



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN

“EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO COMO INVERSIÓN  
A MEDIANO PLAZO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA  
BIMBO”

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
EN EL AREA MECÁNICA  
P R E S E N T A:  
EDGAR FELIPE FLORES GARCÍA



FES Aragón

ASESOR:  
M. en I. ALBERTO REYES SOLÍS

MÉXICO

2009



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.

**A Dios:** Por darme la vida, por no dejarme caer nunca y por darme fuerzas cuando Más las he necesitado.

**A mis padres:** Por su amor incondicional y por enseñarme las cosas más valiosas en mi vida, las cuales han sido las bases de mi desarrollo y me han llevado a ser lo que soy.

**A mi madre:** Por enseñarme que nada es imposible cuando se trabaja duro sin dejar a un lado el corazón y la humildad.

**A mis hermanos:** Por todos los momentos que hemos compartido y por estar siempre cuando los he necesitado.

**A Edith:** Por ser parte importante y fundamental en mi vida, por todos los momentos que hemos compartido y por el apoyo que me ha brindado para poder llegar a este momento tan importante en mi carrera.

**A Jimena:** Por ser parte de mi, por su amor inocente y genuino y por ser una de las personas más importantes en mi vida que día a día es mi inspiración para ser mejor, superarme y dar todo de mi.

**A mis amigos:** Por todos los momentos que compartimos, por enseñarme que se puede combinar diversión con obligación, y por mostrarme que seis cabezas piensan mejor que una y pueden resolver más fácil cualquier cosa.

**A la UNAM:** Por ser mi segunda casa, porque aquí encontré todo lo que una persona con deseos de superación puede buscar y porque aquí aprendí todo lo necesario para poder enfrentar la vida profesional exitosamente, por eso y muchas cosas más me siento orgulloso de pertenecer a la máxima casa de estudios.

**A mi maestro:** Alberto Reyes Solís por creer en mi y por brindarme la oportunidad y el tiempo para poder realizar este proyecto tan importante en mi vida.

**A mis maestros:** A todos los buenos maestros en la carrera por darme las bases para mi desarrollo profesional, por su trabajo de calidad todos los días y por enseñarme que es más valioso un seis cuando se obtiene con mucho esfuerzo que un diez cuando se obtiene fácilmente.

Y a todas las personas que a lo largo de mi vida me han dado la oportunidad de demostrar lo que soy, que han confiado en mi y que me han apoyado.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I CONCEPTOS GENERALES	
1 CONCEPTOS GENERALES	3
1.1 BASES FILOSOFICAS PARA EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	3
1.1.1 Historia de la conservación industrial	3
1.1.2 Mantenimiento industrial	4
1.1.3 Gestión de mantenimiento	5
1.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	8
1.2.1 Generalidades	8
1.2.2 El mantenimiento correctivo	8
1.2.2.1 Mantenimiento correctivo de emergencia	8
1.2.2.2 Mantenimiento correctivo programado	9
1.2.3 Mantenimiento preventivo	10
1.2.3.1 Mantenimiento de uso	13
1.2.3.2 Mantenimiento basado en el tiempo	13
1.2.4 Mantenimiento predictivo	15
1.2.5 Mantenimiento modificativo	16
1.2.5.1 Mantenimiento de proyecto	17
1.2.5.2 Prevención del mantenimiento	17
1.2.5.3 Mantenimiento de reacondicionamiento	17
CAPITULO II LA GESTION DEL MANTENIMIENTO	
2 GESTION DEL MANTENIMIENTO	19
2.1 ADMINISTRACION DEL MANTENIMIENTO	19
2.1.1 Detección grupal de fallas	19
2.1.2 Ceguera de taller	19
2.1.3 El principio de pareto	20
2.1.4 Clasificación de defectos	28
2.1.5 Herramientas técnicas y decálogo del ingeniero	29
2.1.6 Biblioteca del ingeniero de mantenimiento	29
2.1.7 Plan de mantenimiento preventivo	30
2.1.8 Clasificación de componentes	32
2.2 PLANEACION Y PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO	33
2.2.1 Planeación	35
2.2.2 Programación	37
2.2.2.1 Programación lineal	38
2.2.2.2 Elementos de una programación acertada	39
2.2.2.3 Técnicas de medición del trabajo	41
2.2.2.4 Técnicas de programación	44
2.2.2.5 Método de la ruta crítica (CPM)	44
2.2.2.5.1 Representación del diagrama de red	46

2.2.2.5.2 Cálculo de la ruta crítica	47
2.2.2.6 Técnicas de revisión y evaluación de programas (Pert)	49
2.3 MANTENIMIENTO CON PARO DE LA PLANTA	52
2.3.1 Planeación del mantenimiento con paro de la planta	53
2.3.2 Programa del mantenimiento con paro de la planta	55
2.3.3 Informe del mantenimiento con paro de la planta	56
CAPITULO III INGENIERIA APLICADA AL MANTENIMIENTO	
3 INGENIERIA APLICADA AL MANTENIMIENTO	58
3.1 PRODUCTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE MANTENIMIENTO	58
3.2 MEDIDAS DE ENTRADA	58
3.3 MEDIDAS DE SALIDA	60
3.4 MEDIDAS DENTRO DEL SISTEMA	65
3.5 INDICES DE MANTENIMIENTO	66
3.5.1 Formulas para calcular índices de la administración del mantenimiento	66
3.5.2 Formulas para calcular la eficacia del mantenimiento	68
3.6 ANALISIS DE TENDENCIAS Y GRAFICA DE CONTROL	69
CAPITULO IV COSTOS DEL MANTENIMIENTO	
4 COSTOS DEL MANTENIMIENTO	74
4.1 OBJETIVOS Y FUNCIONES DE LOS COSTOS	74
4.2 TIPOS DE COSTOS	75
4.2.1 Costos fijos	75
4.2.2 Costos variables	76
4.2.3 Costos financieros	76
4.2.4 Costos de fallo	77
4.2.5 Costo integral	78
4.2.6 Costo de mantenimiento	79
CAPITULO V HERRAMIENTAS PARA EL MANTENIMIENTO	
5 HERRAMIENTAS PARA EL MANTENIMIENTO	83
5.1 CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESO EN EL MANTENIMIENTO	83
5.1.1 Recopilación de datos	83
5.1.2 Lista de verificación	84
5.1.3 Histograma	85
5.1.4 Diagrama de causa y efecto (espina de pescado)	88
5.1.4.1 Interpretación del DCE	90
5.1.5 Grafica de Pareto (análisis ABC)	91
5.1.6 Graficas de control	91
5.1.7 Diagrama de dispersión	92
5.1.8 Análisis del modo de fallas y efectos (AMEF)	93
5.1.8.1 Controles actuales	99
5.1.8.2 Detección	100
5.1.8.3 Número de prioridad de riesgo (NPR)	101

5.2 CONTROL DE CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO	102
5.2.1 Factores relacionados con los procedimientos y las normas	105
5.2.2 Factores relacionados con el personal	105
5.2.3 Factores relacionados con los materiales	105
5.2.4 Factores relacionados con las herramientas y el equipo	106
CAPITULO VI CASO PRÁCTICO	
6 CASO PRÁCTICO	108
6.1 PROCESO DE LA FORMACIÓN DE BOTANAS	108
6.1.1 Cacahuete tostado (línea de tostados)	108
6.1.2 Línea de confitados	111
6.1.3 Línea de frituras	113
6.1.4 Línea de envasados	114
6.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	115
6.3 ANALISIS DEL PROBLEMA	115
6.4 ANALISIS DE DATOS	156
CAPITULO VII EL FUTURO DEL MANTENIMIENTO	
7 EL FUTURO DEL MANTENIMIENTO	161
7.1 DISEÑO DE LA FACTIBILIDAD DEL MANTENIMIENTO	161
7.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)	163
7.3 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)	166
7.3.1 Otorgamiento de facultades a los empleados	168
7.3.2 Administración del equipo	169
7.3.3 Implantación del TPM	170
7.4 BENCHMARKING Y MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL	171
7.4.1 Análisis de causas fundamentales	173
CONCLUSIONES	174
BIBLIOGRAFÍA	176

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad el mantenimiento preventivo en muchas de las industrias en México no se lleva a cabo, se basan más al correctivo. Esto se debe a que los directivos o representantes, que son las personas que pueden modificar el sistema de mantenimiento en una empresa, consideran un gasto innecesario y alto este tipo de mantenimiento, optando preferentemente por el mantenimiento correctivo, es decir, reparar cuando ocurre la falla.

Debido a esta cultura de reparar cuando se descompone, el departamento de mantenimiento se ve siempre con la urgencia de solicitar refacciones de emergencia, en ocasiones tener al personal tiempo extra para la pronta reparación del equipo, así como parar la producción para la reparación de estos y de esta manera convertirse en el departamento más caro en cualquier industria.

El presente trabajo da las bases teóricas para la realización de una planeación en mantenimiento para la optimización de los recursos materiales, factor humano y equipos. Esto se logra hacer utilizando métodos estadísticos, elementos de planeación y análisis de costos, para la programación de un efectivo mantenimiento preventivo. Así mismo se analiza un caso práctico real en una empresa de la ciudad de México, en la que se cambia la cultura de mantenimiento correctivo por la de mantenimiento preventivo, haciendo un análisis de las fallas ocurridas durante ocho meses, y utilizando herramientas estadísticas como un pareto y métodos de solución de problemas como es el diagrama de causa y efecto para determinar una planeación del mantenimiento preventivo, y por ultimo se hace una comparación del costo que se tiene por mantenimiento correctivo contra el mantenimiento preventivo, mostrando que este ultimo es una inversión a mediano plazo y no un gasto innecesario.

