, sólo se tramita y controla por medio de reportes máquina fuera de servicio por lo que el personal debe efectuar los trabajos absolutamente indispensables, evitando arreglar otros elementos de la máquina o hacer cualquier trabajo adicional que no sea necesario para que pueda seguir prestando su servicio.

Este tipo de mantenimiento se divide en: mantenimiento correctivo ligero y mantenimiento correctivo a fondo, dependiendo de la importancia de los trabajos que hay que desarrollar para corregir la falla, este mantenimiento puede ser atacado por dos tipos de personal; el de escasa preparación atenderá el mantenimiento correctivo ligero; el personal especializado tendrá que atender el mantenimiento correctivo a fondo o ambos. Podemos aclarar que una persona especializada, con herramientas necesarias, puede atacar cualquier tipo de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo.

El mantenimiento correctivo se controla por medio de reportes "máquina fuera de servicio", lo cual debe ser atendido de inmediato, pues un reporte de esto significa siempre la pérdida de la calidad del servicio. Este tipo de

mantenimiento, por su falta de planeación y programación, es el más caro; por lo tanto, debe tenerse cuidado de que al atacar un mantenimiento correctivo no se traspasen los linderos del mantenimiento preventivo.

Es muy común que el personal de mantenimiento, al ocurrir una pérdida de la calidad del servicio, ocasionado por la falla de una máquina, aproveche para arreglar algunos otros elementos de ésta, o cambiar piezas o hacer cualquier trabajo adicional que no es esencial para que la máquina pueda seguir proporcionando dicho servicio.

Como esta labor ha resultado de una acción imprevista, es difícil que se tenga todo lo necesario para el arreglo concienzudo de la máquina, dando por resultado que el paro se prolongue innecesariamente más allá de lo indispensable con el consiguiente aumento en los costos por baja en la producción.

Todos los casos de mantenimiento correctivo deben atacarse de inmediato, a fin de lograr que la máquina o equipo proporcione el servicio lo más pronto posible; después, el responsable debe hacer un reporte de anomalías con las observaciones que crea pertinentes, a fin de pedir posteriormente la orden de trabajo de mantenimiento preventivo y programarla en la forma anteriormente mencionada.

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

El empleo de técnicas y controles de MP sacará a luz situaciones de fallas repetidas por parte de una pieza o unidad de maquinaria; cuando surjan estos casos habrá que recurrir a un mantenimiento correctivo para evitar su repetición.

Al examinarse los registros de maquinaria para precisar la frecuencia de las inspecciones es seguro que se verá la necesidad de recurrir al mantenimiento correctivo. Otra forma de notar esa necesidad será el análisis periódico,

indispensable, de la totalidad de los registros de reparación de maquinaria y equipo. Al notar el inspector una falla repetida de alguna pieza o máquina lo, hará del conocimiento del ingeniero de fábrica, acompañando la información de un comentario apropiado en cuanto al estado y causa, si ésta se conoce, de la deficiencia.

El ingeniero de fábrica, previa aprobación, pasará a estudiar el problema y determinará qué es lo que se necesita hacer para solucionarlo o reducirlo a su mínima expresión. Esto, tal vez, requiera de una modificación al diseño de la pieza, el empleo de un material diferente o de chumaceras más resistentes, controles de mayor eficacia o quizá hasta la sustitución de la máquina completa por una de mejor funcionamiento.

El mantenimiento correctivo, si se emplea de una manera apropiada, servirá para disminuir el costo de mantenimiento mediante la resolución, con mejores diseños, de los problemas reiterados y será de gran ayuda a, la producción al reducir al mínimo los paros. Además de las composturas originadas en las inspecciones ordinarias de MP, puede ser conveniente hacer periódicamente una revisión general de determinado equipo.

Esta clase de arreglos se precisarán estudiando los registros históricos de reparaciones a lo largo de dos o tres años, para observar la tendencia de las composturas que se han venido haciendo. Si la frecuencia de las mismas, su costo y el tiempo total de paro demuestran ir en aumento siempre con mayores costos, convendrá hacer una reparación general, la cual puede planearse con seis meses a un año de anticipación, para permitir la entrega oportuna de las piezas de repuesto que se necesitarán y que el departamento de producción pueda incorporar esa intervención a su programa.

Con anticipación a la obra habrá de compararse el costo de la reparación en gran escala, con el de una máquina nueva. Otro factor a considerar es el adelanto tecnológico ocurrido desde que se construyó la máquina. Si el costo de la compostura es apenas una fracción del de una máquina nueva y si no han tenido lugar cambios de importancia en el diseño que pudiera incorporarse a la máquina vieja en forma económica, lo más prudente será reparar a fondo esta última.

Cuando los talleres de mantenimiento se encuentran sobrecargados de trabajo que impida la reparación o reconstrucción de motores, bombas, controles, o cualquier otro equipo que suele hacerse en el taller, o cuando la fábrica carece de instalaciones para llevar al cabo ese tipo de tareas, se

encargará el trabajo a un taller ajeno. También aquí el análisis de los costos determinará si se deberá recurrir a una fuente externa o si convendrá comparar una máquina nueva.

3.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo puede ser definido como la *Conservación Planeada del equipo, producto de inspecciones periódicas que descubren condiciones defectuosas*. Su finalidad es reducir al mínimo las interrupciones y una depreciación excesiva, resultantes de negligencias.

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

Debidamente dirigido, el mantenimiento preventivo es un instrumento de reducción de costos, que ahorra a la empresa dinero en conservación y operación.

En todo plan de mantenimiento preventivo se pueden introducir cuantos detalles se deseen. A un extremo del asunto, cuando se trata de una fábrica pequeña y la producción no es crítica, este tipo de mantenimiento puede constar de una inspección informal del equipo por parte del jefe del departamento de acuerdo con un plan periódico.

Al otro extremo se encuentran algunas fábricas que usan equipo de control automático que desconecta las máquinas después de que se ha producido una determinada cantidad de piezas, a fin de que puedan efectuarse las actividades de mantenimiento necesarias; también hay empresas que utilizan computadoras para escribir las órdenes de trabajo requeridas. Independientemente del grado de refinamiento a que se quiera llegar, un programa de mantenimiento preventivo bien intencionado debe incluir:

- 1) una inspección periódica de las instalaciones y equipo para descubrir situaciones que puedan originar fallas o una depreciación perjudicial.
- 2) El mantenimiento necesario para remediar esas situaciones antes de que lleguen a convertirse en graves.

Si se permite que el equipo o instalaciones se deterioren, sea por un falso sentido de economía o por una producción muy presionada es preciso trazar planes para elevar el nivel del equipo hasta un estándar mínimo de mantenimiento, antes de iniciar un programa de mantenimiento preventivo en

regla, ya que es necesario llegar a una cierta condición de estabilidad para introducir técnicas de Mantenimiento Preventivo. De otro modo, la fuerza de mantenimiento estará demasiado ocupada reparando averías para que se pueda llevar al cabo una inspección y mantenimiento bajo programa. Diremos, como regla empírica, que una fábrica que emplee más de 75 por ciento de su tiempo de mantenimiento en arreglar descomposturas, es posible que llegue a tropezar con serias dificultades para pasar a una situación de mantenimiento preventivo, a menos de que acondicione debidamente su maquinaria para que existan operaciones normales, más bien que anormales.

Una investigación del equipo puede llevar a la eliminación de ciertas piezas o unidades de valor no fundamental, que significan una fuerte carga de trabajo al mantenimiento para conservarlas en estado de operación. Esta clase de maquinaria no podrá ser retenida si su reconstrucción o compostura resulta antieconómica.

Este examen puede revelar la necesidad de aumentar temporalmente la fuerza de trabajo con objeto de mejorar la condición de las máquinas o instalaciones hasta un nivel aceptable, con anterioridad a la instauración de un MP. En este caso, no podrá cargarse el costo al programa de MP, ya que más bien corresponden a un mantenimiento diferido, consecuente a uno impropio en el pasado. El costo por tales reparaciones preferidas puede establecerse por separado, a efecto de que la dirección general conozca su monto.

Una vez establecido el programa, el número de trabajadores tendrá que ser inferior al que había cuando se inició, como resultado de reparaciones más económicas y menos paros. Por otra parte, el tiempo perdido en la producción disminuirá, con un apreciable ahorro en los costos.

Previsión de mantenimiento

Una característica del mantenimiento preventivo que debe ser planeada con tanta anticipación- que a menudo no se le considera parte del programa de MP y en ocasiones ni siquiera se le toma en cuenta, es la previsión de mantenimiento, que consiste en estructurar cualidades de bajo mantenimiento y larga duración, recurriendo para ello a la adquisición planeada de maquinaria o equipo proyectados para reducir al mínimo el tiempo de paro en la producción, así como el esfuerzo de mantenimiento, a la vez que aumentar al máximo la duración efectiva de las máquinas. Con este objeto habrá que estudiar y buscar con cuidado, desde el punto de vista de mantenimiento, todo lo que convenga para los fines indicados. Al hacerlo no deberá olvidarse que

lo que poco cuesta no da buenos resultados, y que las economías exigen que se compre calidad.

Todo equipo de diseño especial deberá ser estudiado cuidadosamente cuando todavía se encuentre en vía de realización y, si es posible, antes de que se determinen las especificaciones y se hagan los planos. ¿Se necesitarán interruptores de límite a prueba de agua? ¿Se requerirá de una lubricación central? ¿Se podrán desmontar los protectores para hacer arreglos sencillos o engrasar? Todas estas preguntas y otras más tendrán que ser contestadas para cumplir con los requisitos de la previsión de mantenimiento.

Por lo menos una vez al año será necesario revisar el programa de MP para identificar cualquier tendencia o defecto surgidos en el transcurso del mismo. Habrá que precisar si la frecuencia de las inspecciones es la apropiada, que el contenido de las formas de cotejo sea el necesario sin incurrir en exageraciones, que la maquinaria vital esté incluida en el programa, que las formas de papelería estén bien proyectadas y que los registros estén siendo llevados debidamente para que sean de positiva utilidad, etcétera. Los cambios que imponga la revisión deberán hacerse de inmediato, pero habiéndolos sopesado antes con base en hechos concretos para que no haya que dar marcha atrás posteriormente.

Pero aun cuando se lleve al cabo esa revisión anual minuciosa, esto no eliminará la necesidad de una atención constante a los resultados del funcionamiento del MP. A menudo sucede que cuando una unidad de equipo exige una dedicación mayor que la usual, conviene elaborar registros detallados adicionales cuando se efectúan inspecciones detalladas, los cuales constituirán una base tangible para hacer los cambios antes de que se llegue la revisión anual a que nos hemos referido.

El mantenimiento preventivo tiene por objeto disminuir el costo de mantenimiento, así como reducir el tiempo de paro en la producción por medio de engrases, inspecciones, arreglos y reparaciones controlados, para asegurar un continuo funcionamiento de la maquinaria. Aun cuando el mantenimiento preventivo no es una panacea, la corrección oportuna de cualquier deficiencia hallada en el curso de las inspecciones servirá para evitar costosas interrupciones y descomposturas que casi siempre tienen lugar cuando no existe un programa de ese tipo.

En cualquier esfuerzo organizado los perfeccionamientos que se logran y los toques finales que se hacen constituyen la diferencia entre mediocridad y

excelencia. Esto es aplicable, sobre todo, al "pulimento" de un buen programa de mantenimiento preventivo

3.6 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UNO MAS TRES

Este plan está encaminado a la programación del mantenimiento preventivo basado en el presupuesto mensual asignado al departamento en cuestión. Es de vital importancia utilizar de la mejor manera los recursos económicos asignados para lograr dar el mantenimiento adecuado a la maquinaria, equipo e instalaciones.

Para instalar este programa primeramente se debe realizar un análisis de las fallas más frecuentes y el periodo con el que se presentan. Posteriormente se analizarán líneas críticas para el cumplimiento de los programas de producción, lo cual dará la pauta para saber que maquinaria se deberá programar en primera instancia y darle la calidad de servicio necesaria para cumplir metas de producción.

De todos es bien sabido que el presupuesto mensual para el departamento de mantenimiento estará en función de las ventas y utilidad mensual adquirida por la empresa, que comparado con los gastos que se deben realizar a toda la maquinaria siempre es insuficiente.

Aquí entra la importancia de este plan; el cual debe arrancar con un presupuesto asignado el primer mes solamente para mantenimientos correctivos emergentes y este mes será por llamarlo así, el mes cero o de arranque.

Ya analizados los equipos críticos conjuntamente entre mantenimiento y producción. El departamento de mantenimiento hará el análisis de las partes críticas por reparar y/o cambiar en un corto, mediano o largo plazo; así como de la mano de obra disponible y la calidad de su personal. En este caso el corto plazo será de un mes, el mediano de dos y el largo de tres meses, hablando estrictamente de este plan. Programara la compra de sus materiales para el mes uno, el dos y tres. Así cuando concluya el mes de arranque, tiempo en el cual serán entregadas las refacciones para la ejecución del programa del primer mes; se podrá decir que se tiene un mes con materiales en firme para que los programas no queden inconclusos por falta de elementos que lleven a su cumplimiento en un alto porcentaje.

Al comenzar el primer mes con la ejecución de los programas, ya con materiales y mano de obra; se comenzaran a hacer las entregas de lo ya programado para su compra para el segundo mes y se comenzará a controlar el inventario. Durante este primer mes se realizara el programa y compra del tercero. Y llevando este ciclo siempre tendremos un mes de ejecución y tres programados. De lo anterior viene el nombre Plan Uno más Tres.

Con este plan se verá un alto porcentaje de cumplimiento de programas de mantenimiento, ya que la mayoría de las veces en los historiales de las Solicitudes de Trabajo el no cumplimiento es por falta de refacciones.

3.7 ¿POR QUÉ CONTAR CON UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO?

Nunca faltará quien, pregunte: ¿Para qué implantar un programa de mantenimiento preventivo si como estamos nos encontramos bien? Se trata de una inquisición válida, sea que provenga del presidente de la empresa o del jefe del departamento de ingreso reciente. Una respuesta sencilla sería que si no pudiera demostrarse que la compañía obtendría un sensible ahorro con el mantenimiento preventivo, no habría por qué adoptarlo. Pero si se le concibe, pone en obra y controla como debe ser, no hay por qué pensar que no se conseguirán mejoras y un ahorro sustancial del presupuesto para la conservación del equipo.

La importancia de la función de mantenimiento en la industria va en aumento. Una prueba de ello es lo que se gasta por ese concepto; los estudios hechos por industriales y gobierno señalan que cada año se invierten 15,000 millones de dólares en mantenimiento. Esto representa un gasto igual al 5 % de las ventas para la industria en general y mucho más de eso en industrias tales como la del acero y la del petróleo. El costo creciente de dicho renglón ha hecho que se enfoque la atención a mejorarlo, medirlo y controlarlo

Desde luego, el objetivo principal para poner en práctica el mantenimiento preventivo es bajar los costos, pero esta economía puede asumir distintas formas:

1. Menor tiempo perdido como resultado de menos paros de maquinaria por descomposturas.

2. Mejor conservación y duración de las cosas, por no haber necesidad de reponer equipo antes de tiempo.

3. Menor costo por concepto de horas extraordinarias de trabajo y una utilización más económica de los trabajadores de mantenimiento, como resultado de laborar con un programa preestablecido.
4. Menos reparaciones en gran escala, pues son prevenidas mediante reparaciones oportunas y de rutina.
5. Menor costo por concepto de composturas. Cuando una parte falla durante la maquina en servicio, suele echar a perder otras partes y con ello aumenta todavía más el costo de reparación. Una atención previa a que se presenten averías reducirá los costos.
6. Menos ocurrencia de productos rechazados, repeticiones y desperdicios, como producto de una mejor condición general del equipo.
7. Identificación del equipo que origina gastos de mantenimiento exagerados, pudiéndose así señalar la necesidad de un trabajo de mantenimiento correctivo para el mismo, un mejor adiestramiento del operador, o bien, el reemplazo de máquinas anticuadas.
8. Mejores condiciones de seguridad.

Las ventajas del mantenimiento preventivo son múltiples y variadas, y benefician no sólo a la fábrica pequeña, sino también a los grandes complejos industriales. Asimismo, presenta ventajas para las fábricas que sirven sobre pedido, las de alta producción, las de elaboración o procesamiento, las de productos químicos, en fin, puede decirse que para toda clase y dimensión de instalaciones.

Al llegar a este punto, es conveniente formular una regla para el Mantenimiento Preventivo: *A mayor valor de las instalaciones por metro cuadrado, mayor será el beneficio contar con un programa de este tipo.* Por ejemplo, el tiempo de paro en la línea principal de montaje en una fábrica de automóviles cuesta 1,000 dólares por minuto. Relacionado esto al lapso perdido en la producción, otro fabricante de automóviles informó que la instauración del Mantenimiento Preventivo en sus 16 fábricas arrojó una disminución de 300 a 25 horas por año en el total de tiempo de paro. Ante un resultado como éste creemos que *no habrá una sola empresa bien administrada que no quiera adoptar el procedimiento de Mantenimiento Preventivo.*

3.8 PLANEACION PRELIMINAR

Antes de emprender un programa de Mantenimiento Preventivo es indispensable trazar un plan general y despertar el interés de quienes participen en el mismo, e inclusive de quienes le sean ajenos.

Con objeto de establecer la base para apreciar los adelantos hay que elaborar, tan pronto como sea posible, un registro del tiempo de paro de la maquinaria causado por deficiencias de mantenimiento. No sólo se identificarán las máquinas, sino que se anotará en forma breve el motivo; al principio se incluirá el tiempo de paro debido a defectos de diseño; más tarde se podrá poner remedio al problema.

Desde luego, habrá, que dedicar gente a la iniciación y operación de un programa de Mantenimiento Preventivo. Las necesidades varían de acuerdo con el tipo y tamaño de la fábrica. El programa deberá adaptarse a las exigencias de la fábrica de que se trate. Tendrá que implantarse poco a poco, paso por paso, tratando de eliminar la inercia de la resistencia al cambio; que se vayan viendo los avances paulatinamente y la gente incrédula aporte algo al nuevo programa.

Todo programa que reporte buenos resultados requerirá varios meses para su instalación y de años para quedar bien establecido.

3.9 INSTAURACION DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Un rasgo esencial del Mantenimiento Preventivo es la acumulación de datos históricos de reparación de maquinaria y equipo general, la cual se efectúa en formas de solicitud de mantenimiento, o bien en tarjetas de registro histórico donde se asientan manualmente las reparaciones importantes.

Todo programa de Mantenimiento Preventivo necesita iniciarse con un conocimiento de los problemas del equipo. Un estudio de las dificultades en el pasado dirá si es preciso o no un mantenimiento correctivo. También indicará la frecuencia con que habrán de efectuarse las inspecciones para reducir al mínimo las composturas.

La información de referencia tendrá como fuente de origen cualquiera de las dos siguientes:

1) Revisión de las órdenes de trabajo de mantenimiento correspondientes a los dos últimos años o antes.

2) Un análisis de los antecedentes del equipo, si es que existen.

CAPITULO 4. ADMINISTRACIÓN DEL MANTENIMIENTO

4.1 GENERALIDADES

No existe una sola empresa que no tenga necesidad de contar con personal de mantenimiento, ya sea propio o ajeno, a fin de garantizar que su producción no se vea afectada por fallas imprevistas y conforme va siendo más importante la empresa, esta necesidad se incrementa, llegando el personal de mantenimiento a formar un núcleo con su propia organización racional y sigue creciendo a medida que la empresa se va automatizando, en la actualidad se presenta en casi todas las compañías del mundo: el número de individuos que trabajan en cuestiones de mantenimiento es enorme, comparado con el personal de producción.

Por lo tanto y debido a que la necesidad de personal de mantenimiento se va desarrollando lentamente aunque en razón directa con la ampliación de una empresa, es lógico que nos encontraremos con departamentos de mantenimiento mal comprendidos por los directores y gerencias y por lo tanto, mal estructurados, por lo que siempre será muy sano establecer una junta de planeación a fin de darle una forma adecuada y definida, en funciones y relación a dicho departamento.

Con el concepto general de lo que es una empresa, sus funciones básicas y el estudio somero que se ha hecho de las características generales del personal que labora en ella, estamos en posibilidad de interpretar correctamente lo que es la administración, la cual todavía en ésta época es tan menospreciada a pesar de que existen países como Estados Unidos, Inglaterra, Japón, etc. Que demuestran que un buen empleo del proceso administrativo produce adelantos tanto en materia económica como en materia social.

Es de lamentarse que sobre todo la mayor parte de los países latinoamericanos no presten la debida atención a un manejo más científico de las empresas. Esto puede deberse seguramente al desconocimiento de la verdadera labor del administrador, lo cual ha permitido que las empresas más importantes de estos países estén en manos de personas que aunque seguramente tienen mucha experiencia en los negocios desconocen por completo las administrativas.

Es muy deseable que un administrador tenga preparación profunda, que sea un profesional, preferiblemente en la rama de la especialidad a la que se

dedican las empresas que piensa puede dirigir; por ejemplo es recomendable que unos laboratorios sean administrados por un ingeniero químico y que éste además tenga conocimientos profundos de la administración.

En primer lugar, se debe establecer el objetivo del departamento, a fin de que quede escrito y claro, para todo el personal de la compañía, objetivo que será el de "*conservar, en condiciones seguras, eficientes y económicas la calidad del servicio que prestan las máquinas, instalaciones y edificios de la compañía*"; por lo tanto las funciones generales de este departamento serán: Planear, Organizar, Ejecutar y Controlar todas las labores de mantenimiento necesarias para la empresa. A continuación se establecen por escrito las políticas que normarán el criterio para la organización o reestructuración de este departamento; una de ellas podrá ser el emplear personal contratista; y otras más podrán delimitar la acción de éste, aclarando plenamente los alcances del personal propio. Cada compañía en particular, tendrá sus propias políticas adecuadas en cantidad y bien definidas, pero deberán estar por escrito y ser perfectamente conocidas por el personal de acuerdo con el puesto que desempeñe.

4.2 PLANEACION

Esta es la parte más importante del proceso administrativo, pues si no se tiene ningún plan, es lógico que no se tenga nada que organizar, ejecutar o controlar y por lo tanto no existirá la administración. La planeación lleva involucrada la necesidad de imaginar y relacionar probables actividades, las que al desarrollarlas permitirán obtener el objetivo propuesto.

Toda planeación empieza con el afán de conquistar un objetivo, debiendo considerar a continuación las restricciones o limitaciones, con lo cual estamos en la posibilidad de decidir los métodos a usar. Y por consiguiente los procedimientos para efectuar lo planeado.

Para llevar a cabo la planeación de una manera lógica, debe procederse como cualquier otro plan, ya sea de ingeniería mecánica, eléctrica, civil, etc. Por ejemplo, si se desea poner aire acondicionado a algún local, se empieza primero por determinar de acuerdo al volumen de este, cual es la temperatura y humedad que debe existir en él, con lo que se conocerá la potencia necesaria en el equipo de aire acondicionado, así como la disposición de éste y consecuentemente se estará en posibilidad de calcular la energía que debe entregarse al equipo para su correcto funcionamiento, lo cual nos proporciona los datos necesarios para dimensionar los fusibles y conductores que llevaran la energía a dicho equipo.

Sería infructuoso proceder en forma contraria, o sea, comenzando por los conductores hasta terminar con el volumen de aire acondicionado; es claro que se tendría algún resultado después de varios intentos, pero seguramente por casualidad se llegaría al óptimo.

También en la planeación administrativa debe seguirse esta mecánica a saber: primero decir cuándo y a dónde se quiere llegar, partiendo de este supuesto, es necesario considerar nuestras limitaciones de acción, nuestros recursos humanos, físicos y técnicos y por último dimensionar las labores en cantidad de trabajo por efectuar y tiempo.

La planeación es una toma de decisiones constante que involucra lo siguiente:

1. Objetivos.

Existe una gran confusión entre objetivo, deseo y meta; mediante un sencillo ejemplo se aclararán los diferentes conceptos: En una carrera de automóviles la meta esta representada por un punto físico al término de una trayectoria que representa por la distancia, los participantes tienen el deseo de llegar a la meta lo que ya involucra una acción y por último vemos que el objetivo será llegar a recorrer por distancia en 25 segundos, lo que trae en conjunto la necesidad de expresar unidades de cuantificación para el tiempo.

Al conjunto de una meta mas la acción correspondiente para conseguir ésta y el tiempo en que se debe lograr se le llama objetivo; este es el resultado final al que se desea llegar.

Ejemplos de objetivos:

- a) Reducir en un 8% los accidentes de trabajo a partir del mes de junio próximo
- b) Aumentar la producción anual en un 9% con respecto al año anterior
- c) Reducir tiempos de entrega 16% con respecto al año anterior, en un periodo de tres meses a partir de enero próximo.

2. Políticas.

3. Procedimientos y métodos

4. Programas

5. Presupuestos

Es de suma importancia establecer que son tres las áreas básicas de planeación para el mantenimiento. La primera de ellas abarca la planeación a largo plazo de las necesidades de mantenimiento y se encuentra íntimamente vinculada con los pronósticos de las ventas y la producción, dependiendo también de ellos. Esta clase de planeación se lleva al cabo, en las empresas importantes, por el personal respectivo, encargado de elaborar un programa de esta índole para la totalidad de la empresa. Los planeadores trabajando de conjunto con los ejecutivos de línea de las divisiones de operación, definen y expresan lo que se necesita en el terreno de las decisiones actuales para poder alcanzar determinadas metas dentro de diez años. El nivel administrativo de los planeadores suele ser elevado pues informan directamente al presidente o al vicepresidente.

Los planes a largo plazo abarcan la administración total y los que afectan fabricación influyen en la planeación de ingeniería de fábrica, de la dirección de control de calidad y de la dirección de control de producción, parte de otros departamentos más. Por consiguiente, aun cuando el nivel inicial de la planeación a largo plazo es alto el efecto de los planes elaborados es experimentado en toda la organización.

En las organizaciones menores es probable que no haya un grupo encargado de preparar esa clase de planes. Tal vez uno o dos individuos sean designados para prepararlos y trabajarán en combinación con los jefes de línea.

Los planes a corto plazo, que integran la segunda área, comprenden lapsos de aproximadamente un año y se preparan bajo la supervisión directa de los directores de las diversas funciones. El presupuesto anual de mantenimiento elaborado por el ingeniero de fábrica corresponde a esta categoría.

La tercer área comprende planes inmediatos de la función de mantenimiento y viene a ser una planeación específica de trabajos de mantenimiento. Esta clase de previsión se elabora por técnicos del grupo de control de mantenimiento.

Es significativo que las tres áreas de planeación difieran mucho en cuanto a tipo y lugar de desarrollo; mientras más penetran los planes en el futuro mayor es el nivel de responsabilidad. La planeación de largo alcance se hace por el presidente o vicepresidente y un grupo de asesoría establece las metas, dicta las estrategias y diseña los programas operativos para periodos de cinco, diez o más años.

Los planes a corto plazo son por uno o dos años y los preparan los directores de departamento y los jefes de oficina. Los presupuestos, la mayoría de las reparaciones de importancia y todo mantenimiento grande corresponde a esta categoría. Esta clase de planes debe estar de acuerdo en principio con los planes a corto y a largo plazo de la empresa. La planeación inmediata la hace personal de categoría inferior y puede considerarse casi como de rutina, correspondiendo al día en curso, al de mañana y quizá a la semana próxima.

Las tres áreas mencionadas tienen muy poco en común, salvo que todas figuran bajo la denominación de planeación, y son necesarias para la consecución de los objetivos de la empresa.

PLANEACION A LARGO PLAZO

El propósito principal de una planeación de largo alcance es conservar al día los objetivos, políticas y procedimientos de mantenimiento, a efecto de que todos éstos se hallen de acuerdo con los fines de la compañía. Desde luego, para ello se necesita un conocimiento de los pronósticos de ventas y producción y tomar en cuenta todos los factores comprendidos en una planeación a largo plazo de la producción. Además, una planeación del mantenimiento requiere una proyección de dos factores específicos que son de suma importancia para la organización de dicha actividad; ellos son:

- 1) los cambios en el equipo de mantenimiento y en las necesidades de instalaciones.
- 2) los cambios en el equipo de producción por caducidad, una creciente mecanización, automatización y otros perfeccionamientos tecnológicos.

PLANEACIÓN DEL TRABAJO DE MANTENIMIENTO

MEJORAMIENTOS BÁSICOS.

Seguramente surgirán problemas debido a cambios en las necesidades de mantenimiento por la tendencia a adquirir maquinaria más complicada, o por manejo automático del material, controles electrónicos, velocidad y capacidad mayor del equipo, etcétera. Los adelantos básicos del equipo se conseguirán planeando a largo plazo ya que son imprescindibles inversiones considerables y consecuentemente estudios meticulosos. Estas adquisiciones de importancia también pueden necesitar amplios plazos de previsión teniendo en cuenta la eventualidad de nuevos diseños y perfeccionamientos.

Por tanto, habrá suficiente tiempo y posibilidad de elaborar planes de largo alcance para las nuevas exigencias de mantenimiento y prepararse para los cambios. Muy a menudo, la dirección de mantenimiento no hace planes extensos y de pronto se encuentra ante la urgencia de buscar o adiestrar expertos en electrónica que se requieren inmediatamente para encargarlos de un nuevo equipo que se va a instalar.

Ahora bien, la planeación a largo plazo de las necesidades de mantenimiento tendrá que coordinarse cuidadosamente con los planes del mismo tipo correspondientes a la producción y la empresa. Es posible que en algunas fábricas esto imponga cambios de cierta importancia en la estructura orgánica de ingeniería, a efecto de que haya una representación en todos los niveles administrativos. De cualquier forma, la trascendencia de esa clase de planeación tiene que ser reconocida y atendida durante las primeras fases de una más amplia planeación de mejoramientos básicos. Cuando se tiene presente esto es más fácil alcanzar los objetivos del mantenimiento.

Al identificar las metas de mantenimiento con la planeación de largo alcance se abre la puerta a planteamientos de importancia que pueden contribuir a reducir el costo de preservar el nuevo equipo mediante un mantenimiento adecuado. Esto puede hacerse estando en estrecho contacto con el fabricante del equipo, sobre todo cuando se trata de diseños recientes para los cuales se posible que se requiera otro tipo de atenciones, nuevos conocimientos y piezas de repuesto.

INSTALACIONES EXISTENTES.

Otra clase de planeación a largo plazo es la que tiene que ver con una duración pronosticable de las instalaciones existentes, que son aquellas en que una porción del equipo, por ejemplo los resguardos o cubiertas, se consumen gradualmente por la labor de la producción. Casos típicos son los altos hornos, hornos de hogar abierto, ollas de galvanización, etcétera. La planeación para reposición o reconstrucción se basa en el análisis de registros anteriores de deterioro y duración del equipo, así como de la proyección de necesidades de la producción. Si la historia es larga y consistente, la planeación tendrá que ser sensata.

Nuevas clases de equipo plantean problemas de tipo especial en los planes a largo plazo. El fabricante puede ser de gran ayuda al sugerir la extensión y regularidad del mantenimiento.

También, cuidadosamente delineados, los programas de mantenimiento preventivo contribuirán a suministrar datos sobre los cuales efectuar la programación de las labores. Más, como quiera que sea, los planes siempre deberán estar sometidos a posibilidades de transformación.

Abundan las organizaciones que no prevén situaciones de urgencia, lo que suele ser muy costoso. Inundaciones, incendios, destrucción de calderas, fallas en los compresores de aire y otros peligros que acechan a la productividad podrían reducirse al mínimo si se elaboraran planes atinados. Esta clase de previsión es tan válida como la de largo alcance, y quizá hasta más, aunque se desee no llegar a necesitar nunca su aplicación.

Hay ocasiones en que determinados factores de relaciones públicas imponen el tener que preparar planes generales a largo plazo que afectan a la ingeniería de fábrica y al mantenimiento. El departamento de mantenimiento debe tener muy en cuenta lo que se recomiende en dichos planes, así como los que traten de la eliminación eventual de la contaminación de ríos y atmósfera, y atender a la adquisición del equipo y la elaboración de planes de operación que se conformen a lo planeado en forma general por la empresa. La inmensa mayoría del trabajo cíclico de mantenimiento en las instalaciones (que no tiene carácter frecuente) se realiza en periodos de cinco años o menos y, por consiguiente, se incluirán en una proyección de cinco años. De ordinario, una planeación adecuada permitirá que esta clase de trabajos se efectúen en forma rutinaria, sin necesidad de que hayan de suspenderse las labores normales.

Cuando se trate de prevenir la sustitución o reconstrucción de nueva maquinaria, será indispensable tomar medidas para evitar cualquier situación inesperada. Esto requerirá la formación de un inventario de materiales de reparación, así como flexibilidad en el programa de elemento humano. La incertidumbre existente en la planeación de referencia exige una combinación de datos reales y buen juicio, además de un enfoque consistente y organizado.

PLANEACION A CORTO PLAZO

La planeación a largo plazo de las necesidades y tareas de mantenimiento tal como ha quedado expuesta, y la programación cotidiana y semanal constituyen funciones de especial relevancia. Pero también es preciso vincular esa clase de previsión con la de cada día. A esto se le llama planear a corto plazo, aunque el lapso real cubierto sea más o menos de un año. Por lo

general, la planeación a corto plazo se asocia íntimamente al presupuesto anual.

Cuando se tiene proyectada la instalación de unidades nuevas de maquinaria, corresponderá al departamento de mantenimiento colocarlas, ponerlas en condiciones de funcionamiento y preservarlas. En muchos casos, será necesario encarar problemas totalmente desconocidos en relación con la instalación y mantenimiento de equipo nuevo. A fin de planear bien con anticipación de semanas y hasta de meses, conviene formular un interrogatorio como el que sigue:

1. ¿Qué clase de grúas, elevadores y tractores adicionales habrá que disponer?
2. ¿Han sido bien estudiados los tipos de máquinas para calcular sus necesidades de instalación, servicios, ventilación, etcétera?
3. ¿Los planos son compatibles con instalaciones, servicios o equipo existentes?
4. ¿Los plazos fijados permiten la instalación sobre la base de tiempo ordinario o requieren tiempo extraordinario de trabajo?
5. ¿Disponen los distintos oficios necesarios de una dotación de personal suficiente?
6. ¿Las herramientas con que se cuenta son en cantidad suficiente para una instalación eficaz y económica?
7. ¿Se ha llevado al cabo un estudio cuidadoso para establecer si el empleo de personal de la fábrica daría como resultado una mejor instalación?
8. En el caso de recurrir a un contratista, ¿Estará de acuerdo el sindicato?
9. ¿Se necesitará personal adicional para efectuar el mantenimiento?
10. ¿Para el mantenimiento de las máquinas nuevas se requerirán conocimientos nuevos?
11. ¿El fabricante del equipo puede proporcionar un adiestramiento particular?
12. ¿Se podrá visitar algún lugar en que ya se encuentre instalada maquinaria igual, antes de colocar la propia?
13. ¿Estarán en condiciones de trabajar los hombres más indicados con el representante del fabricante del equipo durante la instalación de éste?
14. ¿Se cuenta con planos y herramientas especiales?
15. ¿Se han hecho planes con respecto a las piezas de repuesto?
16. ¿Se ha coordinado la fecha de instalación con la producción, a efecto de minimizar el tiempo de paro?
17. ¿Se tienen dispuestos los contratos necesarios para trabajos- auxiliares que llevarán al cabo contratistas?

La instalación del equipo nuevo marchará con muchísimos menos tropiezos cuando se cuenta con planes elaborados con antelación. Sin embargo, gran parte de esa planeación ocupará meses de trabajo.

TÉCNICAS DE PLANEACIÓN

Ciertas técnicas son necesarias para la programación general básica y para la formulación de itinerarios de los trabajos de mayor importancia que atañen a la ingeniería de fábrica.

Si la dirección careciera de medios para conocer el adelanto de la planeación y ejecución de los trabajos, caminarla a ciegas. La gráfica de Gantt y su complemento, el método de barras, han sido utilizados con muy buenos resultados por largo tiempo. Pero estas técnicas tienen sus limitaciones tanto para la planeación como para el control. Más a pesar de ello, se ha avanzado en estos últimos tiempos por el rumbo de un nuevo concepto de planeación y control que tiene su base en el empleo de un diagrama de flechas que muestra las interrelaciones entre las distintas tareas de un proyecto.

Aun cuando es posible que no constituyan una solución integral a las necesidades directivas de contar con métodos perfectos, si las técnicas mencionadas son un medio para hacer planes en forma lógica y uniforme. Además, con ellas se pueden mantener los planes al día, según el adelanto del trabajo y los cambios de circunstancias. Por otra parte se hace factible el emprender una acción correctiva antes de que surja el problema, en lugar de que dicha acción se efectúe después. Los procedimientos de referencia comprenden el conocido como MCC (método del camino crítico), PERT (revisión de evaluación de programas), estimación y programación del menor costo; control del análisis de producción; programación, control y automatización por sistemas de redes, y otros más. Estas técnicas se fincan en el mismo concepto, utilizando un enfoque de red, semejante al usado en dinámica fluida, ingeniería eléctrica y otras áreas.

GRÁFICA DE GANTT. Se trata de una gráfica ideada por Henry L Gantt en la época de la Primera Guerra Mundial y se utiliza en la planeación maestra o programación. Cada tarea se inscribe en la porción izquierda de la gráfica. Los tiempos proyectados o programados se trazan a la derecha en una escala calendarisada horizontal y en forma de columnas o barras sin sombrear, cuya longitud indica el tiempo calculado de duración para el trabajo. El desempeño real se expresa mediante una columna o barra sombreada. En esta forma podrá observarse en cualquier momento cuáles trabajos van al corriente, cuáles retrasados y cuáles por delante de lo estipulado, así como hasta qué

punto. La gráfica de Gantt tiene una limitación, consistente en que no apunta los problemas o demoras sino hasta que han tenido lugar. Sin embargo, su empleo es muy apropiado para la programación maestra e información compendiada.

EL MÉTODO DE BARRAS. Este método se ideó en la época de la Segunda Guerra Mundial, para una planeación más completa de programas y un mejor control. En realidad viene siendo un perfeccionamiento de la gráfica de Gantt. Mediante bloques individuales o barras, inscritos dentro de las barras no sombreadas del Gantt, se indican puntos definidos en los tiempos. Aun cuando el sistema constituye un avance sobre la gráfica de Gantt, carece también de una capacidad predictiva.

MCC (Método del Camino Crítico). Este método recurre a un diagrama de flechas que representa las interrelaciones de los distintos trabajos de un proyecto. Ingeniería de fábrica hallará que el método le es sumamente útil para planear y controlar colocaciones de maquinaria o equipo dar una nueva disposición a las instalaciones, reparaciones mayores, colocación de dispositivos auxiliares, ampliación de instalaciones, nuevas construcciones, reconstrucción de hornos, mantenimiento de plantas de energía y muchos otros proyectos.