Es cierto que en la actualidad el mantenimiento preventivo no es lo último en efectividad en cuanto a mantenimiento, pero sí es el primer paso para la implantación de métodos y culturas más sofisticadas en materia de mantenimiento y productividad.

# **CAPITULO I**

## **CONCEPTOS GENERALES**

# 1 CONCEPTOS GENERALES

## 1.1 BASES FILOSÓFICAS PARA EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

### 1.1.1 Historia de la conservación industrial.

Desde el principio de la humanidad, hasta finales del siglo XVII, las funciones de preservación y mantenimiento no tuvieron un gran desarrollo debido a la menor importancia que tenía la máquina con respecto a la mano de obra, ya que hasta 1880 el 90% del trabajo lo realizaba el hombre y la máquina sólo hacía el 10%. La conservación que se proporcionaba a los recursos de las empresas era solamente mantenimiento correctivo (las máquinas únicamente se reparaban en caso de paro o falla importante).

Con la 1ª guerra mundial, en 1914, las máquinas trabajaron a toda su capacidad y sin interrupciones, por este motivo tuvieron cada vez mayor importancia. Así nació el concepto de mantenimiento preventivo que a pesar de ser oneroso era necesario.

A partir de 1950 gracias a los estudios de fiabilidad se determinó que a una máquina en servicio siempre la integraban dos factores: la máquina y el servicio que ésta proporciona. De aquí surge la idea de preservar o cuidar que esté dentro de los parámetros de calidad deseada. De aquí se desprende el siguiente principio: **“el servicio se mantiene y el recurso se preserva”**.

En base a lo anterior se hicieron estudios cada vez más profundos sobre fiabilidad y mantenibilidad. Así nació la “ingeniería de conservación” (preservación y mantenimiento). El año de 1950 es la fecha en que se toma a la máquina como un medio para conseguir un fin, que es el servicio que ésta proporciona.

### **1.1.2 Mantenimiento industrial**

El área del Mantenimiento Industrial es de primordial importancia en el ámbito de la ejecución de las operaciones en la industria.

De un buen Mantenimiento depende, no sólo un funcionamiento eficiente, sino que además, es preciso llevarlo a cabo con rigor para conseguir otros objetivos como son el control del ciclo de vida sin disparar los presupuestos destinados a mantenerlas.

Las estrategias convencionales de "reparar cuando se produzca la avería" ya no funcionan. Fueron válidas en el pasado, pero ahora se es consciente de que esperar a que se produzca la avería para intervenir, es incurrir en unos costos excesivamente elevados (pérdidas de producción, deficiencias en la calidad, etc.) y por ello las empresas industriales se plantearon llevar a cabo procesos de prevención de estas averías mediante un adecuado programa de mantenimiento.

La evolución del mantenimiento se estructura en las cuatro siguientes generaciones:

1ª generación: Mantenimiento correctivo total. Se espera a que se produzca la avería para reparar.

2ª generación: Se empiezan a realizar tareas de mantenimiento para prevenir averías. Trabajos cíclicos y repetitivos con una frecuencia determinada.

3ª generación: Se implanta el mantenimiento a condición. Es decir, se realiza el monitoreo de parámetros en función de los cuales se efectuarán los trabajos propios de sustitución o reacondicionamiento de los elementos.

4ª generación: Se implantan sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y de la organización y ejecución del

mantenimiento. Se establecen los grupos de mejora y seguimiento de las acciones.

La analogía con la calidad es total a lo largo del tiempo.

En la primera generación se incurría en costos de no-calidad al tenerse que reprocesar productos (algunos cuando el cliente advertía el defecto) hasta que se vio que controlar la calidad costaba menos que las consecuencias de no hacerlo. Así nacieron los controles de calidad en los procesos (equivalente a la 2ª generación del Mantenimiento).

Más adelante se comprobó que los costos de estos controles eran muy altos y se pasó al control de calidad por procesos y al control estadístico de calidad (corresponde a la 3ª generación del Mantenimiento).

La evolución posterior ha sido la creación de círculos de calidad y grupos de mejora continua con los objetivos de alcanzar la calidad total y la integración del personal (equivalente a los modelos de organización, o sea la cuarta generación del Mantenimiento).

### **1.1.3 Gestión de mantenimiento**

En la actualidad el mantenimiento ha ido adquiriendo una importancia creciente; los adelantos tecnológicos han impuesto un mayor grado de mecanización y automatización de la producción, lo que exige un incremento constante de la calidad; por otro lado, la fuerte competencia comercial obliga a alcanzar un alto nivel de confiabilidad del sistema de producción o servicio, a fin de que éste pueda responder adecuadamente a los requerimientos del mercado.

El mantenimiento pasa a ser así una especie de sistema de producción o servicio alterno, cuya gestión corre paralela a éste; consecuentemente, ambos sistemas deben ser objeto de similar atención, la esencia empírica demuestra, no obstante, que la mayor atención se centra en la actividad productiva o de servicio propiamente dicha.

Está demostrado que las organizaciones eficientes tienen un sistema de mantenimiento eficiente. La reconversión de la actividad de mantenimiento debe verse, en primera instancia, como la adopción de un sistema que se adapte a las necesidades de cada empresa y particularmente a las características y el estado técnico del equipamiento instalado en ellas.

El sector Mantenimiento generalmente se incluye en las organizaciones, dentro de la función denominada Ingeniería de Planta, siendo en muchos casos, su actividad excluyente. En algunas organizaciones, la función de Ingeniería de Planta se llama Intendencia.

En mantenimiento, se agrupan una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones, etc.

La confiabilidad es la probabilidad de que un producto se desempeñe del modo que se había propuesto, durante un tiempo establecido, bajo condiciones especificadas de operación. Si este criterio lo aplicamos a los productos que sólo se usan una vez puede darnos una idea relativamente falsa de su significado.

Un ejemplo típico es la confiabilidad de un clavo. Al usarlo, el mismo puede funcionar correctamente o, doblarse y en este último caso, no sería "confiable". Por ello, normalmente su significado se aplica a conjuntos de piezas o sistemas, formados por un ensamble serie/paralelo en el que individualmente, cada pieza, posee su propia confiabilidad y el ensamble, una diferente, según como se encuentre formado dicho ensamble.

De esta manera vemos que la confiabilidad de un sistema complejo, compuesto por una serie de piezas, puede llegar a ser muy mala a pesar de una no muy mala confiabilidad individual. Esto es tanto más cierto cuanto mayor sea la variabilidad del desempeño de cada uno de los componentes del sistema y su grado de dependencia o independencia es particularmente cierto cuando es la mano de obra uno de los componentes.

Es cierto que si no llevamos a cabo una actividad de mejora y de control será muy difícil obtener confiabilidades resultantes elevadas. También es cierto que es a través de esta actividad de mejora donde se puede lograr la diferencia entre un buen y un mal servicio como producto.

Con un buen mantenimiento se obtiene lo siguiente:

1. Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.
2. Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
3. Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
4. Evitar accidentes.
5. Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
6. Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
7. Balancear el costo del mantenimiento con el correspondiente al lucro cesante.
8. Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas.

Se dice que algo falla cuando deja de brindar el servicio que debía o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión.

En general, todo lo que existe, especialmente si es móvil, se deteriora, rompe o falla con el correr del tiempo. Puede ser a corto plazo o a muy largo plazo.

El solo paso del tiempo provoca en algunos bienes, disminuciones evidentes de sus características, cualidades o prestaciones.

En otro tipo de bienes, el deterioro se acentúa principalmente por su uso, como es el caso de todas las piezas móviles de una maquinaria o instalación.

## **1.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO**

### **1.2.1 Generalidades**

Los tipos de mantenimiento que existen se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Mantenimiento correctivo
  - Mantenimiento de emergencia
  - Mantenimiento programado
- b) Mantenimiento preventivo
  - Mantenimiento de uso
  - Mantenimiento basado en el tiempo
- c) Mantenimiento predictivo
- d) Mantenimiento modificativo
  - Mantenimiento de proyecto
  - Prevención del mantenimiento
  - Mantenimiento de reacondicionamiento

### **1.2.2 El mantenimiento correctivo**

#### **1.2.2.1 Mantenimiento correctivo de emergencia.**

Tanto este tipo de servicio, como el correctivo programado, actúan sobre hechos ciertos y el mantenimiento consistirá en reparar la falla.

El correctivo de emergencia deberá actuar lo más rápidamente posible con el objetivo de evitar costos y daños materiales y/o humanos mayores.

Actuar ante una emergencia (generalmente la detección de un gas combustible, implica la existencia de una concentración peligrosa en el aire ambiente, la cual es explosiva).

Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir las fallas y en los procesos que

admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad.

Tiene como inconvenientes, que la falla puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia.

Asimismo, fallas no detectadas a tiempo, ocurridas en partes cuyo cambio hubiera resultado de escaso monto, pueden causar daños importantes en otros elementos o piezas conexos que se encontraban en buen estado de uso y conservación.

Otro inconveniente de este sistema, es que deberá disponerse de un capital importante invertido en piezas de repuesto debido a la adquisición de muchos elementos que pueden fallar, suele requerir una gestión de compra y entrega no compatible en tiempo con la necesidad de contar con el bien en operación (por ejemplo: caso de equipos discontinuados de fabricación, partes importadas, desaparición del fabricante).

Por último, con referencia al personal que ejecuta el servicio, debe ser altamente calificado y sobredimensionado en cantidad pues las fallas deben ser corregidas de inmediato.

### **1.2.2.2 Mantenimiento correctivo programado.**

Al igual que el anterior, corrige la falla y actúa muchas veces ante un hecho cierto. La diferencia con el de emergencia es que no existe el grado de apremio del anterior, sino que los trabajos pueden ser programados para ser realizados en un futuro normalmente próximo, sin interferir con las tareas de producción.

En general, se programa la detención del equipo, pero antes de hacerlo, se van acumulando tareas a realizar sobre el mismo y programando su ejecución en dicha oportunidad, aprovechando a ejecutar toda tarea que no se puede hacer con el equipo en funcionamiento. Lógicamente, se aprovechan para las paradas, horas

en contraturno, períodos de baja demanda, fines de semana, períodos de vacaciones, etc.

Si bien muchas de las paradas son programadas, otras, son obligadas por la aparición de las fallas. Por ello, este sistema comparte casi las mismas desventajas o inconvenientes que el método anterior.

### **1.2.3 Mantenimiento preventivo**

Este tipo de mantenimiento trata de anticiparse a la aparición de las fallas.

Evidentemente, ningún sistema puede anticiparse a las fallas que no nos avisan por algún medio.

La base de información surge de fuentes internas a la organización y de fuentes externas a ella.

Fuentes internas: están constituidas por los registros o historiales de reparaciones existentes en la empresa, los cuales nos informan sobre todas las tareas de mantenimiento que el bien ha sufrido durante su permanencia en nuestro poder. Se debe tener en cuenta que los bienes existentes tanto pudieron ser adquiridos como nuevos (sin uso) o como usados.

Forman parte de las mismas fuentes, los archivos de los equipos e instalaciones con sus listados de partes, especificaciones, planos generales, de detalle, de despiece, los archivos de inventarios de piezas y partes de repuesto (spare parts) y, por último, los archivos del personal disponible en mantenimiento con el detalle de su calificación, habilidades, horarios de trabajo, sueldos, etc.

Fuentes externas: están constituidas por las recomendaciones sobre el mantenimiento, que efectúa el fabricante de cada bien.

Las salidas del sistema, están constituidas por los informes de:

1. Compras e inventario

2. Listado de partes de los equipos e instalaciones
3. Historiales
4. De análisis de costos (costos reales contra los costos estándar)
5. Órdenes de trabajo de mantenimiento y de recorridas en sus diversos tipos.

En el caso de compra de bienes de cierta importancia, junto con el mismo, se recibe un manual de operación y mantenimiento. En dicho manual, se recomienda la realización de determinados trabajos de mantenimiento y determinados reemplazos de piezas y/o de materiales de consumo, especificándose la oportunidad de su ejecución sobre una base de tiempo de uso, tiempo desde la última intervención, número de golpes, número de vueltas, kilómetros recorridos, cantidad de materia prima procesada, etc.

El fabricante puede formular esas recomendaciones porque se basa en su experiencia, es decir, en el conocimiento que obtiene sobre los productos de su fabricación, por la práctica y por la observación a través de un tiempo prolongado.

En ambas fuentes de información se encuentra implícito el conocimiento de la vida útil del bien.

Es justamente la definición de una vida útil para los bienes y sus componentes, lo que nos facilita encarar el mantenimiento del tipo preventivo.

Por otro lado, para los casos en que no disponemos de información sobre la historia o sobre la vida útil de un bien, la recorrida periódica de todos ellos y la confección de un programa de reparaciones anticipadas, nos permiten actuar antes que se produzcan muchas de las fallas.

En todos los casos, la prevención nos permite preparar el equipo de personal, los materiales a utilizar, las piezas a reponer y la metodología a seguir, lo cual constituye una enorme ventaja.

La mayor ventaja de este sistema es la de reducir la cantidad de fallas por horas de marcha.

Las desventajas que presenta este sistema son:

- Cambios innecesarios: al realizarse el mantenimiento preventivo se procede a su cambio, encontrándose muchas veces que el elemento que se cambia, permitiría ser utilizado durante un tiempo más prolongado. En otros casos, ya con el equipo desarmado, se observa la necesidad de "aprovechar" para realizar el reemplazo de piezas menores en buen estado, cuyo costo es escaso frente al correspondiente de desarme y armado, en vista de prolongar la vida del conjunto.
- Problemas iniciales de operación: cuando se desarma, se montan piezas nuevas, se rearma y se efectúan las primeras pruebas de funcionamiento, pueden aparecer diferencias en la estabilidad, seguridad o regularidad de la marcha.

Muchas veces, esto es debido a que las piezas no hermanan como cuando se desgastaron en forma paulatina en una posición dada, otras veces, es debido a la aparición de fugas o pérdidas que antes de la reparación no existían, o a que no se advirtió que también se deberían haber cambiado piezas que se encontraban con pequeños desgastes, o a que durante el armado se modificaron posiciones de piezas que provocan vibraciones por desbalanceo de las partes rotantes.

- Costo en inventarios: el costo en inventarios sigue siendo alto aunque previsible, lo cual permite una mejor gestión.
- Mano de obra: se necesitará contar con mano de obra intensiva y especializada para períodos cortos, a efectos de librar el equipo al servicio lo más rápidamente posible.
- Mantenimiento no efectuado: si por alguna razón no se realiza un servicio de mantenimiento previsto, se alteran los períodos de intervención y se produce un degeneramiento del servicio.

### **1.2.3.1 Mantenimiento de uso**

El mantenimiento de uso pretende responsabilizar del primer nivel de mantenimiento a los propios usuarios de los equipos. Uno de los inconvenientes que presenta el correctivo, es la pérdida de información que surge de no controlar el funcionamiento del equipo. Si el usuario tiene como responsabilidad la conservación y pequeñas reparaciones, no pasará por alto las primeras anomalías que detecta antes del fallo.

Las ventajas que obtenemos con este método son que se realicen a su debido tiempo ciertas actuaciones que si tuviéramos que involucrar a otras personas no se realizarían, o interferirían en la marcha del equipo. Por otra parte se descarga al personal de mantenimiento y se simplifica la organización.

Para poder poner en marcha este mantenimiento es necesario dar a los usuarios cierta formación en mantenimiento y delimitar hasta donde pueden y deben actuar. Las acciones más frecuentes que suelen realizar los propios usuarios son el engrase, la limpieza y el apriete de las partes de unión.

### **1.2.3.2 Mantenimiento basado en el tiempo**

Consiste en revisar los equipos a intervalos programados antes de que aparezca algún fallo. La revisión consiste en dejar el equipo a «cero horas» de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se deben sustituir o reparar perfectamente los elementos con una fiabilidad baja y los de una mantenibilidad alta. Con estas acciones se pretende asegurar, con gran probabilidad, un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.

Las principales ventajas frente al mantenimiento correctivo son la posibilidad de programar las revisiones para cuando menos impacto tengan en la producción y la posibilidad de preparar el trabajo y el aprovisionamiento de materiales. Estas ventajas se traducen en un aumento de la disponibilidad de la máquina al poder realizar las revisiones fuera del tiempo destinado a producción, y contar con una plantilla de mantenimiento optimizada al conocer de antemano la carga de trabajo

y una reducción del valor de los stocks de almacén al poder aprovisionar justo antes de las revisiones.

Sin embargo, seguimos perdiendo la información que puede facilitarnos el equipo durante su funcionamiento.

Para implantar el mantenimiento basado en el tiempo es necesario hacer previamente un estudio detallado de los equipos en él que se determine la frecuencia de las revisiones y la necesidad de instalar un contador horario o de piezas fabricadas. La frecuencia óptima para la realización de las revisiones se debe situar al comienzo de la zona de envejecimiento de la curva de Davies, es decir en la vida promedio. Si la frecuencia es mayor, correremos el riesgo de que aparezcan averías antes de la revisión y pasaríamos a realizar mantenimiento correctivo. Si la frecuencia es demasiado baja, estaremos sustituyendo elementos del equipo que todavía podrían seguir funcionando sin avería durante un tiempo. En este caso estamos perdiendo la vida residual de algunos elementos lo que supone un costo adicional al mantenimiento.

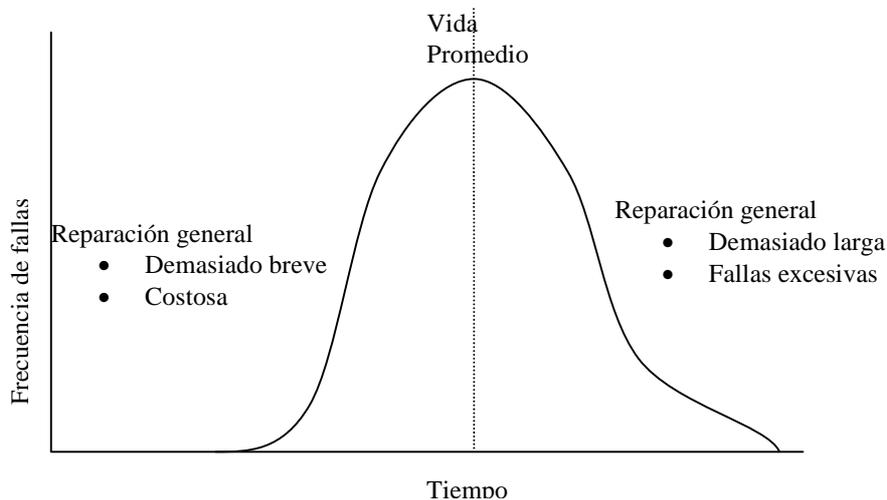


Figura 1.1 Reparación general basada en el tiempo (Curva de Davies)

El hecho de aceptar el cambio de determinados elementos en cada revisión puede distraernos de buscar el origen de la degradación de estos y actuar sobre el efecto y no sobre la causa.