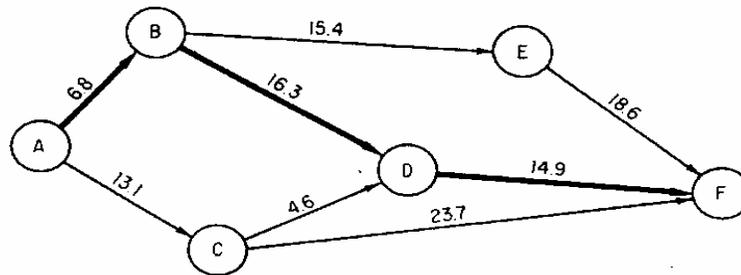
El camino crítico se expresa, como ha quedado dicho, con un diagrama en flechas de los componentes básicos de un programa, a saber: 1) eventos o nodos, que constituyen un punto claramente definido en el señalamiento del tiempo en que principia o termina un trabajo del proyecto, y 2) trabajos o actividades, que son los que se desarrollan entre evento y evento, y que tienen que terminarse antes de que tenga lugar la siguiente actividad.

El empleo de flechas simbolizando los trabajos (con sus duraciones de tiempo señaladas) y de círculos que representan los eventos, hace que se pueda establecer una relación definida para el avance o progresión del proyecto. Este diagrama exige establecer el trazo de eventos y trabajos o tareas, analizar las relaciones entre ellos, estimar su tiempo de duración y fijar fechas para cada evento. La determinación del mayor tiempo transcurrido a lo largo del diagrama es el *camino crítico* de principio a fin.

El MCC tiene la ventaja de una extrema flexibilidad en cuanto a fechas. En cualquier momento, durante el desarrollo del proyecto, se puede determinar con exactitud dónde es posible disminuir el plazo a efecto de abreviar el tiempo previsto para la terminación de aquél. El análisis indicará qué elementos del diagrama es probable que causen demoras, con lo que será

posible emprender una acción inmediata para evitarlas, lo cual equivale a planear precisis.

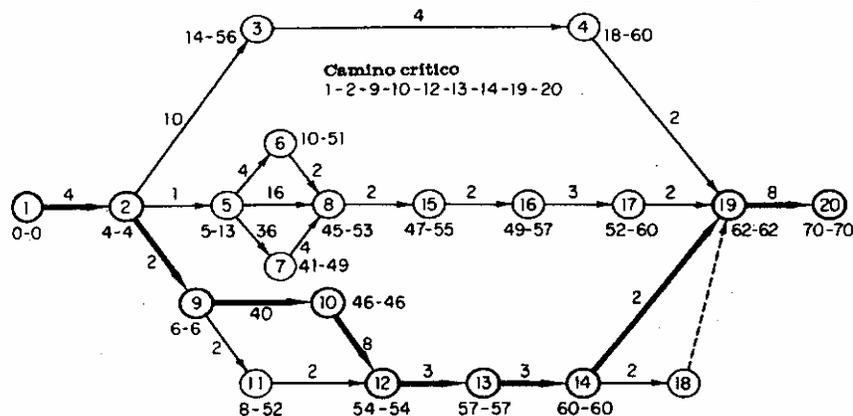
La siguiente gráfica nos muestra un sencillo diagrama de MCC con los tiempos de las tareas señalados por números, los eventos por letras y el camino crítico por flechas gruesas.



Diagramas de flechas "camino crítico"

<i>Camino</i>	<i>Tiempo total</i>	<i>Tipo de camino</i>
A-B-D-F	38.0	Crítico
A-C-F	36.8	Semicrítico
A-C-D-F	32.6	Sobrante
A-B-E-F	30.8	Sobrante

La siguiente figura muestra un diagrama para una compostura mayor típica incluyendo relaciones entre los tiempos de iniciación y fin de cada trabajo. Por ejemplo, el plazo para el trabajo 3-4, consistente en "limpiar todas las líneas de calibración y control" ha sido calculado en cuatro semanas. En virtud de su vinculación con otros trabajos no puede ser empezado antes de la semana 14 y tiene que iniciarse en la 56, dejando un tiempo pendiente o "flotante" de 42 semanas. Por consiguiente, la fecha más próxima de realización es la semana 18, y la más tardía para dar fin al trabajo será la semana 60. Tomando como base el estudio de estos tiempos para todos los trabajos se habrá determinado el camino crítico que se expresará mediante el siguiente diagrama de flechas.



Compostura mayor de bomba y turbina, planeada mediante camino crítico

PERT. La técnica de revisión de evaluación de programas es parecida al MCC en cuanto a que los elementos del programa se indican mediante un diagrama de flechas. La nomenclatura de PERT difiere de la de MCC en que el diagrama de flechas, eventos y actividades de este último es la red de PERT, evento y actividad respectivamente. PERT utiliza un enfoque de tres tiempos con estimaciones del optimista, el más probable y el pesimista por cada actividad separada. Tanto el MCC como el PERT llevan a mejoramientos básicos en la profundidad de la planeación de cualquier proyecto, dando por resultado mejores estimaciones de tiempos. La capacidad para controlar el proyecto se ve aumentada por la pronta identificación de eventos que se van arrastrando o que no han sido completados. Es factible una economía de tiempo y costo, ya que el plazo total del proyecto puede abreviarse por medio del análisis de la red y de una replaneación, con lo que se logra reducir al mínimo las suspensiones en la producción. También se puede hacer bajar el costo mediante abreviamientos selectivos recurriendo a tiempo extraordinario de trabajo si se hace necesario para ciertas fases de la obra.

4.3 ORGANIZACIÓN

La organización del mantenimiento de una fábrica se desenvuelve en forma gradual y a lo largo de cierto periodo; esta organización se establece como resultado de dicho desenvolvimiento. Se trata de una estructura de relaciones prácticas para ayudar a la consecución de los objetivos de la empresa.

Se ha considerado que los trabajos de mantenimiento, esenciales en la mayoría de las empresas, son desarrollados en:

- a) Equipos electrónicos.
- b) Equipos electromecánicos.
- e) Equipos eléctricos.
- d) Equipos mecánicos.
- e) Edificios.

Como por cuestiones económicas no conviene que todas las labores de mantenimiento queden a cargo del personal de la propia compañía, ya sea porque éstas sean poco frecuentes o porque exigen personal muy especializado o porque la empresa no cuente con la maquinaria, instrumentos o tecnología para realizar la actividad; es necesario contar con contratistas de mantenimiento. Al aceptar a uno de éstos es importante que en sus

obligaciones aparezcan, entre otras, la de usar la misma mecánica en su forma

o manera de trabajar que la del departamento de mantenimiento de la empresa, y lo más importante, todos los contratistas deben quedar a las órdenes directas del jefe de la división correspondiente (mantenimiento mecánico, eléctrico, electrónico, conservación de edificios), de forma que se proyecte en su manejo como una extensión de la fuerza de trabajo de éste, a fin de asegurar la coordinación, condición necesaria en todas las labores de mantenimiento de la compañía. Con todo lo anterior se tiene el bosquejo del departamento de mantenimiento, el cual, en este caso estaría integrado por las siguientes divisiones:

- a) División de equipos electrónicos.
- b) División de equipos eléctricos y electromecánicos.
- e) División de equipos mecánicos.
- d) División de edificios.

Es indiscutible que existen funciones idénticas en cada división, las cuales sería muy conveniente manejarlas como funciones de apoyo (staff) para todo el departamento. Estas funciones idénticas serían por ejemplo, las del tipo puramente administrativo, tales como elaboración y control de nóminas, trámites generales del trabajador, emisión de los programas de reparación, los de inspecciones, pruebas y rutinas o los de reconstrucción; por lo tanto, establece los presupuestos que servirán de base al control. Esta oficina llamada en algunas empresas como *Control e Ingeniería de Mantenimiento* hará del conocimiento del personal adecuado, los programas y presupuestos, y también irá informando mensualmente los resultados obtenidos, para que puedan ser comparados con lo presupuestado para cada división y cada una de éstas pueda poner en práctica los correctivos necesarios. Otra función de apoyo muy importante es. la correspondiente a la *Ingeniería de Métodos*, aplicada a los de mantenimiento, es decir, la simplificación del trabajo de mantenimiento la cual se logra analizando y corrigiendo los métodos y como un número variable de éstos forma un procedimiento, tendríamos necesidad de una oficina que se hiciera cargo de esto, la cual, en primera instancia, tendría que escribir todos los procedimientos implícitos, hasta obtener el "*Manual de procedimientos*", que deberá ser analizado y criticado a fin de determinar cuáles procedimientos deberán ser corregidos y hacerlo según su orden de prioridad.

Es necesario recordar que siempre será mejor trabajar con un procedimiento conocido, aunque éste sea malo, que no tener ninguno al respecto.

Posteriormente, esta oficina tendrá como objetivo de rutina la mejora de procedimientos. Otra función staff es la inspección de las labores del personal

e investigar si se están aplicando correctamente los procedimientos, o en caso contrario, dar la enseñanza necesaria para que éstos sean comprendidos y llevados a la práctica. Esta función no se contrapone con la labor del gerente o jefe de la división correspondiente, ya que este último tiene función de supervisor y por lo tanto, el mando directo de su personal. El inspector sólo tiene autoridad de apoyo (staff), por lo que se concretará a indicar al personal de línea (en el nivel adecuado) las deficiencias encontradas y la forma de corregirlas.

Ahora se necesita definir la carga de trabajo para cada puesto y hacer los análisis de puesto de cada categoría que resulte de la división detallada del trabajo, con el objeto de que la oficina administrativa tenga un manual de todos ellos, así como cada jefe o supervisor tenga los correspondientes a su división, sin perjuicio de que debe conocer los de todo el departamento.

Aquí se tiene que indicar cuáles son los pequeños trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo ligeros (que no demandan mucho o nada de conocimiento de mantenimiento) que debe hacer el personal de producción; tales como la lubricación, limpiar su lugar de trabajo, etc. con objeto de que éstos también estén considerados y exista siempre un responsable de su ejecución.

Con los puestos diseñados y relacionados perfectamente y con auxilio de los análisis de puesto, así como de la calificación de desempeño de cada trabajador existente, o los resultados de la selección de personal de nuevo ingreso que nos proporciona el departamento de relaciones industriales de la compañía, se estará en posición de llenar las vacantes del departamento con las personas más adecuadas, tomando nota de los conocimientos o habilidades que pudieran faltarles, con el fin de recomendar a relaciones industriales los cursos necesarios para su completo adiestramiento a fin de poderles delegar la autoridad necesaria a cada puesto y sus ocupantes puedan responder de su actuación ante sus superiores.

Alguien debe tener la responsabilidad de la administración del programa de objetivo de costo del mantenimiento. Desde luego, tiene que ser un ingeniero experimentado y con sentido práctico. En las empresas de una sola fábrica, este coordinador puede ser un alto funcionario o quizá hasta un ayudante del ingeniero de fábrica. En las empresas que cuentan con varias fábricas, el coordinador deberá figurar en el personal de asesoría de ingeniería de fábrica

de la corporación. Dicha tarea, de administrar y coordinar, puede ser sólo un trabajo de tiempo parcial en la fábrica pequeña; pero tal vez pueda requerir

varios especialistas como colaboradores del encargado de la misma, cuando se trata de una organización industrial con varias fábricas. Es de suma importancia que el control del costo de mantenimiento sea un esfuerzo continuo. Para que esté en posibilidad de tener éxito y conseguir lo que se propone, el programa tiene que ser objeto de una atención y cuidado constantes.

El coordinador y sus colaboradores (si los tiene), serán responsables de las siguientes funciones administrativas:

1. Preparar y expedir instrucciones y procedimientos por escrito.
2. Determinar, dar a conocer y poner al día los valores de objetivos de costo.
3. Emitir periódicamente informes de desempeño.
4. Organizar juntas para vigilar el desarrollo del programa, incluyendo por lo menos una al año en cada planta (cuando se trate de una organización multifábricas), y reuniones semianuales o anuales, de varios representantes de fábricas.
5. Coordinación de proyectos de métodos, estudios de equipo, procedimientos de mantenimiento preventivo, etcétera, entre los departamentos y fábricas.
6. Informar del adelanto y los resultados a la dirección general.

4.4 EJECUCION

Para lograr que el personal a nuestras órdenes, ejecute su trabajo con un espíritu lleno de satisfacción y orgullo, lo cual aumentará necesariamente su rendimiento, es indispensable que lo motivemos. Además, sabemos que generalmente se obtienen grandes resultados con el reconocimiento, la realización, etc. Y debemos estar conscientes de que si un empleado a nuestras órdenes hace esfuerzos por superarse, no es contrario a la motivación el que se lo hagamos saber en una forma adecuada al esfuerzo mismo. Debemos desechar la práctica anticuada de exigir por exigir, aun viendo que el esfuerzo de nuestro personal es mayor de lo que normalmente está obligado a dar; esto se basa en la peregrina idea de creer que al reconocer el esfuerzo del subordinado éste dejará de hacerlo por haber quedado satisfecho su ego. Nada más erróneo, pues al exigir sin medida se corre el peligro que llegue el momento en que el sujeto no sepa lo que su jefe desea de él. Experimentos demuestran que los animales racionales somos susceptibles al desquiciamiento cuando no podemos saber si nuestra

actuación es buena o mala, y esto sucede normalmente si se nos da *trato de máquinas*.

Es indiscutible que si nuestros subordinados muestran deseos y hacen esfuerzos mayores de los que tienen obligación, y sin embargo, no obtienen resultados la falta está en nosotros porque no estamos administrando y por lo tanto estamos ocupando un puesto que moralmente no nos pertenece.

Claro que puede darse el caso de que tengamos poco tiempo en él y que encontramos en un caos a todo nuestro departamento pero estaremos obligados a detectar que la falla de nuestros subordinados a pesar de sus esfuerzos extras está en nuestras manos corregirla y no en la de ellos. Por lo tanto, debemos acercarnos a ellos, entenderles, analizar sus problemas, hasta que estemos seguros de que existe entre ellos y nosotros una buena comunicación; asegurarnos que entienden su puesto y las relaciones de éste con los demás; que dominan sus procedimientos y los llevan a la práctica; en fin, que los problemas que tengan que resolver sean los suyos y no los nuestros. Debemos verificar que nuestras órdenes son entendidas, razonables, sin exigir milagros y hasta entonces estaremos en posibilidad de coordinar las labores de cada uno de los integrantes de nuestro grupo.

4.5 CONTROL

Con el auxilio del staff, se les dan las herramientas de control a los jefes de división ya que por una parte, la oficina de programas y presupuestos proporcionará las *gráficas de control*, los presupuestos o metas y la información mensual de los resultados obtenidos; por otra, los inspectores auxilian a todos los jefes de línea de cualquier nivel (inclusive al jefe de departamento, si es necesario) a analizar las herramientas de control, a fin de sugerir la forma de resolver los problemas, ya sea revisando los procedimientos e informando en caso necesario a la oficina que cuida de ellos o a investigar la capacidad del personal, sus habilidades, su aptitudes para el diagnóstico de fallas en el equipo, la calidad de la mano de obra, que los programas sean realizables y en fin, todo lo que se consideró que debe ser controlado. Por lo tanto, los jefes de línea verán en el staff un elemento de auxilio en todas sus funciones y en particular una ayuda para una mejor interpretación de sus herramientas de control, y lo que es más, siempre podrán encontrar una opinión técnica muy autorizada que les facilitará la toma de decisiones.

Al establecer los sistemas de control, hay que ser muy cuidadosos a fin de que éstos se basen en resultados y no en actividades; está fuera de toda razón el pretender guiar a los subordinados directos indicándoles cada cosa

que deben hacer, cada paso que han de dar, prácticamente sin delegarles la autoridad necesaria, llevándolos de la mano durante el desarrollo de sus actividades y al mismo tiempo exigir resultados.

Esto es como si cuando se maneja una marioneta se le responsabilizara de su actuación o del efecto que ésta produzca en el ambiente que la rodea.

Es necesario establecer una serie de reportes o informes desde los niveles inferiores hasta los superiores, para que estos escalones estén enterados de los resultados y se facilite el control de ellos. Uno de los vicios que se deben extirpar es el de exigir a los niveles inferiores que los informes sean numerosos o tan detallados que prácticamente los hacen inservibles.

Debe tenerse en mente que al que le interesa el informe detallado y fresco es al responsable directo de la función, pues tiene que tomar decisiones inmediatas y bien basadas para corregir muchas veces en el momento en que está produciéndose el error. No así a los niveles que le siguen en orden ascendente, a los cuales les van resultando menos útiles los detalles, teniendo que generalizar más hasta llegar a controlar.

Como ejemplo, podemos suponer que en el departamento de mantenimiento, la división de equipos eléctricos y electromecánicos prepara un informe que indica la cantidad de alambre utilizado en determinado motor, el tipo de barniz, el número de baleros cambiados, los carbones, el trabajador que lo arregló, el tiempo que utilizó y, en fin, una serie de detalles que muchos de ellos pierden rápidamente actualidad. Si se ha calculado que este informe llegue a los niveles superiores, seguramente más del noventa por ciento de su contenido va a resultar inútil. Por otra parte, se tendrán muchas horas-hombre perdidas, pues esta clase de informes, aparte de la gran cantidad de tiempo que se necesita para elaborarlos, producen confusión, preguntas inútiles, investigaciones embarazosas y dan resultados negativos hasta para las relaciones humanas. Si el informe hubiera sido bien estudiado, seguramente lo que interesaría a los escalones superiores sería conocer, en forma general, la cantidad de alambre que se usa mensualmente, la producción promedio mensual de la división, el rendimiento promedio del personal, etc., pues las decisiones que tienen que tomar estos niveles son generalmente para obtener resultados a un plazo más o menos largo.

OBJETIVOS DE COSTO PARA EL CONTROL DEL MANTENIMIENTO

Es factible lograr un estrecho control del costo de la mano de obra de mantenimiento recurriendo a la aplicación de normas de trabajo para las

distintas operaciones de esa función. Sin embargo, un control de esa clase es relativamente costoso de instalar y sostener.

Ahora bien, el control del costo de la mano de obra de mantenimiento, al igual que el de materia prima y accesorios, puede desarrollarse con base en el costo histórico, haciendo un desembolso mínimo de instauración y mantenimiento. Pero estos controles se fincan en una base más amplia, más general y, por ende, no pueden reflejar con exactitud las muchas variables relacionadas con la medición del mantenimiento.

Aun cuando un programa con objetivo de costo puede ser de utilidad para una sola fábrica, su principal ventaja es cuando se establece en varias plantas iguales. Los procedimientos se diseñan para localizar los aspectos de bajo costo en una fábrica, que beneficien a las demás de la empresa.

La finalidad básica del programa es estimular la reducción del costo de mano de obra de mantenimiento y materias primas, comparando el precio real con el que se sabe es posible obtener. Se puede conseguir un cierto equilibrio entre el beneficio potencial y el costo de instauración y mantenimiento, mediante un programa de objetivos de costo.

Por consiguiente, los *objetivos* de costo no son normas de costo, ya que estas últimas representan un nivel esperado que puede haber sido alcanzado o no en el pasado. Un objetivo de costo proporciona un objetivo realista a qué apuntar, y el grado hasta el cual se ha visto realizado, puede medirse para mostrar los niveles de desempeño conseguidos en un lapso determinado.

Los objetivos de un programa de objetivos de costo tienen por propósito reducir la mano de obra de mantenimiento y el costo de material hasta un nivel mínimo (o mantenerlo en ese nivel) compatible con buena producción, alta calidad y un buen estado de las instalaciones. Esto puede conseguirse estimulando al personal de mantenimiento y producción para que saquen mejor partido de su tiempo, material y accesorios, y no abusen o deterioren las instalaciones del equipo.

El procedimiento a base de objetivos se ha empleado eficazmente para aumentar los controles existentes de mantenimiento que se basan, de una manera primordial, en datos estándar. En una empresa con varias fábricas, el sistema será más benéfico, pues alentará el intercambio de métodos y buenas ideas.

DEFINICION DE LOS OBJETIVOS DE COSTO

El objetivo de costo consiste en precisar lo que cuesta la función de mantenimiento. El objetivo debe constituir un reto y habrá de ser realizable sólo por medio de un esfuerzo adicional. Por esto mismo, el objetivo tiene que ser realista, pues de otro modo será menospreciado como impracticable o imposible.

A) OBJETIVOS DE COSTO EN EL EQUIPO

Pueden elaborarse objetivos de costo para piezas específicas de maquinaria, grupos de máquinas, equipo auxiliar, funciones de aseo e higiene, o instalaciones. Los objetivos mencionados son costos unitarios desarrollados a partir de registros de costos pasados para unidades de operación, como:

Prensas de troquelar	Transportadores
Hornos eléctricos	Laminadoras
Compresoras de aire	Ollas de remojo
Pistolas de aire para aplicar pintura	Cizallas eléctricas
Grúa alta	Frenos de presión
Línea de empaque	Línea de envasado
Tractores y camiones industriales	Línea de montaje

Los objetivos de costo en maquinaria se expresan en valores monetarios de mano de obra o material para el mantenimiento, cargable a la maquinaria, equipo auxiliar u horas-hombre de mano de obra. Por ejemplo, un objetivo de costo podría expresarse como 2.0 dólares por hora por mes, o en combinación con una constante que podría ser 10 dólares por día de operación, más 2 dólares por 100 kilogramos producidos.

B) OBJETIVOS DE COSTO EN DEPARTAMENTOS

También pueden establecerse objetivos de costo para departamentos específicos. El objetivo de costo puede ser el más bajo por mantenimiento mensual, logrado en el departamento durante cinco años, o bien el promedio del mejor costo en tres, cuatro, diez meses, etcétera.

Los objetivos de costo en departamentos se expresan también en valores monetarios de mano de obra o material en el trabajo de mantenimiento, por unidad de medida.

Estas unidades de medida incluyen desembolsos por concepto de mantenimiento, por:

Kilogramo	Pieza
Semana	Litro
Mes	Kilómetro
Horas de operación	Días de operación

A veces, el objetivo de costo será una combinación de dos o más unidades. Por ejemplo, dicho objetivo en una sala de plateado se podría expresar como 100 dólares al mes, más 10 dólares por 500 kilogramos plateados por mes.

C) OBJETIVOS DE COSTO EN FÁBRICA Y EMPRESA

Los objetivos en maquinaria y departamento pueden desarrollarse sobre la base de fábrica y/o empresa, cuando se trate de una empresa multifábricas. Los objetivos dentro de las fábricas se fijarían partiendo de los datos de costo originados en cada fábrica, en tanto que los objetivos interfábricas partirían de los datos de varias fábricas.

ELABORACION DE LOS OBJETIVOS DE COSTO

La elaboración de los objetivos de costo requiere del análisis de los registros de costo pasados. Estos registros tienen que ser exactos, ya que de lo contrario los objetivos se deformarán y no serán dignos de confianza. No sólo debe disponerse de cifras contables adecuadas, sino también los cargos correspondientes a la mano de obra y el material de mantenimiento tienen que ser fidedignos.

Los registros deben corresponder a varios años anteriores, de preferencia cinco. No obstante, puede recurrirse a periodos más breves si los resultados son verificados periódicamente en el curso de los primeros años de implantación del programa. Como las unidades de costo suelen expresarse en cifras monetarias, es necesario modificar las cifras anteriores por mano de obra y material para que su nivel sea constante.

Este equilibrio suele ser el año corriente, y los números se ajustan para que reflejen las diferencias en los niveles de tasa base y los cambios ocurridos durante el periodo abarcado por los registros anteriores. De modo semejante, los precios de material tendrán que ajustarse para considerar los cambios en precios.

OBJETIVOS DE COSTO EN DEPARTAMENTOS

Antes que todo hay que definir cuidadosamente los límites y alcance del departamento de que se trate. Esto es particularmente importante en el caso de una sola fábrica, porque todo cambio pasado o futuro en la estructura del departamento afectará el costo del mantenimiento. Cuando se comparan departamentos de varias fábricas, es todavía más importante asegurar que se midan las unidades iguales. Diferencias menores, como las de distribución, superficie abarcada, edad del equipo, etcétera, pueden ser pasadas por alto o, si se hace necesario, anotarse para referencia.

Además de los datos de costo real del departamento (ajustados a los cambios de salario o de costo del material), deben tenerse otros indicadores pertinentes. Resulta que a menudo es más difícil disponer de cantidades adecuadas en este renglón, que en el de costo de mantenimiento.

Cuando se utilice el objetivo de unidad sencilla, el costo real modificado correspondiente a cada mes, dentro de la información de costo, se divide por la cantidad correspondiente del artículo o renglón que se está midiendo. Ejemplo de objetivo de costo de mano de obra de mantenimiento, podría ser 2.50 dólares por 500 kilogramos de producto terminado por mes. El objetivo de costo del departamento puede ser el unitario menor, para el periodo cubierto por los datos, o si éste fluctúa en ese periodo, el promedio correspondiente a los tres o seis meses más bajos, puede ser utilizado. A mayor desviación, más práctico será seleccionar varios meses, teniendo, empero, siempre presente que el objetivo tiene que seguir constituyendo un desafío, para que pueda alcanzarse solamente con una muy buena función.

Cuando se emplee un objetivo combinado, los datos de costo real pueden trazarse contra el determinante seleccionado. Esto es práctico en casos en que se requiera de algún mantenimiento en un departamento, independientemente del volumen de productos o del número de horas-máquina. El análisis gráfico proporciona una norma de combinación expresada en valor monetario por millar de unidades, más tanto dinero por mes o por otro periodo de operación.

Con mucha frecuencia el objetivo de costo de mantenimiento no estará en proporción directa al volumen de productos elaborados, ni a la magnitud más un costo constante (objetivo de unidades combinadas). Es posible que en volúmenes bajos o medios de producción, el objetivo de esa clase sea difícil, en tanto que cuando la producción sea alta, ese mismo objetivo resulte demasiado liberal.

OBJETIVOS DE COSTO EN EQUIPO

Los objetivos de costo en equipo se establecen en la misma forma que los de departamento. La información de costo correspondiente a cada unidad de la instalación fabril (máquina, línea, equipo, grupo, etcétera) se modifica hasta una base común para los cambios de costo más bajos, puede ser utilizado. A mayor desviación, más práctico será seleccionar varios mesa, teniendo, empero, siempre presente que el objetivo tiene que seguir constituyendo un desafío, para que pueda alcanzarse solamente con una muy buena función.

Cuando se emplee un objetivo combinado, los datos de costo real pueden trazarse contra el determinante seleccionado. Esto es práctico en casos en que se requiera 'de algún mantenimiento en un departamento, independientemente del volumen de productos o del número de horas-máquina. El análisis gráfico proporciona una norma de combinación expresada en valor monetario por millar de unidades, más tanto dinero por mes o por otro periodo de operación.

Con mucha frecuencia el objetivo de costo de mantenimiento no estará en proporción directa al volumen de productos elaborados, ni a la magnitud más un costo constante (objetivo de unidades combinadas). Es posible que en volúmenes bajos o medios de producción, el objetivo de esa clase sea difícil, en tanto que cuando la producción sea alta, ese mismo objetivo resulte demasiado liberal.

OBJETIVOS DE COSTO EN EQUIPO

Los objetivos de costo en equipo se establecen en la misma forma que los de departamento. La información de costo correspondiente a cada unidad de la instalación fabril (máquina, línea, equipo, grupo, etcétera) se modifica hasta una base común para los cambios de costo de mano de obra y material, a partir del periodo de referencia. El costo unitario por determinante se prepara por mes o periodo. El mes más bajo o el promedio de los tres a seis meses mas bajos, se selecciona como objetivo. Un ejemplo de intento sería 0.75 de dólar por hora de funcionamiento de maquinaria por mes.

Por lo general, los objetivos de costo unitario son función de un solo determinante; pero sin que ello quiera decir que no se puedan combinar para unidades de instalación, si es que se considera conveniente. También en este último caso, los datos de costo se pueden trazar en comparación con los determinantes que reflejen mejor la variación en actividad, de la máquina o línea de que se trate.

Es menester observar que muchas veces ocurre que haya varias unidades de máquinas o líneas iguales. Por ejemplo, el costo por hora de operación puede representar el costo total de mantenimiento por mes, en tres líneas de rebanadoras de tocino. El objetivo de costo se expresa en dinero por hora de operación de la línea, o puede también expresarse en dinero por peso de un ciento, o por millar de unidades.

De los estudios del costo real, una empresa fabricante de automóviles ha elaborado determinantes que fijan los objetivos de costo de mano de obra, para diversas operaciones de mantenimiento, por ejemplo de transportadores, equipo eléctrico móvil, casetas para pintar con rocío, calibres de montaje de carrocerías y aparatos eléctricos, así como de la función de desembarazarse de basura y cieno, etcétera. Los objetivos de costo se expresan en horas-hombre y muy a menudo se toman en cuenta no sólo la cantidad de cosas a conservar (longitud de transportadores, cantidad de montacargas, longitud de la caseta a pintar, etcétera), sino también el número de vehículos fabricados. La cantidad de productos se determina hasta dónde se opera el equipo y, por consiguiente, de la carga de trabajo de mantenimiento. El objetivo de costo de mano de obra abarca únicamente las reparaciones ordinarias y excluye las de trascendencia mayor.

En la siguiente tabla se muestran los determinantes para el mantenimiento de equipo eléctrico móvil; se ilustra lo que es un objetivo combinado.

<i>Equipo</i>	<i>Horas-hombre, cada una por día</i>
Montacargas de horquilla	0.094
Tractores remolcadores	0.078
Arrastradores de pinzas	0,038
Equipo diverso (carretilla de paleta, transportadores de personal, etcétera)	0.028
Barredoras y cepillos mecánicos, y camiones y tractores	0.083

CAPITULO 5. IMPLANTACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO UNO MAS TRES

En este capítulo se verá la forma detallada en que se implanta un Plan de Mantenimiento Preventivo Uno mas Tres tomando el análisis total de fallas y problemas en la maquinaria crítica la cual será establecida por la importancia en el cumplimiento de los programas de producción; basándose el desarrollo del mismo en el presupuesto asignado mensualmente al departamento de mantenimiento. No importando si el presupuesto es fijo o variable.

5.1 ANALISIS DE FALLAS MÁS FRECUENTES

Es necesario como primer punto determinar tanto las fallas como los problemas que existen dentro de las áreas de servicio y líneas de producción relacionados al mantenimiento.

La solución fundamental a los problemas de mantenimiento consta de tres fases a saber.

1.- Efectuar un análisis de toda la gama de posibilidades e identificarlas no como casos específicos, sino como una asociación de los elementos fraccionales relacionados con factores tales como tipo de operación, ubicación, tamaño y peso; exigencias cualitativas y la elaboración de datos, gráficas y tablas.

2.- Fragmentar toda operación futura que pudiera definirse y especificarse con anticipación.

3.- Estructurar en forma sintetizada de aquellas operaciones que no pueden definirse y especificarse con anticipación.

Este análisis se debe hacer en forma detallada tomando en cuenta la experiencia del operador en el conocimiento del funcionamiento del equipo, máquina o área de servicio.

El hecho de realizar un análisis detallado de las hojas de servicio con el historial y la repetitividad de las fallas ayuda a concentrarse en la solución del problema atacándolo de raíz dando pauta a una eliminación del problema de una forma completa.

5.2 ANALISIS DE EQUIPO CRÍTICO

Para cada fábrica variará el equipo que se considere crítico ya que hasta el más pequeño ventilador puede ser o no importante de acuerdo al proceso que se desarrolle en cada lugar. Es de vital importancia definir en conjunto tanto el departamento de mantenimiento y el de producción, los equipos y sistemas que ante la falta en la calidad en el servicio hagan que no se cumplan al cien por ciento las entregas programadas del producto final.

El departamento de mantenimiento como un prestador de servicio no puede determinar qué equipo se considera crítico pues no tiene la facultad de programar la producción. Por lo tanto es función del jefe de producción dar los equipos que se consideren críticos por la importancia en capacidad de producción y calidad del producto al cliente final.

Al haber determinado el equipo crítico es de suma importancia tener la clasificación de las refacciones necesarias para mantener la maquinaria dentro de los parámetros de calidad de servicio, para lo cual es necesario mantener una buena organización en el control de elementos de máquina.

Al desarrollarse la maquinaria y equipos industriales y hacerse más complicados, es indispensable que la administración se percate de que no es posible resolver los problemas de mantenimiento con "amarres de alambre y varillas de soldadura". Un factor importante para la reducción de costos es el control adecuado de las piezas de repuesto, materiales y accesorios de mantenimiento. En la mayoría de las fábricas, independientemente de su tamaño existe la tendencia a subestimar la importancia de ese control, que cuando no se ejerce como debe ser, origina costos exagerados con la consiguiente pérdida de utilidades. Cuando se tiene una existencia demasiado baja de algún artículo necesario, puede causarse un grave perjuicio a la producción por paralización prolongada, amén de mayores gastos como resultado de la necesidad de fabricar especialmente la pieza de que se trate.

Por otra parte, tener una existencia demasiado alta resulta costoso, debido a los intereses inútiles que devenga el capital invertido al espacio de almacenamiento indebidamente ocupado, al inventario de bienes o impuesto de bodega que a menudo hay que pagar y al riesgo de que caigan en desuso las piezas. El primer paso para el control de los materiales, consiste en inventariar y catalogar todas las piezas de repuesto que se encuentren dispersas en la fábrica; inclusive las que estén guardadas en los armarios de los mecánicos.

Cada pieza se identificará por la máquina a que corresponda y su número, nombre y cantidad se registrarán en un marbete que se le adherirá. También se anotará en el registro de piezas de repuesto según la máquina o departamento a que corresponda, indicando el lugar donde se encuentra. Si una pieza determinada se utiliza en más de una máquina, debe asentarse este hecho tanto en el marbete como en el registro. Tan pronto como una pieza es marbetada, se instruirá a quienes la usen, que cuando dispongan de ella entreguen el marbete respectivo a fin de que el inventario se mantenga al corriente y se pueda ordenar su reposición. Esto puede ser el principio de un sistema de inventario perpetuo susceptible de ampliación posterior.

Levantar un inventario físico de material de almacén necesita planeación y organización. La responsabilidad debe ser de alguien que esté familiarizado con la maquinaria y el equipo de la fábrica y que conozca el costo y disponibilidad de los diferentes artículos. Esa persona necesita el tiempo suficiente y la ayuda humana adecuada para llevar a cabo una labor minuciosa y precisa. Asimismo, debe contar con el material impreso (catálogos y fotografías) necesarias para la identificación de las piezas.

Una vez escogido el lugar para el establecimiento de la bodega, se procederá a erigir los anaqueles de almacenamiento. El área debe ser protegida en forma que se pueda conservar el control de las partes y accesorios. Las piezas mayores se almacenarán en las áreas designadas por su cercanía al sitio donde van a ser utilizadas, teniendo cuidado de protegerlas de todo deterioro indebido. Hay que hacer hincapié en que este material, aun cuando se halla fuera del almacén, sigue bajo el control de este último y, por tanto, al disponer del mismo tendrá que darse aviso al almacén para reponer la existencia y hacer el registro correspondiente. Toda pieza que haya caído en desuso, deberá ser retirada del local de la fábrica y vendida o enviada a desperdicios.

Una vez que se ha realizado el inventario físico., el siguiente paso será decidir qué piezas y accesorios conviene seguir teniendo en existencia y qué cantidades mínimas y máximas deben fijarse para cada artículo. En cuanto a esto último, cuando no existan registros de la utilización real, la decisión estará sujeta al criterio personal, que se ilustrará en la información que proporcionarán supervisores y mecánicos. La determinación de qué renglones llevar en existencia y sus montos, se basará en el empleo que se espera y en los plazos de entrega de proveedores. Por ejemplo, si una banda se sustituye cada segunda semana y la entrega normal es de seis semanas, conviene tener en existencia un mínimo absoluto de cuatro bandas. En el caso de un motor cuya utilidad es de importancia crítica, o cualquier pieza grande y

costosa del mismo, habrá que ver si tener en almacén un motor entero es conveniente, porque podría costar más de lo que resulte práctico invertir. Si la respuesta fuese negativa, convendría ver si sería apropiado llevar en existencia una bobina del campo como mínimo indispensable. También habría que precisar si una armadura de repuesto sería una inversión conveniente que echaría a andar el equipo nuevamente y casi tan aprisa como instalando un motor nuevo. Es fácil efectuar un estudio de costos para evaluar el monto de tener en existencia el total o una parte de una pieza costosa, comparando con los perjuicios causados a la producción por no llevarla en existencia, y teniendo en cuenta el tiempo necesario para su instalación.

Hay numerosos casos en los que se llegan a tener en existencia más artículos de los establecidos como máximo. Tal vez sea entonces posible y conveniente revenderlos o devolverlos al proveedor; en otras ocasiones los artículos se dejarán en el almacén, dejando que su utilización normal reduzca el número hasta alcanzar la cantidad fijada como base. Una vez completada la lista de las piezas que deben tenerse en existencia, se pasará a elaborar un análisis de costos, a efecto de determinar la inversión total que representarán.

Este monto se hará del conocimiento de la dirección general para que se le hagan las modificaciones necesarias. Habrá casos en los que podrá hacerse que los proveedores sean quienes conserven en existencia el artículo, ahorrándose con ello costos de inventarios a la fábrica, además de disminuir el espacio de almacenamiento.

Suele ser beneficioso llevar primero al almacén todas las partes correspondientes á un departamento de producción. Todas las chumaceras se ubicarán en una sección, todos los motores en otra, todas las cajas de engranes en otra, etcétera. Al colocar los artículos pertenecientes al siguiente departamento y los de departamentos sucesivos, es necesario comprobar qué chumaceras y otras partes son intercambiables, con objeto de colocarlas en un mismo anaquel.

Esto puede tardar algo, pero vale la pena el tiempo y esfuerzo que se inviertan, fijada la intercambiabilidad, se anotarán los números de las diversas máquinas que utilizan la pieza en la tarjeta de anaquel, para evitar equivocaciones o duplicaciones. Fuera del almacén es conveniente establecer un sistema para que todas las piezas sean limpiadas antes de almacenarlas.