#### **1.2.4 Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo consiste en el conocimiento permanente del estado y operatividad de los equipos, mediante la medición de determinadas variables. El estudio de los cambios en estas variables determina la actuación o no del mantenimiento correctivo.

Las ventajas frente a otros tipos de mantenimiento preventivo se basan en la velocidad con la que se obtiene la información; en otros casos se establece una frecuencia mientras que en el predictivo es inmediata. El predictivo incorpora, además, ciertas variables que aumentan la información del estado de los equipos.

Los dos aspectos fundamentales son el funcionamiento de la máquina desde el punto de vista de la Producción y el estado de la máquina respecto a sus componentes. Conocer en detalle las variables del equipo permite -ante una anomalía- no sólo prever la avería sino cambiar el ritmo de trabajo para optimizar el proceso a las nuevas condiciones de trabajo.

La mayor información que proporciona este tipo de mantenimiento añadido a la rapidez con la que se envía la información supera cualquier otro tipo de mantenimiento preventivo. El mayor inconveniente para su aplicación es el económico. Para cada equipo es necesario la instalación de equipos de medida centralizados en una estación de seguimiento.

Los parámetros a controlar pueden ser: presión, pérdidas de carga, caudales, consumos energéticos, caídas de temperatura, ruido, vibraciones, dimensiones de una cota, etc.

Para la implantación de este tipo de mantenimiento es necesario fijar las magnitudes que mejor definan el proceso interno del equipo. Una vez

seleccionadas, fijar los valores normales de funcionamiento y los valores límite que puede alcanzar cada una de estas magnitudes; por último, dotar a la instalación de los aparatos de medición y centralizarlos para su seguimiento.

Algunos de las variables a controlar son:

- Vibraciones. El estudio de los espectros de vibraciones y su amplitud puede proporcionarnos suficiente información para saber las partes que comienzan a dañarse dentro de cualquier equipo. Un ejemplo son los rodamientos de un motor o las chumaceras de una flecha. Para analizar esta variable se utiliza un analizador de vibraciones.
- Temperatura. Al analizar esta variable se puede detectar anomalías que van acompañadas de generación de calor como rozamientos o mala lubricación, fugas en válvulas y purgadores e incluso permite determinar el estado de los equipos y tableros eléctricos mediante termografías superficiales. Para analizar esta variable se pueden usar termómetros y cámaras termográficas.
- Fisuras. Para el control de fisuras y otros defectos se emplean métodos como las radiografías, líquidos penetrantes, ultrasonidos, corrientes inducidas. El conocimiento de esta variable en elementos que han estado trabajando nos permitirá tomar decisiones sobre la situación y tiempo máximo de funcionamiento antes de la falla total.

### **1.2.5 Mantenimiento modificativo**

Con este nombre se conocen las acciones que lleva a cabo Mantenimiento, tanto para modificar las características de producción de los equipos, como para lograr una mayor fiabilidad o mantenibilidad de los mismos. Este mantenimiento puede aparecer en tres épocas de la vida de una instalación.

### **1.2.5.1 Mantenimiento de proyecto**

La primera oportunidad es cuando se va a adquirir el equipo, esto es durante el proyecto. Los equipos estándar; en ocasiones, necesitan ser adaptados a las necesidades propias de la empresa ya sea por razones del producto o bien por ajustar el costo o posibilidades de mantenimiento. Una instalación que tenga durante su diseño un análisis desde el punto de vista de mantenimiento, evitará problemas posteriores que, en ocasiones, pueden ser difíciles de solucionar. Este es el mantenimiento de proyecto.

### **1.2.5.2 Prevención del mantenimiento**

La segunda época en la que puede aparecer el mantenimiento modificativo es durante su vida útil. Se trata de modificar los equipos para eliminar las causas más frecuentes que producen fallos. El análisis de las causas de las averías es el origen de este tipo de mantenimiento y supone la eliminación total de ciertos fallos; prevención del mantenimiento.

### **1.2.5.3 Mantenimiento de reacondicionamiento**

Por último, este mantenimiento se utiliza cuando el equipo entra en la época de vejez. En esta ocasión se trata de reconstruir el equipo para asegurar su utilización durante un intervalo de tiempo posterior a su vida útil. En este momento se aprovecha para introducir todas las mejoras posibles tanto para producción como para mantenimiento.

## **CAPITULO II**

# **LA GESTION DEL MANTENIMIENTO**

## **2 GESTION DEL MANTENIMIENTO**

### **2.1 ADMINISTRACIÓN DEL MANTENIMIENTO**

En ingeniería y administración se sabe que reglamentos, programas, cédulas de mantenimiento, etc., son guías que se deben cumplir, pero que a medida que se gana experiencia deben modificarse o incluso eliminarse.

La flexibilidad que se debe tener para mejorar un sistema, programa, formato, etc., es lo que se entiende por dinámica. Los programas de mantenimiento deben ser dinámicos. Se elaboran con base en experiencias previas en el lugar, conocimiento del jefe o del grupo, catálogo de equipo, recomendaciones del fabricante, etc. Dos puntos básicos que hay que considerar en la elaboración de dichos programas son el principio de Pareto y el análisis del modo, criticidad y efecto de falla.

#### **2.1.1 Detección grupal de fallas**

“Dos ojos ven más que uno”, dice el dicho, y es cierto. El enorme potencial de razonamiento grupal radica en el hecho de que hay una retroalimentación (retroinfo o feed back) entre los elementos del grupo. Se considera fundamental la participación activa de todas las personas relacionadas (y aun de las no directamente relacionadas con el asunto).

#### **2.1.2 Ceguera de taller**

Cuando por primera vez se pasa por alto una condición anómala o deficiente la probabilidad de pasarla por alto una segunda vez aumenta, y así sucesivamente. Cuando en cualquier sitio hay una condición que puede mejorarse y no sucede así, es casi seguro que se vuelva costumbre no verla.

En los talleres industriales se ha estudiado el asunto, y para solucionarlo se ha pedido que personas desconocidas dedicadas a trabajos similares a los que se realizan visiten otros talleres y den sus sugerencias. Se recomienda que el departamento de mantenimiento tenga un sistema de detección de condiciones problemáticas (de seguridad, operación, imagen, etc.).

Resultan buenas ideas de tener fuentes de información que no estén en contacto diario con el centro de consumo. Tal es la función de las encuestas a visitantes o huéspedes.

Estas encuestas de retroinfo dan la opinión con ojos de cliente, pero deben completarse con opiniones de personas relacionadas con el ramo y con opiniones de técnicos o profesionales.

El mejor provecho se obtiene si se dispone de una metodología para la recopilación, análisis y procesamiento de esta información.

### **2.1.3 El principio de pareto**

Este principio nos guía para jerarquizar los problemas en áreas como fiabilidad y control de calidad. El principio de pareto también es conocido como “la ley del 20-80 o de los pocos vitales o muchos triviales”. Lo último significa que el 80% de la magnitud de las consecuencias es originada por el 20% de las causas.

Esta herramienta identifica los elementos que más peso o importancia tienen dentro de un grupo, enfoca y dirige el esfuerzo de los componentes del grupo de trabajo hacia un objetivo prioritario común, su utilización fuerza al grupo de trabajo a tomar decisiones basadas en datos y hechos objetivos y no en ideas subjetivas.

Las tablas y diagramas de Pareto son herramientas de representación utilizadas para visualizar el análisis de Pareto. El diagrama de Pareto es la representación gráfica de la tabla de Pareto correspondiente.

Las ventajas fundamentales de las tablas y diagramas de pareto son que tanto la tabla como el diagrama de Pareto no requieren ni cálculos complejos ni técnicas sofisticadas de representación gráfica, y el diagrama de Pareto comunica de forma clara, evidente y de un "vistazo", el resultado del análisis de comparación.

Para el análisis y la construcción por medio del principio de pareto se deben seguir los siguientes pasos:

## Paso 1: Preparación de los datos

Como en todas las herramientas de análisis de datos, el primer paso consiste en recoger los datos correctos o asegurarse de que los existentes lo son. Para la construcción de un diagrama de Pareto son necesarios:

- a) Un efecto cuantificado y medible sobre el que se quiere priorizar (Costos, tiempo, número de errores o defectos, porcentaje de clientes, etc).
- b) Una lista completa de elementos o factores que contribuyen a dicho efecto (tipos de fallos o errores, pasos de un proceso, tipos de problemas, productos, servicios, etc).

Es importante identificar todos los posibles elementos de contribución al efecto antes de empezar la recolección de datos. Esta condición evitará que al final del análisis, la categoría "Varios" resulte ser una de las incluidas en los "Pocos Vitales".