LOCALIZACION DEL ALMACÉN

Pocas personas, inclusive supervisores de mantenimiento, se percatan de la frecuencia con que acuden los mecánicos al almacén, y del costo que representan estos viajes. Un examen de las órdenes de trabajo demostrará, muy probablemente, que 80 a 65 por ciento de los trabajos se llevan menos de dos horas en su ejecución y que la mayoría de los mismos requiere cuando menos de un viaje al almacén. Éste debería hallarse situado en el centro de la fábrica; pero, suponiendo que su ubicación actual exija caminar un excedente de 90 metros y que el promedio de velocidad de avance al caminar es 60 metros por minuto, el tiempo requerido por un mecánico para trasladarse al almacén, ascenderá a más de 40 horas al año. Esta pérdida anual, que equivale a una semana de tiempo de mecánico, demuestra la importancia que tiene instalar el almacén en un punto central.

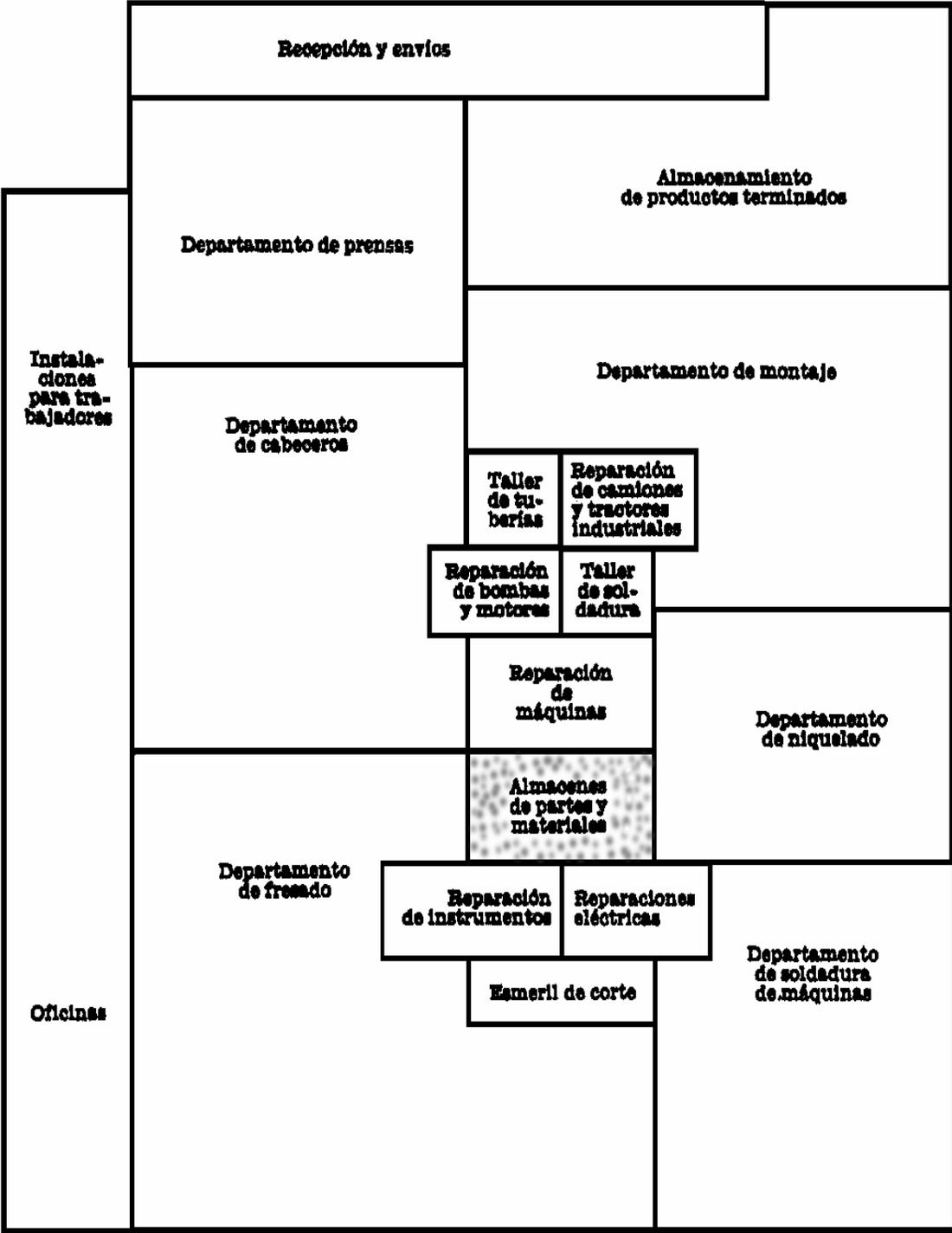
Sin embargo, para obtener una economía máxima, convendría que el almacén de partes de repuesto se ubicara tan cerca como fuese posible del centro de actividad de los mecánicos que necesitan de sus servicios. El emplazamiento del almacén afectará mucho más a los mecánicos que, pongamos por caso, a los carpinteros, cuyos efectos o accesorios se encuentran situados de ordinario cerca del taller de carpintería.

Si la fábrica se halla en expansión, la dirección en que se está efectuando la ampliación, es un factor que hay que tomar en cuenta para escoger el sitio de emplazamiento, porque lo que es central y práctico ahora, puede no serlo mañana. Es probable que la expansión exija reubicar el almacén.

Un almacén de piezas de repuesto establecido en el centro geográfico de la fábrica, no estaría bien si las instalaciones productoras se hallaran en un extremo del local y el almacén general y de embarques en el otro.

Es evidente que la ubicación está determinada por la posibilidad de que la demanda de partes y materiales de mantenimiento sea mayor en los departamentos de maquinado y soldadura mecánica que en los de productos terminados, troquelado y montaje. La ampliación de la fábrica en las direcciones indicadas, puede necesitar una revisión del tamaño y emplazamiento de almacenes y talleres, dependiendo de la importancia de dicha ampliación; pero si ésta no va a cambiar mucho el centro de la actividad de mantenimiento, las instalaciones respectivas pueden seguir en su sitio.

La siguiente figura presenta una disposición de fábrica en que los talleres de mantenimiento y los almacenes de partes y materiales se encuentran cerca del centro del área de fabricación, y se adaptan a talleres y áreas de reparación.



Las dimensiones del almacén dependerán del tipo de industria, de la complejidad de la maquinaria, de la ubicación de la fábrica, de los fondos de que se dispone para la adquisición de piezas, y de muchos otros factores. El espacio se planeará, siempre que sea posible, con una previsión de cinco años, tomando en cuenta una expansión vertical y horizontal. A veces convendrá colocar artículos usados en un segundo *piso o mezzanine*. Aproximadamente se necesitarán 4.64 metros cuadrados por operario de mantenimiento, excluyendo carpinteros, pintores y otros artesanos que guardan sus materiales y accesorios en sus talleres. En casos especiales, convendrá hacer un estudio de las necesidades de espacio, tomando en cuenta las circunstancias conocidas.

Las partes y materiales se guardarán de manera que su entrega sea rápida a los operarios de mantenimiento. En la distribución ilustrada por la figura anterior deberá abrirse una ventanilla de entrega a cada extremo del almacén. Las partes necesarias para los departamentos de troquelado, labrado y cabeceado, se colocarán en el extremo izquierdo, y los de los departamentos de montaje, niquelado y soldadura mecánica, al extremo derecho. Todo se pondrá en lugares fácilmente accesibles, con base en la frecuencia del empleo y tipo de las piezas.

La mayoría de los entrepaños serán de 23 centímetros de ancho, 23 de alto y 30 de profundidad. Aunque es difícil predecir el número de entrepaños que se necesitarán, puede anticiparse que, para empezar, un 80 por ciento será de las medidas citadas. Un receptáculo abierto con divisiones deberá contener tuercas, pernos, clavos, tornillos y otros artículos estándar.

MÉTODOS DE ALMACENAMIENTO

La primera decisión que hay que tomar es respecto a lo que debe almacenarse. Esto desde luego, depende de las circunstancias particulares; pero hay varios principios que pueden servir de guía. El primero, que los artículos grandes, voluminosos y especiales, se almacenarán cerca del punto donde se vayan a usar (almacenes de repuestos especiales). Esto disminuye las maniobras y pérdidas de tiempo en su traslado. El segundo principio es que todo artículo expuesto a la posibilidad de hurtos, se guardará en un almacén bajo control. Las piezas muy costosas o delicadas, como válvulas electrónicas, reóstatos, dispositivos para prueba, moto reductores y demás artículos que variaran para cada fábrica en cuanto a considerarlos valiosos, se guardarán también en el almacén.

En cuanto a tuercas, pernos, tornillos, fusibles eléctricos, bandas y otros artículos de uso común y constante, se ubicarán al frente del almacén con objeto de que el almacenista no tenga que caminar mucho y que el mecánico que los solicita no pierda tiempo esperando. Se deberá tener a la mano pequeñas cantidades de estos artículos, en almacenamiento no controlado, para que dispongan de ellos fácilmente los mecánicos de área. Las cajas de interruptores eléctricos, motores de repuesto y otros artículos que se usen de vez en cuando, se guardarán al fondo del almacén o en un segundo piso.

El objetivo será utilizar lo mejor que se pueda el espacio disponible, a la vez que atender en el menor tiempo las demandas de los artículos que se usen con frecuencia. Se destinará bastante espacio en los anaqueles, para engranes, fusibles, focos, brochas, interruptores eléctricos, conexiones de tubería, etcétera. En algunos casos será aconsejable fijar un lugar específico para todas las partes de alguna unidad importante de equipo.

Madera para los carpinteros, hojas de metal para los hojalateros, pintura para los pintores y otros artículos de este tipo, suelen almacenarse en o cerca de los talleres respectivos, con objeto de economizar tiempo.

CANTIDADES NECESARIAS

Las cantidades a almacenar varían según el tamaño de la empresa y el ramo industrial. Sin embargo, pueden considerarse varios aspectos útiles; la finalidad básica de un almacén es proporcionar cantidades normales y razonables de materiales y accesorios que se necesitan para que los tiempos de paro sean mínimos y mantener la fábrica en funcionamiento.

La mayor parte de materiales, accesorios y partes de repuesto se almacenan sobre una base de máximo-mínimo. La cantidad mínima es la considerada ligeramente mayor que la suficiente para durar desde el momento en que se llega al mínimo, hasta que una entrega normal restituya el nivel. La cantidad máxima se finca en consideraciones económicas. Por una parte se puede desear fijar el máximo como la cantidad sobre el mínimo que permitirá comprar una cantidad que represente un precio bajo. Por otra, es menester recordar que todo lo almacenado tiene que pagar su sitio de espacio de almacenaje, inversión de capital y pérdida de los intereses sobre ese capital invertido; además, los artículos, en un momento dado, pueden caer en desuso, haciendo que gran parte de la inversión se pierda. Como si esto fuera poco, hay organismos del gobierno que imponen un impuesto de propiedad sobre los inventarios de partes de repuesto, lo mismo que sobre productos.

Al determinar la existencia máxima, debe tenerse en cuenta también lo que se necesitaría en el caso de que tuvieran lugar dos o tres descomposturas de importancia, al mismo tiempo. Esto no es raro en una fábrica de tamaño mediano o grande, y debe ser tomado en cuenta al decidir sobre existencias máximas de artículos tales como chumaceras, que a menudo son intercambiables entre diferentes máquinas.

Cuando se utiliza maquinaria de diferentes fabricantes, conviene estudiar sus necesidades de cojinetes o chumaceras, con objeto de determinar las posibilidades de intercambiabilidad entre las distintas máquinas. El tiempo de entrega es un factor importante a considerar para establecer cantidades máximas y mínimas. En los artículos que el proveedor surte con prontitud, el saldo máximo de inventarlo puede ser disminuido. Los artículos que tienen plazos de entrega largos, a menudo se tardan todavía más, porque por lo regular son complicados y pueden sufrir demoras en la fabricación. Por desgracia, son la clase de piezas o artículos que pueden paralizar por completo una máquina o la fábrica entera. Las cantidades máximas de piezas intercambiables, como son accesorios de plomería y brochas, pueden ser mantenidas bajas, porque casi siempre hay fuentes próximas de abastecimiento.

Al fijar las cantidades para existencias, hay que recordar que muchas piezas pueden reconstruirse de una manera económica, mediante técnicas de soldadura por rocío u otras que estarán en función del conocimiento y experiencia del ingeniero de mantenimiento, regresándolas al inventario y reduciendo con ello los saldos del mismo. Muchos abastecedores mantienen existencias de partes para entrega inmediata. Aun cuando no suelen hacerlo normalmente, puede persuadírselos a que lo hagan, aun cuando el volumen de compras no sea elevado. Esta clase de servicio al cliente cada vez es más común, ya que los proveedores buscan ganar pedidos y tener contentos a sus clientes.

La mayoría de los fabricantes de maquinaria suministran, al serles solicitada, una lista de cantidades máximas y mínimas que recomiendan, se tengan en existencia de las partes de repuesto. Conviene tomar en cuenta estas sugerencias; pero habrán de modificarse cuando sea necesario pudiendo combinarse con las necesidades particulares. En cuanto a las cantidades correspondientes a piezas intercambiables pueden ser ajustadas dependiendo de las circunstancias especiales que concurren.

Si la experiencia que se ha tenido con una determinada pieza no ha sido satisfactoria, conviene pedirle al fabricante que la surta en un material más resistente, duro o mejor. Si la solicitud se rechaza, se puede hacer que los dibujantes de la empresa la detallen en forma de plano buscando perfeccionarla para que rinda mejor servicio y luego mandarla a hacer en un taller. Aun cuando el costo de ordenar pocas piezas de un artículo puede ser elevado, es probable que convenga con tal de lograr una duración mayor de la pieza y evitar los paros y pérdidas en la producción.

ENTREGA DE PIEZAS DE REPUESTO

Cuando se planea un trabajo deberá hacerse una lista de las piezas de repuesto que se necesitan para llevarlo a cabo. Estas piezas se entregarán en el lugar de la reparación por el personal del almacén, con anterioridad al momento en que se iniciará aquélla, a efecto de que no incurra ninguna demora en la ejecución del trabajo. Muchas empresas han elaborado sistemas para efectuar dichas entregas. A menudo se recurre a carros o bicicletas de tres ruedas, con pequeños portabultos para que los mecánicos reduzcan su tiempo de traslación entre el lugar de trabajo y el almacén. Instalar aparatos telefónicos en lugares apropiados en todo el recinto de la fábrica o en su defecto sistemas de comunicación inalámbrica, permitirá que los operarios de mantenimiento hagan pedidos a los almacenes y reciban así lo que necesitan, con mayor rapidez, reduciéndose con ello el tiempo de ejecución del trabajo encomendado y el tiempo de paralización de la máquina. Una eficaz comunicación y transportación son tan esenciales para un eficiente manejo de las piezas en existencia, como lo es el tamaño y ubicación del almacén.

REGISTROS

La documentación debe reducirse al mínimo. El sistema ideal es el que utiliza equipo electrónico de procesamiento de datos y un inventario perpetuo. Los saldos máximos y mínimos se revisarán a intervalos de seis meses a un año. A intervalos, el costo del inventario de piezas disponibles se divide por el costo promedio de las piezas empleadas por mes en los seis o doce meses anteriores. Esto indicará el número de meses que durará el saldo existente, con base en el consumo real. Debido a la posibilidad de que haya muchos artículos, uno de cada modelo, es probable que el número de meses cubiertos por la existencia sea mayor de lo esperado. Se puede entonces establecer un estándar, con base en la situación particular, para el número de meses de existencia que se desee en el inventario.

Cuando se analicen las cantidades a tener en almacén, el personal de mantenimiento deberá estar siempre alerta a la posibilidad de que existan mejores materiales o una forma más apropiada de efectuar el trabajo con mayor beneficio para la empresa.

5.3 ASIGNACION DE PRESUPUESTO.

Un presupuesto es un plan económico que constituye el mejor cálculo posible hecho por la administración, de los gastos que se harán en un lapso futuro determinado. Por tanto, puede decirse que los presupuestos son una expresión de resultados previstos; deben reflejar planes reales y estar basados en posibilidades verdaderas, más bien que en conjeturas de lo que puede ocurrir. Una mejor planeación como consecuencia del presupuesto sólo es posible si las operaciones futuras son consideradas en detalle y si las cifras de aquél expresan el efecto de planes reales para operaciones venideras.

Cuando un presupuesto está bien elaborado viene a ser un eficaz instrumento de control en cuanto a que los informes que presentan el desempeño real contra las partidas estimadas constituyen una base para emprender una acción correctiva.

Para que pueda utilizarse como un control administrativo eficaz, el presupuesto tiene que ser sensible a los acontecimientos económicos, registrando los cambios que tengan lugar al ascender o descender la producción. Conviene entender bien que aun cuando ésta última no llegue a alcanzar el volumen previsto, el mantenimiento tiene que continuar a un ritmo alto.

Por consiguiente, el presupuesto de mantenimiento tiene que estar proyectado de modo que:

- 1) Fluctúe según los ingresos.
- 2) Se asigne una partida suficiente en los índices menores de producción para que pueda tener lugar el suficiente mantenimiento para conservar la fábrica en condiciones de que pueda satisfacer de una manera adecuada las demandas de la producción.

La forma más conveniente de estimar el costo del mantenimiento es empezando por determinar la amplitud de las necesidades de éste y proce-

diendo en seguida a establecer el valor de los centros de servicio que agrupan las funciones técnicas y de reparación pertinentes. El empleo de los costos del año anterior como presupuesto no es una buena política porque el nuevo presupuesto debe reflejar las mejores ideas y el mayor cuidado para que sea un instrumento funcional.

Necesita también tener presentes factores de mejoramiento resultantes de métodos óptimos, perfeccionamientos de maquinaria y equipo, avance en los procesos y diseño de productos, así como ahorros en el costo resultantes de rehabilitaciones importantes y cambios de instalaciones hechos en los años anteriores y previstos para el siguiente ejercicio presupuestario.

Hay empresas que preparan presupuestos escalonados que se basan en un examen del presupuesto anual cada trimestre. Este método presenta dos ventajas a saber:

- 1) La planificación del presupuesto es continua durante el año, permitiendo nuevas ideas e iniciativas y mejorando la calidad de la programación
- 2) El presupuesto se toma más flexible y adaptable a las situaciones cambiantes, prestándose más como instrumento para una planeación a plazos medio y largo.

La preparación del presupuesto no es tarea de un solo hombre; los directores, gerentes, jefes y supervisores son quienes principalmente, deben intervenir en la elaboración y en el control ejercido con el empleo de presupuestos. El ingeniero de fábrica es responsable de la elaboración del concerniente a mantenimiento, y su preparación inmediata corresponde al personal administrativo a sus órdenes, auxiliado por superintendentes, sobrestantes generales y otros supervisores de mantenimiento. Si las estimaciones expresan realmente el costo de mantenimiento en la fábrica para un volumen determinado, serán un instrumento de gran valor, pues facilitarán un mejor control de los costos de conservación.

Los presupuestos que no han sido hechos con cuidado y exactitud carecen de valor. Desde luego, hay que advertir que el presupuesto no corrige las deficiencias de un mantenimiento incorrecto; el mejoramiento de éste es consecuencia de una mejor planeación y programación.

Presupuesto de reparaciones.

Se trata en realidad de una partida del presupuesto general del departamento de mantenimiento. Cubre el costo total del mantenimiento necesario para el nivel previsto de producción. El presupuesto de reparaciones puede corresponder a cada una de las especialidades de mantenimiento o abarcarlas todas, dependiendo esto del tamaño de la fábrica.

El presupuesto para un departamento se prepara analizando sus requisitos de mantenimiento en lo tocante a los distintos servicios: eléctricos, de montaje, tubería, pintura, etcétera, en términos de horas-hombre o días-hombre y por especialidades.