- a) La magnitud de la contribución de cada elemento o factor al efecto total. Estos datos ya sea que existan o que haya que recogerlos, deberán ser:
  - Objetivos: basados en hechos, no en opiniones.
  - Consistentes: debe utilizarse la misma medida para todos los elementos contribuyentes y los mismos supuestos y cálculos a lo largo del estudio, ya que el Análisis de Pareto es un análisis de comparación.
  - Representativos: deben reflejar toda la variedad de hechos que se producen en la realidad.
  - Verosímiles: evitar cálculos o suposiciones controvertidas, ya que buscamos un soporte para la toma de decisiones, si no se cree en los datos, no apoyarán las decisiones.

Paso 2: Cálculo de las contribuciones parciales y totales. Ordenación de los elementos o factores incluidos en el análisis

Para cada elemento contribuyente sobre el efecto, anotar su magnitud.

Ordenar dichos elementos de mayor a menor, según la magnitud de su contribución.

Calcular la magnitud total del efecto como suma de las magnitudes parciales de cada uno de los elementos contribuyentes.

Ejemplo:

<b>Tipo de error (elementos)</b>	<b>Numero de errores (contribuciones)</b>
E	44
B	39
C	35
F	12
D	8
A	3
H	3
I	2
G	0
<b>TOTAL</b>	<b>146</b>

Paso 3: Calcular el porcentaje y el porcentaje acumulado para cada elemento de la lista ordenada

El porcentaje de la contribución de cada elemento se calcula:

$$\% = \frac{\text{magnitud de la contribución}}{\text{magnitud del efecto total}} \times 100 \quad \mathbf{2.1}$$

El porcentaje acumulado para cada elemento de la lista ordenada se calcula:

- Por suma de contribuciones de cada uno de los elementos anteriores en la tabla, más el elemento en cuestión como magnitud de la contribución, y aplicando la fórmula anterior.
- Por suma de porcentajes de contribución de cada uno de los elementos anteriores más el porcentaje del elemento en cuestión. En este caso habrá que tener en cuenta el que estos porcentajes, en general, han sido redondeados.

Una vez completado este paso tenemos construida la tabla de pareto.

Ejemplo:

<b>Tipo de error</b>	<b>Numero de errores</b>	<b>Numero de errores acumulado</b>	<b>% del total</b>	<b>% acumulado del total</b>
E	44	44	30 %	30 %
B	39	83	27 %	57 %
C	35	118	24 %	81 %
F	12	130	8 %	89 %
D	8	138	6 %	95 %
A	3	141	2 %	97 %
H	3	144	2 %	99 %
I	2	146	1 %	100 %
G	0	146	0 %	100 %
<b>TOTAL</b>	<b>146</b>	<b>146</b>	<b>100 %</b>	

Paso 4: Trazar y rotular los ejes del diagrama

El eje vertical izquierdo representa la magnitud del efecto estudiado.

- Debe empezar en 0 e ir hasta el valor del efecto total.
- Rotularlo con el efecto, la unidad de medida y la escala.
- La escala debe ser consistente, es decir variar según intervalos constantes.
- Las escalas de las gráficas que se compararán entre sí, deben ser idénticas.

El eje horizontal contiene los distintos elementos o factores que contribuyen al efecto.

- Dividirlo en tantas partes como factores existan y rotular su identificación de izquierda a derecha según el orden establecido en la tabla de pareto.

El eje vertical derecho representa la magnitud de los porcentajes acumulados del efecto estudiado.

- La escala de este eje va desde el 0 hasta el 100%. El cero coincidirá con el origen y el 100% estará alineado con el punto del eje vertical izquierdo que representa la magnitud total del efecto.

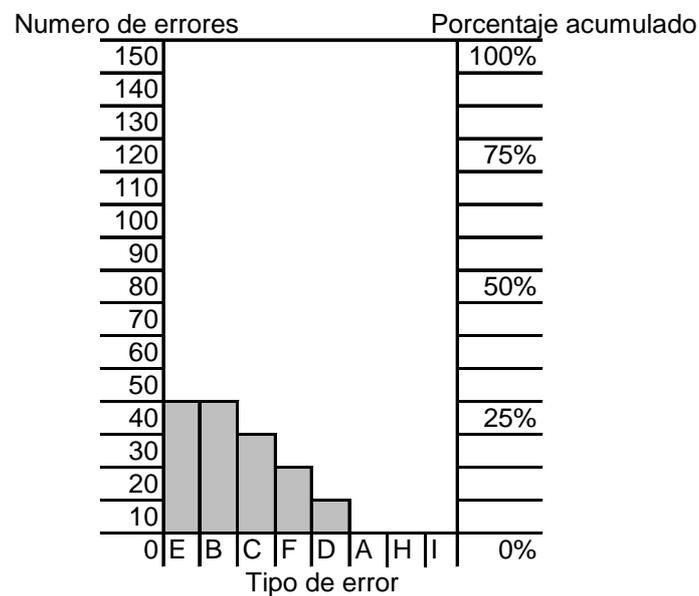
Ejemplo:

Numero de errores		Porcentaje acumulado	
150		100%	
130			
110		75%	
90			
70		50%	
50			
30		25%	
10			
0	E   B   C   F   D   A   H   I	0%	
	Tipo de error		

Paso 5: Dibujar una gráfica de barras que representa el efecto de cada uno de los elementos contribuyentes

La altura de cada barra es igual a la contribución de cada elemento tanto medida en magnitud por medio del eje vertical izquierdo como en porcentaje por medio del eje vertical derecho.

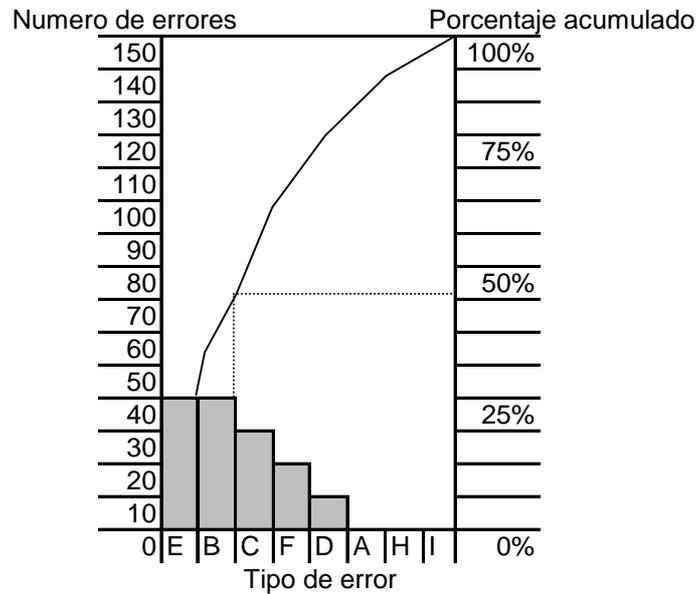
Ejemplo:



Paso 6: Trazar una gráfica lineal cuyos puntos representan el porcentaje acumulado de la tabla de pareto.

Marcar los puntos de la gráfica en la intersección de la prolongación del límite derecho de cada barra con la magnitud del porcentaje acumulado correspondiente al elemento representado en dicha barra.

Ejemplo:



Paso 7: Señalar los elementos "Pocos Vitales" y los "Muchos Triviales"

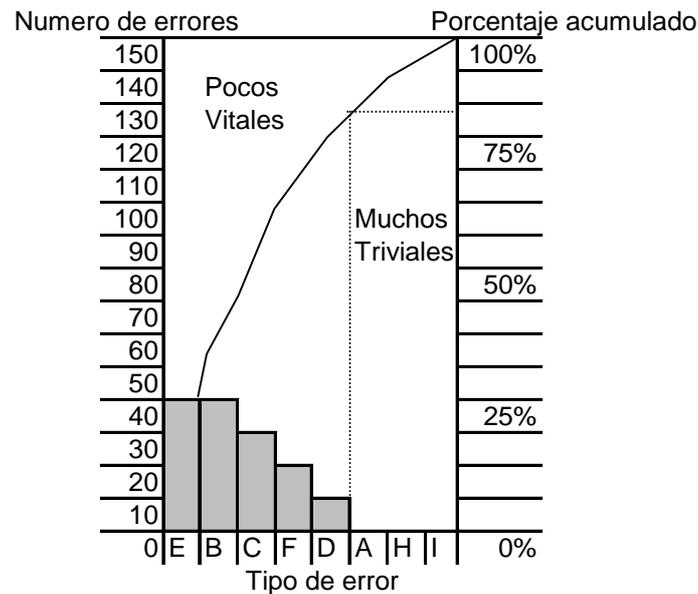
Trazar una línea vertical que separa el diagrama en dos partes y sirve para visualizar la frontera entre los "Pocos Vitales" y los "Muchos Triviales", basándonos en el cambio de inclinación entre los segmentos lineales correspondientes a cada elemento.

Rotular las dos secciones del diagrama.

Rotular el porcentaje acumulado del efecto correspondiente al último elemento incluido en la sección "Pocos Vitales".

Paso 8: Rotular el título del Diagrama de Pareto.

Ejemplo:



El objetivo del análisis de Pareto es utilizar los hechos para identificar la máxima concentración de potencial del efecto en estudio (magnitud del problema, costos, tiempo, etc) en el número mínimo de elementos que a él contribuyen.

Con este análisis buscamos enfocar nuestro esfuerzo en las contribuciones más importantes, con objeto de optimizar el beneficio obtenido del mismo.

Anteriormente se señalaba que existe una frontera clara entre las dos categorías "Pocos Vitales" y los "Muchos Triviales", pero en muchos casos no existe esta frontera claramente visible. En realidad se puede identificar generalmente una tercera categoría llamada "Zona Duda".

La estrategia de interpretación a seguir en estos casos será:

- Identificar los elementos que tienen una pendiente muy inclinada en su representación lineal y que en general representan aproximadamente el 60% del efecto total.
- Enfocar el trabajo a desarrollar en estos elementos como los "Pocos Vitales".

- c) Una vez terminada esta labor, volver a realizar el Análisis de Pareto en las nuevas condiciones y comprobar si los elementos incluidos en la anterior "Zona Dudosa" han pasado a ser "Pocos Vitales" y si su tratamiento es rentable.

En general, una vez tratados los elementos que claramente pertenecen a los "Pocos Vitales" tenemos un mejor conocimiento de lo que hay que hacer con los pertenecientes a la "Zona Dudosa".

El principio de Pareto sirve para establecer prioridades y para enfocar y dirigir las acciones a desarrollar posteriormente. Por otra parte permite basar la toma de decisiones en parámetros objetivos, por tanto, permite unificar criterios y crear consenso.

Este análisis es aplicable en todos los casos en que se deban establecer prioridades para no dispersar el esfuerzo y optimizar el resultado de dicha inversión. En particular:

- Para asignar prioridades a los problemas durante la definición y selección de proyectos.
- Para identificar las causas claves de un problema.
- Para comprobar los resultados de un grupo de trabajo una vez implantada la solución propuesta por el mismo.

A este fin se compara el diagrama de Pareto de la situación inicial con el de la situación actual y se comprueba que la contribución de los elementos inicialmente más importantes haya disminuido notablemente.

En la ingeniería de mantenimiento hay que resolver problemas que tienen una causa y con frecuencia su grado de dificultad. Lo que conviene es aplicar el esfuerzo a aquellos problemas más importantes ordenándolos por la gravedad de las consecuencias que acarrearían.

El ingeniero de mantenimiento debe obtener del principio anterior las bases para la toma de decisiones acerca de las formas de atacar los problemas de mantenimiento, muchas decisiones se estructuran según el siguiente criterio:

- a) ¿Qué tanto material de cada tipo se debe tener?
- b) ¿Qué refacciones deben existir?
- c) ¿Cuántas personas deben asignarse a cada área?
- d) ¿En qué máquinas debe extremarse al personal?
- e) ¿En qué áreas se debe capacitar al personal?
- f) ¿Qué instalaciones o sistemas deben tener respaldo?

#### **2.1.4 Clasificación de defectos**

Se recomienda que los defectos que se encuentran en los edificios e instalaciones sean clasificados en grupos. Se recomienda adoptar la clasificación del Instituto Mexicano de Control de Calidad, A.C.

- Defecto. Cualquier discordancia de un elemento con algún requisito específico.
- Defecto crítico. Se teme que pueda constituir un peligro para las personas que tengan que utilizar o conservar el producto.
- Defecto mayor. No es crítico pero que puede ocasionar una falla o merma en la aptitud del artículo o sistema.

Es importante tener en cuenta que se considera como defecto cualquier geometría, constitución, acabado, apariencia, estética, función, rendimiento, comportamiento, eficiencia, o cualquier otro aspecto que no cumpla con las especificaciones previamente establecidas.

Todos los defectos críticos deben documentarse y observar de cerca su solución hasta su erradicación, incluyendo medidas preventivas que deberán seguirse.

Entre los defectos críticos de seguridad más comunes están:

- a) Elementos estructurales de un edificio, mal construido o diseñado.
- b) Escape de gases o humos tóxicos o explosivos.
- c) Salidas o equipos de emergencia inoperantes.
- d) Infiltraciones contaminantes al agua potable.
- e) Instalaciones eléctricas en condiciones críticas.

### **2.1.5 Herramientas técnicas y decálogo del ingeniero**

Herramientas del ingeniero:

- Psicológicas.
- Controles y registros.
- Conocimientos administrativos concretos.
- Conocimientos técnicos generales.
- Auxiliares gráficos.
- Auxiliares electrónicos.

En el mantenimiento es muy valioso usar todos los sentidos para detectar anomalías o puntos potenciales de problema. Un buen mantenista tiene ventajas en su trabajo si sabe observar, escuchar, oler, degustar y palpar las instalaciones y equipos.

Un ejemplo nos ayudará a entender esto:

- La coloración que adquieren algunos componentes eléctricos indica su estado.
- El olor y el sabor del agua dicen mucho de sus características.
- El ruido de los motores indica su comportamiento.
- Con el tacto se capta la vibración de un equipo.

### **2.1.6 Biblioteca del ingeniero de mantenimiento**

Un ejecutivo o profesionalista vale tanto como la información que tenga y sepa manejar. A continuación se da una guía para la estructuración de la biblioteca del departamento de ingeniería o mantenimiento de una empresa.

1. Libros comerciales de editorial.
2. Manuales.
3. Reglamentos y normas.
4. Apuntes.
5. Manuales de operación de los equipos que se tienen.
6. Catálogos comerciales.

7. Revistas nacionales y extranjeras.
8. Diccionarios.
9. Láminas.
10. Bitácoras.
11. Historial de documentación de fallas.

En el departamento de mantenimiento debe haber no sólo información impresa, sino también: muestrarios de recubrimientos, muestrarios con piezas, etc.

Una buena manera de trascender en el trabajo de mantenimiento es dejar registros o documentos del trabajo que sea el resultado de la experiencia diaria de la labor. Se debe documentar gráfica y literalmente en una bitácora.

Cada falla o suceso documentado puede tener los siguientes capítulos:

- a) Antecedentes.
- b) Secuencia de hechos.
- c) Consecuencia del suceso.
- d) Acciones inmediatas.
- e) Análisis.
- f) Acciones mediatas.
- g) Retroinformación.
- h) Planeación futura.
- i) Anexos: fotografías, reportes, etc.

Es importante mencionar que este registro de fallas importantes debe hacerse llegar a los ejecutivos de la empresa y, de preferencia, recabar su firma de enterado.

### **2.1.7 Plan de mantenimiento preventivo**

El plan de mantenimiento se refiere a los trabajos que se realizan con una planeación, previsión, control y registros por adelantado. Se aplica a las estrategias de reemplazo, mantenimiento preventivo y correctivo.

El primer paso en el desarrollo de un plan completo de mantenimiento consiste en reunir una fuerza de trabajo que inicie y ejecute el plan. Posteriormente es

necesario hacer un inventario de las instalaciones, es decir un listado completo de todas las instalaciones. Esto se elabora con fines de identificación. En la lista se deberá indicar el equipo, la identificación de éste, la descripción de la instalación, su ubicación, tipo y prioridad.

Para la identificación del equipo es necesario usar un sistema de manera único para cada pieza del equipo, para esto se necesita establecer un sistema de códigos que ayude en el proceso de identificación. El código deberá indicar ubicación, tipo y número de máquina.

Posteriormente deberá elaborarse un programa específico de mantenimiento por cada pieza del equipo dentro del programa general. El programa es una lista completa de las tareas de mantenimiento que se van a realizar en el equipo. El programa deberá incluir el nombre y número de identificación del equipo, su ubicación, número de referencia del programa, lista detallada de las tareas que se llevaran a cabo (inspecciones, mantenimiento preventivo, reemplazo), frecuencia de cada tarea, tipo de técnicos requeridos para cada tarea, tiempo de cada tarea, herramientas especiales que se vayan a necesitar, materiales necesarios y detalles acerca de cualquier arreglo de mantenimiento por contrato.

El problema para desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para un determinado equipo consiste en determinar:

1. Que debe inspeccionarse.
2. Con qué frecuencia se debe inspeccionar y evaluar.
3. A qué debe dársele servicio.
4. Con qué periodicidad se debe dar el mantenimiento preventivo.
5. A qué componentes debe asignárseles vida útil.
6. Cuál debe ser la vida útil y económica de dichos componentes.

Para determinar los puntos anteriores se recurre a:

- a) Recomendación del fabricante.
- b) Recomendación de otras instalaciones similares.
- c) Experiencias propias.

d) Análisis de ingeniería.

Para determinar lo que debe inspeccionarse se dan a continuación las recomendaciones siguientes:

- Todo lo susceptible de falla mecánica progresiva, como desgaste, corrosión y vibración.
- Todo lo expuesto a falla por acumulación de materias extrañas: humedad, envejecimiento de materiales aislantes, etc.
- Todo lo que sea susceptible de fugas, como es el caso de sistemas hidráulicos, neumáticos, de gas y tuberías de distribución de fluidos.
- Lo que con variación, fuera de ciertos límites, puede ocasionar fallas como niveles de depósito de sistemas de lubricación, niveles de aceite aislante, niveles de agua.
- Los elementos regulares de todo lo que funcione con características controladas de presión, gasto, temperatura, holgura mecánica, voltaje, etc.