Cuando se trata de fábricas pequeñas, las necesidades se pueden agrupar y considerar como gasto fijo, implicando un plan para controlar el costo como de periodo, aparejado al tiempo. Esto hace que el costo mensual sea fijo, pero de todos modos los cambios que ocurran en cuanto al volumen de la producción a lo largo del año impondrán revisiones de presupuesto, ya que de lo contrario éste mentiría.

En las fábricas grandes, donde la producción es estable en cuanto a volumen y clase de productos, el presupuesto de gastos fijos convendrá también a las necesidades generales. Sin embargo, los cambios de modelos y estilos, además de otras variaciones que suelen presentarse hasta en volúmenes estables, hacen que el presupuesto variable sea más útil como instrumento de planeación y control.

En la mayoría de los casos, los costos de mantenimiento no son fijos, ya que fluctúan mucho por las alteraciones de volumen de producción, cambios en los planes administrativos, en el equipo y fábrica, etcétera. Un presupuesto variable puede reflejar algunos de estos cambios y es, por tanto, el que suele emplearse para el mantenimiento.

El presupuesto variable se prepara con base en un valor constante, un monto más o menos modificable que se determina por factores tales como el número de unidades producidas, cantidad de horas-hombre u horas-máquina requeridas, a volumen de planeación normal, para producir las unidades, o cualquier otro determinante similar.

Presupuesto fijo de mantenimiento.

Aun tratándose de un programa de presupuesto variable, el fijo conviene a todas aquellas situaciones que se mantienen relativamente inmutables en términos de costo de conservación por mes. Cuando éste es el caso, no existe una verdadera necesidad de implantar un presupuesto variable; empero, un aumento o descenso no previsto en las ventas impondrá la exigencia de hacer cambios o ajustes.

El presupuesto fijo para un departamento puede determinarse anualizando los Tres Meses óptimos consecutivos de desempeño en el año anterior o el presupuesto correspondiente a ese año cuando los susodichos tres meses óptimos superen lo presupuestado.

Presupuesto variable de mantenimiento.

El procedimiento para determinar la cantidad apropiada de trabajo variable de mantenimiento que hay que cargar a un departamento o centro de costos de producción cuando ese monto no es fijo resulta mucho más complicado que el empleado para los presupuestos fijos. Trabajo variable de mantenimiento es aquel que aumenta o disminuye según los ascensos o descensos de las operaciones de producción en los centros de costo o departamentos.

5.4 ABATIMIENTO DE COSTOS DEL PLAN UNO MAS TRES VS MANTENIMIENTO PREVENTIVO GENERAL.

El presupuesto debe ser bien administrado, utilizándolo de una manera bien encaminada y realizando gráficas de aprovechamiento del mismo en disponibilidad de máquina, ya sea en horas semanales o mensuales.

Es común en muchas empresas elaborar un plan de mantenimiento mensual en el que se va tomando el presupuesto de forma desorganizada y se aplica en gran parte el mantenimiento emergente, muchas de las veces por la falta de planeación del jefe de mantenimiento en conjunto con el departamento de producción ya que de forma errónea se realizan reparaciones sin contar con la refacción necesaria para llevarla a cabo. Esto para muchos es el mantenimiento preventivo; en donde detectan la falla y programan la reparación. Dejando reducida a la mínima cantidad la calidad de servicio del equipo para el cumplimiento del programa de producción, existiendo a veces la reducción a cero de las horas de disponibilidad de la máquina.

Es aquí en donde se abaten los costos en cuanto a la aplicación del Programa Uno mas Tres. Ya que no existe la posibilidad de tener cero disponibilidades de máquina pues con un mes de anticipación se visualizarán fallas en equipos críticos en los que es necesario un alto porcentaje de horas trabajadas ya sea en forma semanal o mensual.

En el arranque de este programa; al cual llamaremos mes cero, se tomará para fines prácticos un 20% del presupuesto asignado mensualmente para atacar desperfectos que se presenten de forma emergente en máquinas críticas señaladas por el departamento de producción. El 80% restante se asignará a la compra programada de refacciones para la eliminación de fallas recurrentes en los equipos, dando un mes al departamento de compras para que sus proveedores surtan las refacciones dos días antes de la fecha establecida para realizar la reparación a máquina parada, evitando así los costos por manejo de almacén. Al tener las entregas de refacciones se tendrá un programa en firme ya que cuando se haga la reparación existirá el o los elementos necesarios para volver a elevar la calidad de servicio a la máquina dentro de los parámetros de diseño original; cabe hacer hincapié que esta calidad se irá dando paulatinamente.

Al tener un programa con fechas y refacciones se elimina el costo por paro no programado de producción ya que la máquina no estará dentro de las gráficas de Disponibilidad de máquina-Cantidad de producción. Además que se aprovechará el elemento humano en cantidad de horas hombre en el departamento de mantenimiento ya que tanto mecánicos, eléctricos, torneros, ayudantes, etc. tendrán una menor cantidad de horas de ocio por falta de refacciones para desarrollar su trabajo.

Al momento de estar en el mes uno en el que ya se tienen tanto el programa de mantenimiento preventivo, las refacciones en firme y el personal mecánico y eléctrico necesario; será necesario comenzar con el análisis de fallas y equipo crítico para realizar el programa del mes número dos, se pasará nuevamente copia del programa y fechas de entrega de las refacciones al departamento de compra. Así ellos iniciarán su trabajo en cuanto a mercadeo y en cuanto se asigne el presupuesto (el cual para este mes se dispondrá del 100%) los primeros días del siguiente mes se ponga en firme el pedido de las refacciones.

Durante la tercera semana del mes uno, se realizará el análisis de fallas y equipos críticos para el mes tres, siguiendo la misma metodología para el mes dos. De esta manera y realizándolo de manera periódica siempre se estará

trabajando con un mes de trabajo programado con paros programados, refacciones en firme y mano de obra del personal de mantenimiento y dos programados. A esta metodología de utilización del presupuesto aplicado al programa de mantenimiento preventivo se le llama Plan Uno mas Tres.

En resumen, con la Implantación de este plan se reducen los siguientes costos:

- 1.- Costos por paros no programados en la maquinaria.
- 2.- Costos por uso de almacén.
- 3.- Costos por tiempos de ocio del personal de mantenimiento.

5.5 EJEMPLO

Introducción

Fue en el año de 1994, cuando comencé a laborar en una empresa chocolatera en el departamento de mantenimiento, la gerencia de producción asignaba \$ 15,000.00 de presupuesto semanal para resolver los problemas más críticos tanto en el tren de moldeo, refinadoras y envolvedoras. Comencé a ver como se ejecutaban los programas de mantenimiento y así mismo el control que se llevaba sobre el presupuesto. En ese tiempo se hacia una lista con refacciones que se detectaba de forma muy superficial, las cuales hacían falta para efectuar el cambio por desgaste excesivo de los elementos de máquina. Se realizaba una requisición de acuerdo al listado que se levantaba cada semana y se efectuaba la compra para lo que alcanzara; no se establecían prioridades y no se marcaba de lo menos a lo más crítico. Al llegar las refacciones resultaban ser en su mayoría las no críticas y algunas que sí lo eran no se podían cambiar por que las máquinas aun y con sus deficiencias y constantes paros tenían programas muy cerrados por cumplir para la entrega de chocolates. Ante la imperiosa necesidad de controlar el departamento y establecer un programa de mantenimiento se sugiere a la Gerencia General el establecimiento de un Plan que permita controlar de forma organizada las reparaciones y el presupuesto asignado al departamento.

Plan entregado a Gerencia General para su aprobación

1.- Elaborar Plan 1 mas 3 y aprobación del mismo asignando el presupuesto no en forma semanal sino mensual y la cantidad estará dada no por la suma de las cuatro semanas sino después de realizar el estudio de máquinas críticas y fallas más repetitivas detectadas hasta ese momento realizando el análisis de las hojas de rutina de inspección. Tiempo de respuesta: Tres semanas.

- 2.- Quitar a la gerencia de producción del control del departamento de mantenimiento. Tiempo de respuesta: Una semana
- 3.- Dar de baja a personal sin conocimientos dentro del ramo de electromecánica para tener mayor capacidad de mano de obra especializada. Para compensar gastos por nóminas se cambiaron cuatro ayudantes generales por dos técnicos electromecánicos egresados del CONALEP. Tiempo de respuesta: Dos semanas
- 4.- Realizar programa de rutinas de inspección. Tiempo: Tres semanas
- 5.- Realizar análisis de fallas y equipo crítico. Tiempo: Una semana
- 6.- Realizar programa de mantenimiento preventivo general como base para ir mejorándolo por revisiones trimestrales. Tiempo: Cuatro semanas
- 7.- Realizar programa mensual de producción marcando equipos críticos según carga de trabajo. Tiempo: Dos semanas
- 8.- Para el tiempo de Planeación se deberá asignar el 20% de los \$60,000.00 que se venían dando. Lo que representaba \$12,000.00 para cubrir las emergencias durante el mes cero.

Implantación del Plan Uno mas Tres.

- 1.- El presupuesto asignado fue de \$ 52,000.00; cantidad necesaria sacada de las hojas de rutina de inspección de acuerdo a las refacciones que se debían comprar para eliminar las fallas más repetitivas en equipo crítico y como se puede observar, fue menor a la suma de las cuatro semanas. La cual hubiera sido de \$60,000.00
Recordando que de los \$60,000.00 restaba el 80% de presupuesto para arrancar con el primer mes. La dirección siguió los mismos lineamientos y en vez de los \$52,000.00 autorizó los \$48,000.00 restantes.
- 2.- Análisis de fallas y refacciones necesarias por adquirir sin rebasar los \$48,000.00 de presupuesto asignado para el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo. Tiempo: Una semana.
- 3.- Elaboración de programa de mantenimiento preventivo mensual del primer mes y elaboración de Solicitudes de Trabajo emitidas en forma interna por el departamento de mantenimiento, tomando en cuenta cantidad de mano de obra especializada, paro programado de máquina y refacciones. Tiempo: Una semana.
- 4.- Elaboración de requisiciones y entrega al departamento de compras; especificando refacciones necesarias y el día en que es necesaria la entrega del mismo por parte de los proveedores. El tiempo de almacenaje no deberá ser mayor a dos días. Tiempo: Una semana
- 5.- Emisión de nuevas rutinas de inspección para análisis de fallas y equipos críticos. Tiempo: Una semana

6.- Elaboración de programa de mantenimiento preventivo mensual del mes dos y realización de requisiciones según presupuesto asignado de \$52,000.00
Tiempo: Una semana.

7.- Elaboración de programa de mantenimiento preventivo mensual del mes tres y realización de requisiciones según presupuesto asignado de \$52,000.00
Tiempo: Una semana.

Listado de maquinaria instalada en la planta de chocolates.

- 1.- Tren de moldeo para elaboración de los distintos tipos de chocolate
- 2.- Recipiente con control de temperatura para mantener el chocolate a 28 °C
- 3.- Maquina “conchadora” de chocolate amargo (se le llama así a la máquina donde se combinan los componentes del chocolate para dar sabor y finura al polvo de cacao, así mismo se eleva la temperatura del recipiente para eliminar las bacterias). Capacidad 2 toneladas por carga
- 4.- Maquina “conchadora” de chocolate con leche. Capacidad 2 toneladas por carga
- 5.- Maquina “conchadora” de chocolate blanco. Capacidad 500 kg por carga
- 6.- Cazo con control automático para elaboración de palanqueta. Capacidad 20 kg
- 7.- Refinadora de azúcar.
- 8.- Refinadora de cacao
- 9.- Envolvedora No. 1 para chocolate amargo
- 10.-Envolvedora No. 2 para chocolate amargo
- 11.-Envolvedora No. 3 para chocolate amargo
- 12.-Envolvedora No. 4 para chocolate amargo
- 13.-Envolvedora No. 5 para chocolates teens
- 14.-Envolvedora No. 6 para chocolates teens
- 15.-Envolvedora No. 7 para chocolates teens
- 16.-Envolvedora No. 8 para chocolate con leche
- 17.-Envolvedora No. 9 para chocolate de menta
- 18.-Caldera de 40 CV
- 19.-Torre de enfriamiento
- 20.-Mezcladora
- 21.-Deposito de almacenamiento de chocolate amargo de 3 toneladas.
- 22.-Deposito de almacenamiento de chocolate con leche de 2 toneladas.
- 23.-Deposito de almacenamiento de chocolate de reproceso de 2 toneladas.
- 24.-Deposito de almacenamiento de chocolate para chocolate de cobertura de 200 kg.
- 25.-Red de tuberías para bombeo de chocolate de depósitos de almacenamiento a recipiente de “temperado”

Programa de planeación

Actividad	SEMANAS							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Elaboración de Plan 1 + 3	■	■						
Aprobar plan 1 + 3			■					
Estudio de maquinas criticas	■	■	■	■				
Quitar control de mtto al dpto de prod				■				
Contratar personal calificado			■	■				
Elaborar rutinas de inspec a maqs criticas		■	■	■				
Analisis de fallas y equipo critico				■				
Elaboracion de prog gral de Mtto Preventivo					■	■	■	■
Realizar programa mensual de Produccion			■	■				

Programa de ejecución

Actividad	SEMANAS							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Analisis de fallas y refacciones para 1er mes					■			
Elaboracion de programa 1er mes y Sol de Ser						■		
Elaboracion de requisiciones 1er mes						■		
Emision nuevas rutinas de inspeccion 2o mes						■		
Elaboracion de programa 2o mes							■	
Elaboracion de requisiciones 2o mes							■	
Emision nuevas rutinas de inspeccion 3er mes							■	
Elaboracion de programa 3er mes								■
Elaboracion de requisiciones 3er mes								■

RUTINAS DE INSPECCION

Cuando no se cuenta con manuales de maquinaria como es el caso de esta empresa chocolatera, es necesario realizar un diagnóstico de cada máquina basándose en la experiencia del personal de mantenimiento tanto mecánico, como eléctrico. Determinando sistemas y elementos de máquina que por condiciones de operación se detectarán ruidos anormales, temperaturas excesivas, vibraciones, desajustes, desgaste de piezas, calidad de aceites y grasas no adecuadas o utilizadas fuera de su vida normal, etc. Estas rutinas deben de interferir en lo más mínimo en la disponibilidad de máquina para el cumplimiento de los programas de producción, de ahí la importancia de contar con personal calificado y con experiencia en el departamento de mantenimiento. Se diseñará un formato de rutina de inspección acorde a la necesidad de la fábrica y su maquinaria.

Formato de rutina de inspección

RUTINA DE INSPECCION

Nombre la máquina : _____

Sistema por revisar : _____

Nombre y firma de la personal asignado :

1.- _____

2.- _____

3.- _____

4.- _____

Supervisor de Mtto : _____

Observaciones : _____

Materiales por utilizar : _____

Programar reparación:

Urgente (mes cero) _____

Corto plazo (mes uno) _____

Mediano plazo (mes dos) _____

Largo plazo (mes tres) _____

Fecha : _____

Hora de inicio _____

Hora de termino : _____

Máquinas críticas

De acuerdo al análisis del Departamento de Producción se determino a las siguientes máquinas con la mayor cantidad de tiempo perdido por causas referentes a mantenimiento, a continuación y en orden de importancia se listan los equipos:

- 1.- Tren de moldeo
- 2.- Máquina conchadora de chocolate con leche
- 3.- Torre de enfriamiento
- 4.- Envolvedoras No. 1 a la 4
- 5.- Envolvedoras No. 5 a la 9
- 6.-Red de tuberías para bombeo de chocolate a depósitos de almacenamiento
- 7.- Máquina conchadora de chocolate amargo
- 8.- Refinadora de azúcar
- 9.- Mezcladora

Análisis de fallas a Máquinas críticas

Durante la primera semana de ejecución de rutinas de inspección (Que corresponde a la semana No. 5 del programa de planeación) se arrojaron los siguientes datos:

TREN DE MOLDEO: Por su complejidad fue necesario dividir en partes los sistemas que lo componen quedando de la siguiente forma.

- a) Tablero de control eléctrico
- b) Reductor de velocidad variable accionado por poleas y controlado por cadena sumergida en aceite. Tipo PIV
- c) Sistema de transmisión de potencia y movimiento por medio de flechas de 1 pulgada de diámetro a reductores tipo corona-sinfín, 45 metros de longitud
- d) Reductores tipo corona-sinfín 20 pzs
- e) Cámaras de enfriamiento de chocolate
- f) Sistemas de inyección de chocolate y relleno a los moldes
- g) Sistema de desmoldeo automático.
- h) Sistema de recuperación de chocolate

FALLAS:

- 1.- Tablero de control eléctrico con el cableado totalmente en desorden.
- 2.- Banda metálica desgastada y ruido excesivo en reductor principal PIV.
- 3.-Coples flexibles de flechas de 1 pulgada con desgaste excesivo.
- 4.- Desgaste excesivo de las 20 coronas de los reductores y aceite sucio
- 5.- Levas de sistemas de inyección de chocolate y relleno con desgaste.

MAQUINA CONCHADORA DE CHOCOLATE CON LECHE

FALLAS:

- 1.- Motor de 100 hp tipo vertical con ruido excesivo en los rodamientos
- 2.- Bandas tipo C con desgaste excesivo
- 3.- Fuga de aceite en retenes de agitadores planetarios.
- 4.- Tablero de control sin fusibles y cableado con calibre menor al permitido.
- 5.- Arrancador a tensión plena

TORRE DE ENFRIAMIENTO

FALLAS:

- 1.- Bomba de recirculación de agua de menor capacidad referente a caudal necesario para controlar la temperatura del chocolate a 28 °C
- 2.- Motor del ventilador con ruido excesivo en los rodamientos.
- 3.- Difusores de agua en mal estado.
- 4.- Tubería de alimentación de agua para recuperación de nivel en la tina, con fugas.

ENVOLVEDORA No. 1

FALLAS:

- 1.- Embrague centrífugo del motor principal dañado.
- 2.- Control de arranque de maquina por medio de switch manual.
- 3.- Botón de arranque pausado para alimentar papel de envoltura dañado.
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico para alimentación de papel de envoltura fuera de uso.

ENVOLVEDORA No. 2

FALLAS:

- 1.- Embrague centrífugo del motor principal dañado.
- 2.- Control de arranque de maquina por medio de switch manual.
- 3.- Botón de arranque pausado para alimentar papel de envoltura dañado.
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico para alimentación de papel de envoltura fuera de uso.
- 5.- Levas dañadas del sistema de torcido del papel de envoltura.
- 6.- Polea motriz de velocidad variable trabajando con banda normal tipo B
- 7.- Rodillos del sistema de alimentación de papel con desgaste excesivo.
- 8.- Banda de alimentación automática de chocolate desincronizada
- 9.- Mecanismos sin lubricación adecuada.

ENVOLVEDORA No. 3

FALLAS:

- 1.- Embrague centrífugo del motor principal dañado.
- 2.- Control de arranque de maquina por medio de switch manual.
- 3.- Botón de arranque pausado para alimentar papel de envoltura dañado.
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico para alimentación de papel de envoltura fuera de uso.
- 5.- Plato de alimentación automática con ranuras no adecuadas para todos los tamaños de chocolate.

ENVOLVEDORA No. 4

FALLAS:

- 1.- Embrague centrífugo del motor principal dañado.
- 2.- Control de arranque de maquina por medio de switch manual.
- 3.- Botón de arranque pausado para alimentar papel de envoltura dañado.
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico para alimentación de papel de envoltura fuera de uso.
- 5.- Plato de alimentación automática con ranuras no adecuadas para todos los tamaños de chocolate.

Análisis de refacciones necesarias para el primer mes

TREN DE MOLDEO

- 1.- Cable Calibre 14 THW 100 metros
- 2.- Cadena para variador de velocidad tipo PIV metálica 1 pieza
- 3.- Cople flexible de hule tipo Love Joy 16 piezas
- 4.- Corona fabricada en bronce (Reductores corona-sinfín) 6 piezas

MAQUINA CONCHADORA DE CHOCOLATE CON LECHE

- 1.- Balero No. 6322 1 pieza
- 2.- Balero No. 7222 1 pieza
- 3.- Bandas No. C – 175 6 piezas
- 4.- Reten de fabricación especial 100 x 250 x 25 mm 3 piezas
- 5.- Aceite 220 para transmisión de engranes 50 litros
- 6.- Fusibles tipo botella de 15 amperes 3 piezas
- 7.- Platinos para contactor marca SIEMENS tamaño 4 1 juego

TORRE DE ENFRIAMIENTO

- 1.- Bomba centrífuga de 1 hp a 220 volts 1 pieza
- 2.- Balero No. 6205 2 piezas
- 3.- Difusores de plástico de acuerdo a número de catalogo 2 piezas
- 4.- Tubo de cobre tipo M 6 tramos
- 5.- Accesorios conexión de tubería (codos, soldadura, pasta, conectores) 1 juego

ENVOLVEDORA No. 1

- 1.- Balatas para embrague 1 juego
- 2.- Arrancador tipo guarda motor SIEMENS tamaño NEMA 1
- 3.- Botón y block de contactos sin enclavamiento 1 pieza
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico.

ENVOLVEDORA No. 2

- 1.- Balatas para embrague 1 juego
- 2.- Arrancador tipo guarda motor SIEMENS tamaño NEMA 1
- 3.- Botón y block de contactos sin enclavamiento 1 pieza
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico 1 pieza
- 5.- Fabricación de levas según muestra para torcido de papel 2 piezas
- 6.- Banda de velocidad variable, 2 pulgadas de ancho x 32 pulgadas de longitud 1 pieza
- 7.- Recubrimiento con teflón (grado alimenticio) de 2 rodillos 2 piezas
- 8.- Fabricación de leva según muestra banda de alimentación 1 pieza
- 9.- Grasa para lubricación grado alimenticio 4 kilogramos

ENVOLVEDORA No. 3

- 1.- Balatas para embrague 1 juego
- 2.- Arrancador tipo guarda motor SIEMENS tamaño NEMA 1
- 3.- Botón y block de contactos sin enclavamiento 1 pieza
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico 1 pieza
- 5.- Fabricación de plato alimentador de chocolate tamaño chico 1 pieza

ENVOLVEDORA No. 4

- 1.- Balatas para embrague 1 juego
- 2.- Arrancador tipo guarda motor SIEMENS tamaño NEMA 1 1 pieza
- 3.- Botón y block de contactos sin enclavamiento 1 pieza
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico 1 pieza
- 5.- Fabricación de plato alimentador de chocolate tamaño chico 1 pieza

Tabla de cotización de materiales para el primer mes.

No.	Material	Unidad	Cantidad	P. U.	Total
1	Cable calibre 14 THW	Metro	100	\$0.95	\$95.00
2	Cadena para variador de velocidad	Pieza	1	\$5,500.00	\$5,500.00
3	Cople flexible de hule tipo Love Joy	pieza	16	\$40.00	\$640.00
4	Corona fabricada en bronce	pieza	6	\$620.00	\$3,720.00
5	Balero No. 6322	pieza	1	\$650.00	\$650.00
6	Balero No. 7222	pieza	1	\$780.00	\$780.00
7	Banda C- 175	pieza	6	\$310.00	\$1,860.00
8	Reten 100 x 250 x 25 mm	pieza	3	\$210.00	\$630.00
9	Aceite 220 para transmisión	litros	50	\$6.50	\$325.00
10	Fusibles tipo botella de 15 amperes	pieza	3	\$40.00	\$120.00
11	Platinos para contactor tamaño 4	juego	1	\$500.00	\$500.00
12	Bomba centrífuga de 1 hp 220 volts	pieza	1	\$4,500.00	\$4,500.00
13	Balero No. 6205	pieza	2	\$28.00	\$56.00
14	Difusor de plástico para torre de enf	pieza	2	\$500.00	\$1,000.00
15	Tubo de cobre tipo M	pieza	6	\$125.00	\$750.00
16	Accesorios (codos,soldadura,pasta)	juego	1	\$135.00	\$135.00
17	Balatas para embrague envolvedoras	pieza	4	\$195.00	\$780.00
18	Guarda motor SIEMENS tamaño 1	pieza	4	\$520.00	\$2,080.00
19	Boton y block de contactos	juego	4	\$320.00	\$1,280.00
20	Tablero de control fotoelectronico	pieza	4	\$1,100.00	\$4,400.00
21	Fabricación de levas según muestra	pieza	2	\$1,200.00	\$2,400.00
22	Banda de velocidad variable 2x32	pieza	1	\$110.00	\$110.00
23	Recubrimiento de rodillos con teflon	pieza	2	\$460.00	\$920.00
24	Fabricación de leva p banda aliment	pieza	1	\$1,200.00	\$1,200.00
25	Grasa lubricación grado alimenticio	kilo	4	\$110.00	\$440.00
26	Fabricación de plato alimentador	pieza	2	\$6,500.00	\$13,000.00

TOTAL	\$47,871.00
PRESUPUESTO DEL PRIMER MES (80% restante del mes cero)	\$48,000.00
CONTROL DE PRESUPUESTO	\$129.00

Programa del primer mes

MAQUINA	ACTIVIDAD POR DESARROLLAR	SIST	S9	S10	S11	S12
Tren de moldeo	Cambio de cables dañados a tablero de control	E				
	Cambio de banda metálica a reductor PIV	M				
	Cambio de 16 coples marcados como críticos	M				
	Cambio de 6 coronas a reductores críticos	M				
Conchadora de chocolate con leche	Cambiar rodamientos a motor principal	E				
	Cambiar bandas tipo C a motor principal	M				
	Cambiar retenes a agitadores y recuperar aceite	M				
	Colocar fusibles tipo botella y cambiar cableado	E				
Torre de enfriamiento	Cambiar platinos a contactor de arrancador	E				
	Cambiar bomba de agua de recirculación	M				
	Cambiar baleros al motor del ventilador	E				
	Cambiar difusores	M				
Envolvedora 1	Cambiar tubería galvanizada por la de cobre	M				
	Cambiar balatas a embrague centrífugo	M				
	Colocar guarda motor	E				
	Activar sistema de arranque intermitente al motor	E				
Envolvedora 2	Colocar tablero de control fotoeléctrico	E				
	Cambiar balatas a embrague centrífugo	M				
	Colocar guarda motor	E				
	Activar sistema de arranque intermitente al motor	E				
	Colocar tablero de control fotoeléctrico	E				
	Cambiar levas a sistema de torcido de papel	M				
	Colocar banda de velocidad variable	M				
	Cambiar rodillos de alimentación de papel	M				
	Cambiar leva a banda de alimentación de choco	M				
	Lubricación en general a mecanismos	M				
Envolvedora 3	Cambiar balatas a embrague centrífugo	M				
	Colocar guarda motor	E				
	Activar sistema de arranque intermitente al motor	E				
	Colocar tablero de control fotoeléctrico	E				
	Verificar funcionamiento de plato de alimentación	M				
Envolvedora 4	Cambiar balatas a embrague centrífugo	M				
	Colocar guarda motor	E				
	Activar sistema de arranque intermitente al motor	E				
	Colocar tablero de control fotoeléctrico	E				
	Verificar funcionamiento de plato de alimentación	M				

Rutinas de inspección para el segundo mes.

Semana No. 6 del programa de planeación

ENVOLVEDORA No. 5

FALLAS:

- 1.- Embrague centrífugo del motor principal dañado.
- 2.- Control de arranque de maquina por medio de switch manual.
- 3.- Botón de arranque pausado para alimentar papel de envoltura dañado.
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico para alimentación de papel de envoltura fuera de uso.

ENVOLVEDORA No. 6

FALLAS:

- 1.- Embrague centrífugo del motor principal dañado.
- 2.- Control de arranque de maquina por medio de switch manual.
- 3.- Botón de arranque pausado para alimentar papel de envoltura dañado.
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico para alimentación de papel de envoltura fuera de uso.
- 5.- Levas dañadas del sistema de torcido del papel de envoltura.
- 6.- Rodillos del sistema de alimentación de papel con desgaste excesivo.

ENVOLVEDORA No. 7

FALLAS:

- 1.- Embrague centrífugo del motor principal dañado.
- 2.- Control de arranque de maquina por medio de switch manual.
- 3.- Botón de arranque pausado para alimentar papel de envoltura dañado.
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico para alimentación de papel de envoltura fuera de uso.
- 5.- Plato de alimentación automática con ranuras no adecuadas para todos los tamaños de chocolate.

ENVOLVEDORA No. 8

FALLAS:

- 1.- Embrague centrífugo del motor principal dañado.
- 2.- Control de arranque de maquina por medio de switch manual.
- 3.- Botón de arranque pausado para alimentar papel de envoltura dañado.

- 4.- Tablero de control fotoeléctrico para alimentación de papel de envoltura fuera de uso.
- 5.- Plato de alimentación automática con ranuras no adecuadas para todos los tamaños de chocolate.

ENVOLVEDORA No. 9 (Fuera de servicio, se recuperará paulatinamente)

FALLAS:

- 1.- Motor de 5 hp bobinado quemado.
- 2.- No tiene poleas de velocidad variable en el motor principal.
- 3.- Flecha de polea inducida con desgaste extremo.
- 4.- Chumaceras pegadas por falta de lubricación.
- 5.- Tablero de control sin cableado interno.
- 6.- Arrancador obsoleto.
- 7.- Botón de arranque pausado para alimentar papel de envoltura dañado.
- 8.- Sistema de control fotoeléctrico para alimentación de papel de envoltura fuera de uso.
- 9.- Banda de alimentación automática con desgaste excesivo.
- 10.- Motor de rodillos de arrastre de papel de envoltura dañado.
- 11.- Mecanismos pegados por falta de uso.
- 12.- Pintura en general del cuerpo de la máquina dañada.

RED DE TUBERIAS PARA BOMBEO DE CHOCOLATE

FALLAS:

- 1.- Bomba de lóbulos con ruido en el motor.
- 2.- Bomba de lóbulos ruido interno por rozamiento.
- 3.- Tuberías con acoplamientos fijos (coples y codos)
- 4.- Sistema de calentamiento de tubería con fugas de vapor en un 70%.
- 5.- Soportes de tubería insuficientes.
- 6.- Tramo de tubo de 6 metros fuera de norma sanitaria.

Análisis de refacciones necesarias para el segundo mes.

ENVOLVEDORA No. 5

- 1.- Balatas para embrague 1 juego
- 2.- Arrancador tipo guarda motor SIEMENS tamaño NEMA 1
- 3.- Botón y block de contactos sin enclavamiento 1 pieza
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico.

ENVOLVEDORA No. 6

- 1.- Balatas para embrague 1 juego

- 2.- Arrancador tipo guarda motor SIEMENS tamaño NEMA 1
- 3.- Botón y block de contactos sin enclavamiento 1 pieza
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico 1 pieza
- 5.- Fabricación de levas según muestra para torcido de papel 2 piezas
- 6.- Recubrimiento con teflón (grado alimenticio) de 2 rodillos 2 piezas

ENVOLVEDORA No. 7

- 1.- Balatas para embrague 1 juego
- 2.- Arrancador tipo guarda motor SIEMENS tamaño NEMA 1
- 3.- Botón y block de contactos sin enclavamiento 1 pieza
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico 1 pieza
- 5.- Fabricación de plato alimentador de chocolate tamaño chico 1 pieza

ENVOLVEDORA No. 8

- 1.- Balatas para embrague 1 juego
- 2.- Arrancador tipo guarda motor SIEMENS tamaño NEMA 1 1 pieza
- 3.- Botón y block de contactos sin enclavamiento 1 pieza
- 4.- Tablero de control fotoeléctrico 1 pieza
- 5.- Fabricación de plato alimentador de chocolate tamaño chico 1 pieza

ENVOLVEDORA No. 9

- 1.- Rebobinado de motor de 5 hp 1 pieza
- 2.- Polea motriz de velocidad variable 1 pieza
- 3.- Polea inducida de velocidad variable 1 pieza
- 4.- Chumacera de piso de 1 pulgada de diámetro 2 piezas
- 5.- Cable calibre 14 THW 100 metros
- 6.- Arrancador marca SIEMENS Tamaño NEMA 1 incluye protección térmica y botones de paro y arranque 1 pieza
- 7.- Botón y block de contactos sin enclavamiento 1 pieza
- 8.- Tablero de control fotoeléctrico 1 pieza
- 9.- Sensor fotoeléctrico 1 pieza
- 10.- Banda en material grado alimenticio según muestra 1 pieza
- 11.- Moto reductor de 1/16 hp 1 pieza
- 12.- Grasa grado de lubricación grado alimenticio 5 kilogramos
- 13.- Pintura color verde maquinaria libre de plomo 10 litros

RED DE TUBERIAS PARA BOMBEO DE CHOCOLATE

- 1.- Balero No. 6305 1 pieza
- 2.- Balero No. NJ 305 1 pieza
- 3.- Balero No. 6205 2 piezas
- 4.- Balero No. NU 205 1 pieza

- 5.- Cople de desmontaje rápido 12 piezas
- 6.- Codo para cople de desmontaje rápido 4 piezas
- 7.- Cable tipo resistencia (TRAZA) 60 metros
- 8.- Soportes tipo pera de 2 pulgadas de diámetro 20 piezas
- 9.- Tubo de acero inoxidable de 2 pulgadas de diámetro x 6 metros 1 pieza

Tabla de cotización de materiales para el segundo mes

No.	Material	Unidad	Cantidad	P. U.	Total
1	Balatas para embrague envolventoras	pieza	4	\$195.00	\$780.00
2	Guarda motor SIEMENS tamaño 1	pieza	4	\$520.00	\$2,080.00
3	Boton y block de contactos	juego	5	\$320.00	\$1,600.00
4	Tablero de control fotoelectronico	pieza	5	\$1,100.00	\$5,500.00
5	Sensor fotoeléctrico	pieza	1	\$620.00	\$620.00
6	Fabricación de levas según muestra	pieza	2	\$1,200.00	\$2,400.00
7	Bobinado de motor de 5 hp	pieza	1	\$1,800.00	\$1,800.00
8	Polea motriz de velocidad variable	pieza	1	\$480.00	\$480.00
9	Polea inducida de velocidad variable	pieza	1	\$210.00	\$210.00
10	Banda de velocidad variable 2x32	pieza	1	\$110.00	\$110.00
11	Recubrimiento de rodillos con teflon	pieza	2	\$460.00	\$920.00
12	Grasa lubricación grado alimenticio	kilo	5	\$110.00	\$550.00
13	Fabricación de plato alimentador	pieza	2	\$6,500.00	\$13,000.00
14	Chumacera de piso de 1 pulgada	pieza	2	\$110.00	\$220.00
15	Cable calibre 14 THW	metro	100	\$0.95	\$95.00
16	Arrancador SIEMENS tamaño 1	pieza	1	\$2,950.00	\$2,950.00
17	Banda para limentacion automatica	pieza	1	\$3,500.00	\$3,500.00
18	Motoreductor de 1/16 hp	pieza	1	\$1,200.00	\$1,200.00
19	Pintura de esmalte color verde	litros	10	\$85.00	\$850.00
20	Balero No. 6305	pieza	1	\$85.00	\$85.00
21	Balero No. NJ 305	pieza	1	\$160.00	\$160.00
22	Balero No. 6205	pieza	2	\$28.00	\$56.00
23	Balero No. NU 205	pieza	1	\$110.00	\$110.00
24	Cople de desmontaje rapido	pieza	12	\$110.00	\$1,320.00
25	Codo de desmontaje rápido	pieza	4	\$75.00	\$300.00
26	Cable tipo resistencia	metros	60	\$55.00	\$3,300.00
27	Soporte tipo pera de 2 pulgadas	pieza	20	\$15.00	\$300.00
28	Tubo de acero inoxidable de 2 pulg	pieza	1	\$3,800.00	\$3,800.00

TOTAL	\$48,296.00
PRESUPUESTO DEL SEGUNDO MES	\$52,000.00
CONTROL DE PRESUPUESTO	\$3,704.00

Programa del segundo mes

MAQUINA	ACTIVIDAD POR DESARROLLAR	SIST	S13	S14	S15	S16
Envolvedora 5	Cambiar balatas a embrague centrífugo	M				
	Colocar guarda motor	E				
	Activar sistema de arranque intermitente al motor	E				
	Colocar tablero de control fotoeléctrico	E				
Envolvedora 6	Cambiar balatas a embrague centrífugo	M				
	Colocar guarda motor	E				
	Activar sistema de arranque intermitente al motor	E				
	Colocar tablero de control fotoeléctrico	E				
	Cambiar levas a sistema de torcido de papel	M				
	Cambiar rodillos de alimentación de papel	M				
Envolvedora 7	Cambiar balatas a embrague centrífugo	M				
	Colocar guarda motor	E				
	Activar sistema de arranque intermitente al motor	E				
	Colocar tablero de control fotoeléctrico	E				
	Verificar funcionamiento de plato de alimentacion	M				
Envolvedora 8	Cambiar balatas a embrague centrífugo	M				
	Colocar guarda motor	E				
	Activar sistema de arranque intermitente al motor	E				
	Colocar tablero de control fotoeléctrico	E				
	Verificar funcionamiento de plato de alimentacion	M				
Envolvedora 9	Colocar motor reparado de 5 hp	E				
	Cambiar polea motriz e inducida y flecha inducida	M				
	Cableado de tablero de control	E				
	Colocar arrancador a motor principal	E				
	Activar sistema de arranque intermitente al motor	E				
	Colocar tablero de control fotoeléctrico y sensor	E				
	Cambio de banda alimentadora de chocolate	M				
	Colocar motoreductor de 1/16 arrastre de papel	E				
	Lubricación de mecanismos en general	M				
	Pintura de máquina en general	M				
Tuberías bombeo	Cambio de baleros a bomba de lobulos y motor	M/E				
	Cambiar coples y codos de desmontaje rápido	M				
	Colocar y conectar cable tipo resistencia (Traza)	E				
	Colocar soportes a tubería	M				
	Cambiar tramo de tubo fuera de especificación	M				

Rutinas de inspección para el tercer mes

Semana No. 7 del programa de planeación

MAQUINA CONCHADORA DE CHOCOLATE AMARGO

FALLAS:

- 1.- Motor principal de 75 hp con ruido en los baleros
- 2.- Aceite de caja de engranes muy sucio.
- 3.- Compuerta de descarga de chocolate con fuga de producto.
- 4.- Láminas de teflón del agitador dañadas
- 5.- Baleros del agitador con ruidos anormales.
- 6.- Espréas de aspersión para refinado de chocolate dañadas.
- 7.- Válvula de alimentación de vapor con fuga.
- 8.- Tensor del motor principal con tornillos barridos.
- 9.- Tina colectora de chocolate fabricada en material no sanitario
- 10.- Tablero eléctrico de control sin mantenimiento.