### **2.1.8 Clasificación de componentes**

Componentes no reparables. Aquellos que se desechan al agotar su vida útil o al fallar. Esta lista se puede dividir en dos elementos:

1. Eléctricos. La mayoría de estos suelen ser desechables y entre la lista se encuentran contactores, relevadores, fusibles, resistencias, etc.
2. Mecánicos. Los elementos mecánicos que no son reparables son catarinas, engranes, rodamientos, chumaceras, resortes, cadenas y bandas.

Componentes reparables o reconstruibles. Aquellos que al agotar su vida útil o al fallar se sustituyen y se envían a talleres para su inspección, reparación, ajuste, calibración, pruebas, etc., después de lo cual quedan disponibles para ser instalados de nuevo. Esta lista también se compone de los siguientes elementos:

1. Eléctricos. Entre los componentes eléctricos que pueden ser reparados se encuentran los motores.
2. Mecánicos. Entre los componentes mecánicos que se pueden reparar encontramos flechas, rodillos, etc.

## **2.2 PLANEACION Y PROGRAMACION DEL MANTENIMIENTO**

La planeación es el proceso mediante el cual se determinan los elementos necesarios para realizar una tarea, antes del momento en que se inicie el trabajo.

La programación tiene que ver con la hora o el momento específico y el establecimiento de fases o etapas de los trabajos planeados junto con las órdenes para efectuar el trabajo, su monitoreo, control y el reporte de su avance. Una buena planeación es un requisito previo para la programación acertada. Sin embargo, para que la planeación sea exitosa es necesaria una retroalimentación de la función de programación. Esta es la razón por la cual, en muchas organizaciones de mantenimiento, ambas funciones son realizadas por la misma persona o unidad. La planeación y la programación del mantenimiento es diferente de la planeación y la programación de la producción en los siguientes aspectos:

- La demanda del trabajo de mantenimiento tiene más variabilidad que el trabajo de producción y la llegada de la demanda es aleatoria por naturaleza.
- Los trabajos de mantenimiento tienen mayor variabilidad entre ellos; incluso los mismos tipos de trabajos difieren grandemente en contexto. Esto ha hecho que sea más difícil desarrollar estándares de trabajo en el área de mantenimiento que en producción. Para una planeación y programación acertadas son necesarios estándares de tiempos confiables para los trabajos.

Una planeación y programación eficaces contribuyen de manera significativa a lo siguiente:

- reducción en los costos de mantenimiento. Los estudios realizados por varios investigadores han demostrado que existe un vínculo claro entre el mantenimiento planeado y la reducción de costos.
- Mejor utilización de la fuerza de trabajo de mantenimiento al reducir demoras e interrupciones. También proporciona un buen medio para mejorar la coordinación y facilitar la supervisión.
- Mejor calidad del trabajo de mantenimiento al adoptar los mejor métodos y procedimientos y asignar a los trabajadores más calificados para el trabajo.

Los principales objetivos de la planeación y la programación incluyen:

- Minimizar el tiempo ocioso de los trabajadores de mantenimiento.
- Maximizar la utilización eficiente del tiempo de trabajo, el material y el equipo.
- Mantener el equipo de operación en un nivel que responda a las necesidades de producción en términos del programa de entregas y de la calidad.

De hecho, todo el mantenimiento deberá planearse y programarse. Sólo el trabajo de emergencia se efectúa sin una planeación previa; sin embargo, incluso en ese caso, el trabajo de emergencia deberá planearse a medida que avanza.

Para fines de planeación, el trabajo de mantenimiento puede clasificarse en las cinco categorías siguientes:

1. El mantenimiento de rutina y preventivo, que incluye el mantenimiento periódico, como la lubricación de las máquinas, inspecciones y trabajos menores repetitivos. Este tipo de trabajo se planea y programa por adelantado.
2. El mantenimiento de emergencia o correctivo es el proceso de efectuar reparaciones tan pronto como sea posible después del reporte de una falla. El reporte por lo general, se hace por teléfono y va seguido de una orden de trabajo para confirmarlo. Los programas de mantenimiento se

interrumpen para proceder a las reparaciones de emergencia o correctivas.

3. La modificación del diseño que implica determinar las causas de descomposturas repetidas y eliminar la causa mediante la modificación del diseño.
4. La reparación general programada que implica el paro de la planta, se planea y organiza de tal manera que se minimice el paro de la planta.
5. La reparación general programada, reparaciones y construcción de equipo que no caen dentro de ninguna de las otras categorías.

Una parte esencial de la planeación y la programación es pronosticar el trabajo futuro y equilibrar la carga de trabajo entre estas categorías. El sistema de administración del mantenimiento debe buscar que más del 90% del trabajo de mantenimiento sea planeado y programado, a fin de obtener los beneficios de la planeación y la programación.

### **2.2.1 Planeación**

La planeación en el contexto del mantenimiento se refiere al proceso mediante el cual se determinan y preparan todos los elementos requeridos para efectuar una tarea antes de iniciar el trabajo. El proceso de planeación comprende todas las funciones relacionadas con la preparación de la orden de trabajo, la lista de materiales, la requisición de compras, los planos y dibujos necesarios, la hoja de planeación de la mano de obra, los estándares de tiempo y todos los datos necesarios antes de programar y liberar la orden de trabajo. En consecuencia, un procedimiento de planeación eficaz deberá incluir los siguientes pasos:

1. Determinar el contenido de trabajo
2. Desarrollar un plan de trabajo. Éste comprende la secuencia de actividades en el trabajo y el establecimiento de los mejores métodos y procedimientos para realizar el trabajo.
3. Establecer el tamaño de la cuadrilla para el trabajo.
4. Planear y solicitar las partes y los materiales.
5. Verificar si se necesitan equipos y herramientas especiales y obtenerlos.
6. Asignar a los trabajadores con las destrezas apropiadas.

7. Revisar los procedimientos de seguridad.
8. Establecer prioridades (de emergencia, urgente, de rutina y programado) para todo el trabajo de mantenimiento.
9. Asignar cuentas de costos.
10. Completar la orden de trabajo.
11. Revisar los trabajos pendientes y desarrollar planes para su control.
12. Predecir la carga de mantenimiento utilizando una técnica eficaz de pronósticos.

El proceso de planeación puede dividirse en tres niveles básicos, dependiendo del horizonte de planeación:

- Planeación a largo plazo (cubre un período de 5 años o más).
- Planeación a mediano plazo (planes a 1 mes y hasta 1 año).
- Planeación a corto plazo (planes diarios y semanales).

Para la planeación a largo y mediano plazos, se deben usar alguno de los siguientes métodos:

- Técnicas acertadas de pronósticos para estimar la carga de mantenimiento.
- Tiempos estándar contables para los trabajos a fin de estimar los requerimientos de personal.
- Herramientas para la planeación agregada, como programación lineal, para determinar los requerimientos de recursos.

Este plan establece actividades futuras y mejoras a largo plazo.

El plan a mediano plazo cubre un período de 1 mes a 1 año. Este plan especifica cómo operará la fuerza de trabajo de mantenimiento y proporciona detalles para reparaciones generales mayores, trabajos de construcción, planes de mantenimiento preventivo y paros de la planta. Este plan equilibra la necesidad de personal a lo largo del periodo cubierto y estima las refacciones requeridas y la adquisición de materiales.

La planeación a corto plazo se refiere a períodos de 1 día a 1 semana. Se concentra en la determinación de todos los elementos necesario para realizar tareas industriales por adelantado. El planificador tiene que seguir los pasos del 1 al 12 dados al principio de este capítulo.

### **2.2.2 Programación**

La programación del mantenimiento es el proceso mediante el cual se acoplan los trabajos con los recursos y se les asigna una secuencia para ser ejecutados en ciertos puntos del tiempo. Un programa confiable debe tomar en consideración lo siguiente:

- Una clasificación de prioridades de trabajos que refleje la urgencia y el grado crítico del trabajo.
- Si todos los materiales necesarios para la orden de trabajo están en la planta (si no, la orden de trabajo no debe programarse).
- El programa maestro de producción y estrecha coordinación con la función de operaciones.
- Estimaciones realistas y lo que probablemente sucederá, y no lo que el programador desea.
- Flexibilidad en el programa (el programador debe entender que se necesita flexibilidad, especialmente en el mantenimiento; el programa se revisa y actualiza con frecuencia).

El programa de mantenimiento puede prepararse en tres niveles, dependiendo de su horizonte:

1. El programa a largo plazo o maestro, que cubre un período de 3 meses a 1 año.
2. El programa semanal que cubre 1 semana.
3. El programa diario que cubre el trabajo que debe completarse cada día.

El programa a largo plazo se basa en las órdenes de trabajo de mantenimiento existentes, incluyendo las órdenes de trabajo en blanco, los trabajos pendientes, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento de emergencia anticipado. Debe equilibrar la demanda a largo plazo de trabajo de mantenimiento con los recursos disponibles. Con base en el programa a largo plazo se pueden identificar los requerimientos de refacciones y materiales y solicitarse por adelantado. El programa a largo plazo generalmente está sujeto a revisión y actualización para reflejar cambios en los planes y el trabajo de mantenimiento realizado.

El programa de mantenimiento semanal se genera a partir del programa a largo plazo y toma en cuenta los programas actuales de operaciones y consideraciones económicas. El programa semanal deberá permitir que se cuente con 10% a 15% de la fuerza laboral para trabajos de emergencia. El planificador deberá proporcionar el programa para la semana actual y la siguiente, tomando en consideración los trabajos pendientes. A las órdenes de trabajo programadas para la semana actual se les asigna con base en su prioridad. El análisis de la ruta crítica y la programación entera son técnicas que pueden utilizarse para generar un programa.