REFINADORA DE AZUCAR

FALLAS:

- 1.- Motor principal de 100 hp con ruido en baleros
- 2.- Tablero eléctrico de control con cableado dañado.
- 3.- Transformadores de corriente tipo dona dañados.
- 4.- Indicador de voltaje entre fases fuera de uso.
- 5.- Rodillos de refinado rayados.
- 6.- Polea motriz con demasiado desgaste.
- 7.- Bandas tipo C muy alongadas y desgastadas.
- 8.- Base del motor con la soldadura dañada en los soportes.
- 9.- Tornillos tensores dañados.
- 10.- Aceite de caja de engranes muy sucio.

MEZCLADORA

FALLAS:

- 1.- Motor de 25 hp con ruido en los baleros.
- 2.- Platinos del arrancador dañados.
- 3.- Transformadores de corriente tipo dona dañados.
- 4.- Chumaceras de pared de 2 pulgadas sin baleros.
- 5.- Base de la tina con fugas de producto por mala soldadura.
- 6.- Hélices de un agitador chueca.

Análisis de refacciones necesarias para el tercer mes

MAQUINA CONCHADORA DE CHOCOLATE AMARGO

- 1.- Balero No. 6305 1 pieza
- 2.- Balero No. NU 305 1 pieza
- 3.- Aceite 220 150 litros
- 4.- Placa de teflón de 1 x 12 x 12 pulgadas 1 pieza
- 5.- Placa de teflón de ½ x 5 x 96 pulgadas 4 piezas
- 6.- Balero No. 6310 2 piezas
- 7.- Fabricación de espréas según muestra física 8 piezas
- 8.- Válvula para vapor de 1 pulgada de diámetro 1 pieza
- 9.- Espárrago roscado de 1 pulgada de diámetro 1 metro
- 10.-Fabricación de tina en acero inoxidable 1 pieza
- 11.-Solvente dieléctrico 10 litros
- 12.-Cinturones plásticos de 4 pulgadas
- 13.-Solvente desengrasante 50 litros

REFINADORA DE AZUCAR

- 1.- Balero No. 6210 1 pieza
- 2.- Balero No. NJ 210 1 pieza
- 3.- Cable calibre 14 THW 20 metros
- 4.- Transformador de corriente tipo dona 3 piezas
- 5.- Indicador de voltaje con selector de 3 posiciones 1 pieza
- 6.- Rectificado de rodillos de refinado 3 piezas
- 7.- Polea de 8 pulgadas de diámetro y 6 ranuras tipo C 1 pieza
- 8.- Bandas C – 120 6 piezas
- 9.- Soldadura 7018 3 kilogramos
- 10.-Espárrago de 1 pulgada de diámetro 1 metro
- 11.-Tuerca hexagonal de 1 pulgada de diámetro 8 piezas
- 12.-Aceite 220 50 litros
- 13.-Solvente desengrasante 40 litros

MEZCLADORA

- 1.- Balero No. 6310 1 pieza
- 2.- Balero No. NJ 310 1 pieza
- 2.- Platinos para contactor tamaño Nema 2 1 juego
- 3.- Transformador de corriente tipo dona 3 piezas
- 4.- Chumacera de pared de 2 pulgadas de diámetro 4 piezas
- 5.- Soldadura de acero inoxidable 5 kilogramos
- 6.- Renta de equipo de Oxiacetileno 1 juego

Tabla de cotización de materiales para el tercer mes

No.	Material	Unidad	Cantidad	P. U.	Total
1	Balero No. 6305	pieza	1	\$85.00	\$85.00
2	Balero No. NU 305	pieza	1	\$195.00	\$195.00
3	Aceite 220	litros	200	\$6.50	\$1,300.00
4	Placa de teflón de 1x12x12 pulg	pieza	1	\$650.00	\$650.00
5	Placa de teflón de 1/2x5x96 pulg	pieza	4	\$1,110.00	\$4,440.00
6	Balero No. 6310	pieza	2	\$480.00	\$960.00
7	Fabricación de espreas	pieza	8	\$560.00	\$4,480.00
8	Válvula de vapor de 1 pulgada	pieza	1	\$280.00	\$280.00
9	Espárrago roscado de 1 pulg de dia.	metro	2	\$105.00	\$210.00
10	Fabricación de tina en acero inox	pieza	1	\$2,700.00	\$2,700.00
11	Solvente dielectrico	litro	10	\$5.50	\$55.00
12	Cinturones plásticos de 4 pulgadas	pieza	100	\$0.15	\$15.00
13	Solvente desengrasante	litro	90	\$4.25	\$382.50
14	Balero No. 6210	pieza	1	\$155.00	\$155.00
15	Balero No. NJ 210	pieza	1	\$210.00	\$210.00
16	Cable calibre 14 THW	metro	20	\$0.95	\$19.00
17	Transformador de corriente tipo dona	pieza	6	\$280.00	\$1,680.00
18	Indicador de voltaje con selector	pieza	1	\$450.00	\$450.00
19	Rectificado de rodillos	pieza	3	\$3,500.00	\$10,500.00
20	Polea de 8 pulg de dia 6 ranuras C	pieza	1	\$800.00	\$800.00
21	Banda C - 120	pieza	6	\$280.00	\$1,680.00
22	Soldadura 7018 de 1/8	kilo	3	\$25.00	\$75.00
23	Tuerca hexagonal de 1 pulg	pieza	8	\$12.00	\$96.00
24	Balero No. 6310	pieza	1	\$220.00	\$220.00
25	Balero No. NJ 310	pieza	1	\$280.00	\$280.00
26	Platinos para contactor tamaño 2	juego	1	\$850.00	\$850.00
27	Chumacera de pared de 2 pulg ref	pieza	4	\$950.00	\$3,800.00
28	Soldadura de acero inoxidable	kilo	5	\$68.00	\$340.00
29	Renta de equipo de Oxiacetileno	juego	1	\$2,500.00	\$2,500.00

TOTAL	\$39,407.50
PRESUPUESTO DEL SEGUNDO MES	\$52,000.00
CONTROL DE PRESUPUESTO	\$12,592.50

Programa del tercer mes.

MAQUINA	ACTIVIDAD POR DESARROLLAR	SIST	S17	S18	S19	S20
Conchadora de chocolate amargo	Cambio de baleros a motor de 75 hp	E				
	Cambiar aceite sucio a caja de transmisión	M				
	Cambiar placa de teflón a compuerta de descarga	M				
	Cambiar placas de teflón del agitador	M				
	Cambiar espréas de refinado	M				
	Cambiar válvula de alimentación de vapor	M				
	Cambiar tornillos tensores del motor	M				
	Reemplazar tina colectora de chocolate	M				
	Limpieza a tablero de control y apriete de tornillos	E				
	Refinadora de azúcar	Cambiar baleros a motor de 100 hp	E			
Reemplazar cables en mal estado y limpiar tab		E				
Cambiar transformadores tipo dona		E				
Cambiar indicacdor de voltaje		E				
Desarmado de rodillos por rectificar		M				
Colocar rodillos rectificadoss		M				
Cambiar polea motriz		M				
Cambiar bandas tipo C		M				
Soldar soporte del motor		M				
Cambiar tornillos tensores del motor		M				
Mezcladora	Cambiar aceite sucio a caja de transmisión	M				
	Cambiar baleros a motor de 25 hp	E				
	Cambiar platinos a contactor del arrancador	E				
	Cambiar transformadores tipo dona	E				
	Cambiar chumaceras de pared de 2 pulgadas	M				
	Soldar tina de la mezcladora	M				
	Enderezar hélices del agitador	M				

Teniendo todo lo anterior se puede observar que ya se tiene la planeación de tres meses de reparación de maquinaria así como las refacciones necesarias para realizar los trabajos.

A continuación se muestra la forma en como se controlará la llegada al almacén de la fábrica (ya que se marcará al departamento de compras la semana en la cual sus proveedores entregarán las refacciones) dando un tiempo muy corto de estancia en el mismo lo que nos ayudará a tener bajos inventarios.

Orden de compra del primer mes.

No.	Material	Unidad	Cantidad	Semana
1	Cable calibre 14 THW	metro	100	S9
2	Cadena para variador de velocidad	pieza	1	S9
3	Cople flexible de hule tipo Love Joy	pieza	16	S9
4	Corona fabricada en bronce	pieza	6	S9
5	Balero No. 6322	pieza	1	S9
6	Balero No. 7222	pieza	1	S9
7	Banda C- 175	pieza	6	S9
8	Reten 100 x 250 x 25 mm	pieza	3	S10
9	Aceite 220 para transmisión	litros	50	S10
10	Fusibles tipo botella de 15 amperes	pieza	3	S10
11	Platinos para contactor tamaño 4	juego	1	S10
12	Bomba centrífuga de 1 hp 220 volts	pieza	1	S10
13	Balero No. 6205	pieza	2	S10
14	Difusor de plástico para torre de enf	pieza	2	S10
15	Tubo de cobre tipo M	pieza	6	S9
16	Accesorios (codos,soldadura,pasta)	juego	1	S9
17	Balatas para embrague envolventoras	pieza	4	S11 S12
18	Guarda motor SIEMENS tamaño 1	pieza	4	S11 S12
19	Boton y block de contactos	juego	4	S11
20	Tablero de control fotoelectrico	pieza	4	S11
21	Fabricación de levas según muestra	pieza	2	S11
22	Banda de velocidad variable 2x32	pieza	1	S11
23	Recubrimiento de rodillos con teflon	pieza	2	S11
24	Fabricación de leva p banda aliment	pieza	1	S11
25	Grasa lubricación grado alimenticio	kilo	4	S12
26	Fabricación de plato alimentador	pieza	2	S12

Elaboro
Jefe de mantenimiento

Recibio
Departamento de compras

Autorizo
Gerencia general

Orden de compra del segundo mes.

No.	Material	Unidad	Cantidad	Semana
1	Balatas para embrague envolvedoras	pieza	4	S13
2	Guarda motor SIEMENS tamaño 1	pieza	4	S13 S14
3	Boton y block de contactos	juego	5	S13 S14
4	Tablero de control fotoelectronico	pieza	5	S13 S14
5	Sensor fotoeléctrico	pieza	1	S16
6	Fabricación de levas según muestra	pieza	2	S14
7	Bobinado de motor de 5 hp	pieza	1	S15
8	Polea motriz de velocidad variable	pieza	1	S15
9	Polea inducida de velocidad variable	pieza	1	S15
10	Banda de velocidad variable 2x32	pieza	1	S15
11	Recubrimiento de rodillos con teflon	pieza	2	S14
12	Grasa lubricación grado alimenticio	kilo	5	S15
13	Fabricación de plato alimentador	pieza	2	S14
14	Chumacera de piso de 1 pulgada	pieza	2	S15
15	Cable calibre 14 THW	metro	100	S15
16	Arrancador SIEMENS tamaño 1	pieza	1	S15
17	Banda para limentacion automatica	pieza	1	S16
18	Motoreductor de 1/16 hp	pieza	1	S16
19	Pintura de esmalte color verde	litros	10	S15
20	Balero No. 6305	pieza	1	S13
21	Balero No. NJ 305	pieza	1	S13
22	Balero No. 6205	pieza	2	S13
23	Balero No. NU 205	pieza	1	S13
24	Cople de desmontaje rapido	pieza	12	S13
25	Codo de desmontaje rápido	pieza	4	S13
26	Cable tipo resistencia	metros	60	S13
27	Soporte tipo pera de 2 pulgadas	pieza	20	S13
28	Tubo de acero inoxidable de 2 pulg	pieza	1	S13

Elaboro
Jefe de mantenimiento

Recibio
Departamento de compras

Autorizo
Gerencia general

Orden de compra del tercer mes

No.	Material	Unidad	Cantidad	Semana
1	Balero No. 6305	pieza	1	S17
2	Balero No. NU 305	pieza	1	S17
3	Aceite 220	litros	200	S17
4	Placa de teflón de 1x12x12 pulg	pieza	1	S17
5	Placa de teflón de 1/2x5x96 pulg	pieza	4	S17
6	Balero No. 6310	pieza	2	S17
7	Fabricación de espreas	pieza	8	S17
8	Válvula de vapor de 1 pulgada	pieza	1	S18
9	Espárrago roscado de 1 pulg de dia.	metro	2	S18
10	Fabricación de tina en acero inox	pieza	1	S18
11	Solvente dielectrico	litro	10	S17
12	Cinturones plásticos de 4 pulgadas	pieza	100	S17
13	Solvente desengrasante	litro	90	S18
14	Balero No. 6210	pieza	1	S17
15	Balero No. NJ 210	pieza	1	S17
16	Cable calibre 14 THW	metro	20	S18
17	Transformador de corriente tipo dona	pieza	6	S18
18	Indicador de voltaje con selector	pieza	1	S18
19	Rectificado de rodillos	pieza	3	S19
20	Polea de 8 pulg de dia 6 ranuras C	pieza	1	S19
21	Banda C - 120	pieza	6	S19
22	Soldadura 7018 de 1/8	kilo	3	S19
23	Tuerca hexagonal de 1 pulg	pieza	8	S18 S19
24	Balero No. 6310	pieza	1	S17
25	Balero No. NJ 310	pieza	1	S17
26	Platinos para contactor tamaño 2	juego	1	S17
27	Chumacera de pared de 2 pulg ref	pieza	4	S20
28	Soldadura de acero inoxidable	kilo	5	S20
29	Renta de equipo de Oxiacetileno	juego	1	S20

Elaboro
Jefe de mantenimiento

Recibio
Departamento de compras

Autorizo
Gerencia general

Hasta este momento solamente se tienen contemplados 16 de los 25 equipos que forman parte elemental del proceso de fabricación del chocolate. En un próximo análisis se determinó en conjunto con el departamento de producción y de ventas a los siguientes equipos como críticos para comenzar a realizar el mismo procedimiento 1 + 3 comenzando en la semana No. 17.

Equipos críticos para realizar el próximo plan de mantenimiento:

- 1.- Cazo con control automático para elaboración de palanqueta.
- 2.- Recipiente con control de temperatura para mantener el chocolate a 28 °C
- 3.- Máquina conchadota de chocolate blanco.
- 4.- Caldera de 40 CV
- 5.- Depósito almacenamiento de chocolate amargo de 3 toneladas
- 7.- Depósito de almacenamiento de chocolate con leche de 2 toneladas
- 8.- Depósito de almacenamiento de chocolate de reproceso de 2 toneladas
- 9.- Depósito de almacenamiento de chocolate de cobertura de 200 kg

Comentario:

La secuencia será la misma: Determinar las fallas para cada máquina, analizar las refacciones necesarias, pasar a cotizar al departamento de compras, realizar el programa mensual y emitir la orden de compra con la semana marcada para la llegada de las refacciones.

CONCLUSIONES

* **Primer punto** Lo más importante para la empresa es reflejar el ahorro inmediato de los recursos económicos, tanto por parte de la asignación de presupuesto como el ahorro en la nómina del personal calificado.

La cuadrilla se modificó de la siguiente forma:

1.- 8 ayudantes	\$ 350.00 semanal		
2.- 2 albañiles	\$ 400.00 semanal		
3.- 1 fogonero	\$ 480.00 semanal	Total	13 personas
4.- 1 electricista	\$ 480.00 semanal		
5.- 1 mecánico.	\$ 480.00 semanal		

Que representaban un gasto mensual por nómina de **\$ 20,160.00**

La nueva cuadrilla quedo formada de la siguiente forma:

1.- 2 técnicos electromecánicos	\$ 410.00		
2.- 1 oficial electricista	\$ 480.00		
3.- 1 oficial mecánico	\$ 480.00	Total	8 personas
4.- 4 ayudantes	\$ 350.00		

Que representaban un gasto mensual por nómina de **\$ 12,720.00**

Representando un **ahorro mensual del 47 %** además de quedar claro que al tener un programa establecido y sus refacciones la eficiencia de la mano de obra estará en un buen porcentaje de aprovechamiento (Este punto se puede medir al comenzar con las ejecuciones en firme del programa).

* **Segundo punto** se puede ver que con este análisis en los cuatro meses se gastó el siguiente presupuesto:

1.- Mes CERO de inicio	\$ 12,000.00		
2.- Mes UNO	\$ 47,871.00		
3.- Mes DOS	\$ 48,296.00		
4.- Mes TRES	\$ 39,407.00	TOTAL	\$ 145,574.00

Si recordamos que se asignaban \$ 15,000.00 semanales, en 16 semanas esto hubiera representado \$ 240,000.00

Por lo tanto hubo un ahorro de \$ 94,426.00

* **Tercer punto** Con las fallas que se eliminaron se elevó la eficiencia de las máquinas de un 37% a un 60 %, independientemente de que se mejoraría el plan para ir metiendo los sistemas que no se habían considerado en cada máquina. **Representando esto un avance de 23 % de eficiencia en las máquinas**

* **Cuarto punto** Se logró la reducción de inventario en el almacén ya que las refacciones se utilizaron conforme iban llegando ya que las máquinas ya estaban programadas para su reparación por lo que el programa de producción no las incluía. Además se estableció con los proveedores se haría el análisis del mínimo y máximo que debería tener cada refacción. Pero él o los materiales se quedarían en un lugar designado a la empresa chocolatera en el almacén del proveedor.

* **Quinto punto** La realización del programa general de mantenimiento preventivo se hará en base a la prioridad que se le dio a cada sistema o equipo y cada sistema se revisará con la frecuencia que dictaminen si es que existen; los manuales del fabricante o en su defecto la experiencia del jefe de mantenimiento, mecánicos, eléctricos, jefe de producción y los operadores que conviven y conocen hasta el más mínimo desajuste que presenten las máquinas.

* **Sexto punto** Al comenzar a recabar las Solicitudes de Mantenimiento debidamente llenadas, se comenzó a elaborar un archivo del tipo de reparación que se realizó, las refacciones contempladas y el control del tiempo del personal. Como un punto importante se hará notar que al no haber un control del tiempo que laboraba el personal de mantenimiento para efectos de comparar la eficiencia; se estableció que la gente trabajaba un 45% y al realizar el análisis de los tres meses se obtuvo una eficiencia del 75%.

* **Séptimo punto** Un punto que no se tomó en cuenta fue establecer si la cantidad y la calidad de la herramienta era la adecuada para realizar los trabajos de mantenimiento. Esto llevó a que la gente perdiera tiempo en los trabajos, por lo que para el próximo plan 1+3 se contemplaría la sustitución de herramienta para todo el personal.

* **Octavo punto** Se detectaron fallas en las máquinas que entraron en el primer plan que no fueron visualizadas por las rutinas de inspección; que aunque eran no críticas fue necesario contemplar el mantenimiento a los puntos detectados.

BIBLIOGRAFIA

1. E. T. Newbrough
Administración de Mantenimiento Industrial
Edit. Diana
México 1990
2. Enrique Dounce Villanueva
La Administración en el Mantenimiento
Compañía Editorial Continental S.A. de C.V.
México 1991
3. Theodore Baumeister, Eugene A. Avallone
MARKS Manual del Ingeniero Mecánico Tomo II
Edit. Mc Graw-Hill
México 1988
4. Sydney H. Avner
Introducción a la Metalurgia Física
Edit. Mc Graw-Hill
México 1988
5. Joseph Edward Shigley
Diseño en Ingeniería Mecánica
Edit. Mc Graw-Hill
México 1986
6. Hamilton H. Mabie
Mecanismos y Dinámica de Maquinaria
Edit. Limusa
México 1990
7. Electrodo INFR
Soldaduras Convencionales
Catalogo de Productos año 2000