El programa diario se elabora a partir del programa semanal y generalmente se prepara el día anterior. Este programa con frecuencia es interrumpido para efectuar mantenimiento de emergencia. Las prioridades establecidas se usan para programar los trabajos.

### **2.2.2.1 Programación lineal**

La programación lineal es un modelo matemático que optimiza una función lineal sujeta a desigualdades lineales. El modelo de programación lineal determina los valores óptimos de las variables de decisión que optimizan un objetivo dado como minimizar el costo o maximizar la utilidad. Las variables de decisión son elementos bajo el control del tomador de decisiones, y sus valores determinan la solución del modelo. La función objetivo en la programación lineal corresponde a los criterios mediante los cuales se evalúan las soluciones factibles. Una solución factible es una solución que satisface todas las

restricciones del sistema. Una restricción es una condición impuesta al sistema que debe satisfacerse.

En el caso de la planeación de la capacidad de mantenimiento, las variables de decisión podrían ser el número de horas de diferentes niveles de destrezas y oficios disponibles para mantenimiento en tiempo regular, tiempo extra y por contrato. El objetivo podría ser aumentar al máximo la utilización de los recursos o reducir el costo total. Un ejemplo de una restricción es: la proporción de horas de tiempo extra con respecto a las horas de tiempo regular interno, no deberá exceder un cierto porcentaje.

### **2.2.2.2 Elementos de una programación acertada**

La planeación del trabajo de mantenimiento es un requisito previo de la programación correcta. En todos los tipos de trabajos de mantenimiento, los siguientes requerimientos son necesarios para una programación eficaz:

1. Ordenes de trabajo escritas que se derivan de un proceso de planeación bien concebido. Las órdenes de trabajo deberán explicar el trabajo que se va a realizar, los métodos a seguir, los técnicos por especialidad necesarios, las refacciones que se necesitan y la prioridad.
2. Estándares de tiempo que se basan en las técnicas de medición del trabajo.
3. Información a cerca de la disponibilidad de técnicos por especialidad para cada turno.
4. Existencias de refacciones e información para su reabastecimiento.
5. Información sobre la disponibilidad de equipo y herramientas especiales, necesarios para el trabajo de mantenimiento.
6. Acceso al programa de producción de la planta y conocimiento del momento en que las instalaciones estarán disponibles para servicio, sin interrupción del programa de producción.
7. Prioridades bien definidas para el trabajo de mantenimiento. Estas prioridades deben desarrollarse con una estrecha coordinación entre mantenimiento y producción.

8. Información acerca de los trabajos ya programados pero que se han atrasado con respecto al programa (trabajos pendientes)

El procedimiento de programación deberá incluir los siguientes pasos:

1. Clasificar las órdenes de trabajo pendientes por especialidad.
2. Ordenar las órdenes por prioridad.
3. Compilar una lista de trabajos completados y restantes.
4. Considerar la duración de los trabajos, su ubicación, distancia de traslado y la posibilidad de combinar trabajos en la misma área.
5. Programar trabajos de oficios múltiples para iniciarlos al comienzo de cada turno.
6. Emitir un programa diario (excepto para los proyectos y trabajo de construcción).
7. Autorizar a un supervisor para que asigne los trabajos (encargarse de su despacho).

Estos elementos proporcionan los requerimientos y los procedimientos para desarrollar un programa de mantenimiento.

En el caso de trabajos grandes o proyectos de mantenimiento, se puede utilizar las técnicas cuantitativas disponibles para generar el programa y equilibrar los requerimientos de mano de obra. Estas técnicas incluyen el método de la ruta crítica (CPM), la técnica para evaluación y revisión de programas (PERT), la programación entera y la programación estocástica.

Las prioridades son otro de los elementos importantes para los trabajos de mantenimiento y la programación de estos.

En si, las prioridades se pueden clasificar como en la siguiente tabla:

Prioridad Codigo	Nombre	Marco de tiempo en que debe comenzar el trabajo	Tipo de trabajo
1	Emergencia	El trabajo debe comenzar inmediatamente	Trabajo que tiene un efecto inmediato en la seguridad, el ambiente, la calidad o que parará la operación
2	Urgente	El trabajo debe comenzar dentro de las proximas 24 horas	Trabajo que probablemente tendrá un impacto en la seguridad, el ambiente, la calidad o que podrá parar la operación
3	Normal	El trabajo debe comenzar dentro de las proximas 48 horas	Trabajo que probablemente tendrá un impacto en la producción dentro de una semana
4	Programado	Según está programado	Mantenimiento preventivo y de rutina; todo el trabajo programado
5	Aplazable	El trabajo debe comenzar cuando se cuente con los recursos o en el periodo de un paro	Trabajo que no tiene un impacto inmediato en la seguridad, la salud, el ambiente o las operaciones de producción.

### 2.2.2.3 Técnicas de medición del trabajo

Las técnicas de medición del trabajo se pueden clasificar de manera general en dos categorías:

- a) técnicas de medición directa.
  - a. Estudio de tiempos
  - b. Muestreo de trabajo
- b) técnicas de medición indirecta.
  - a. Sistema de tiempos predeterminados de los movimientos
  - b. Estimación

*Estudio de tiempos.* Se realiza cronometrando al trabajador a medida que se realiza el trabajo, sumando los tiempos para los elementos pertinentes del trabajo, estandarizando los tiempos observados y agregando tolerancias para necesidades personales y otras condiciones de trabajo variables.

*Muestreo de trabajo.* Es una técnica para encontrar el porcentaje de ocurrencia de una actividad determinada empleando el muestreo estadístico. Para obtener una imagen completa y exacta del tiempo productivo de los trabajadores de mantenimiento en determinada área, sería necesario observar continuamente a todos los trabajadores en dicha área y hacer un registro de cuando y por qué algunos de los trabajadores estuvieron ociosos. Sería casi imposible hacer esto y demasiado costoso.

Este método consiste en hacer recorridos por el departamento de mantenimiento a intervalos aleatorios para observar qué trabajadores están trabajando y cuales están ociosos, y las razones de esto. Esta es la base del muestreo de trabajo. Cuando el tamaño de la muestra es grande y las observaciones son realmente al azar, hay una elevada probabilidad de que estas observaciones reflejaran la situación real con cierto margen de error.

Se calcula la fracción del tiempo que el trabajador estuvo ocioso con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{X}{n} \quad \mathbf{2.2}$$

Donde:

X = Numero de veces que se observo al trabajador ocioso.

n = Numero total de observaciones

El número de veces que se observo al trabajador ocioso, X, es una variable aleatoria binomial con una función de masa de probabilidad como sigue:

$$b(n, p, x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x} \quad x = 0, 1, 2, \dots, n \quad q = 1 - p \quad \mathbf{2.3}$$

La media  $\mu$  y la varianza  $\sigma^2$  de la variable aleatoria X son

$$\mu_x = np \quad \text{Y} \quad \sigma_x^2 = npq \quad \mathbf{2.4}$$

Entonces  $\rho = \frac{X}{n}$  es una variable aleatoria con media  $\mu_\rho$  y varianza  $\sigma_\rho^2$  dadas como

$$\mu_\rho = P \quad \text{Y} \quad \sigma_\rho^2 = \frac{Pq}{n} \quad \mathbf{2.5}$$

Si  $n$  es grande, la distribución de  $\rho$  puede aproximarse mediante una distribución normal con media  $P$  y varianza  $Pq/n$  y por lo tanto un intervalo de confianza  $(1 - \alpha)$  con respecto a  $P$  esta dado por

$$\rho \pm Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\rho q}{n}} \quad \mathbf{2.6}$$

En donde  $q = 1 - \rho$

*Sistemas de tiempos predeterminados de los movimientos.* Conocido por sus siglas como STPM se emplea para establecer estándares de trabajo. Uno de los sistemas de STPM mejor conocidos es el sistema de medición del tiempo de los métodos (MTM). Los tiempos de los movimientos fundamentales son resultados del estudio de una gran muestra de operaciones muy diversas. Para el establecimiento de un estándar de trabajo, un análisis descompondría el trabajo en los movimientos básicos requeridos para realizarlo, y luego simularía los tiempos predeterminados apropiados para todos los movimientos básicos involucrados.

*Estimación.* La estimación es un proceso de emplear la experiencia pasada para predecir eventos futuros. Puede ser utilizado para establecer estándares de trabajo de manera económica. Este método se emplea en todas las plantas hasta cierto grado, ya que no es económicamente factible el establecimiento de estándares de trabajo para todas las actividades de mantenimiento. Algunas de las ventajas de este método de medición del trabajo incluyen menores costos y poder estimar el estándar antes de iniciar el trabajo.

#### **2.2.2.4 Técnicas de programación**

El objetivo final de la programación es construir una gráfica de tiempo que muestre el momento de inicio y término para cada trabajo (actividad), la interdependencia entre los trabajos y los trabajos críticos que requieren atención especial y monitoreo eficaz.

Las técnicas de planeación y programación han evolucionado a lo largo del tiempo y en la actualidad se usan ampliamente dos importantes técnicas analíticas, las cuales son:

- El método de la ruta crítica (CPM)
- La técnica para revisión y evaluación de proyectos (PERT)

#### **2.2.2.5 Método de la ruta crítica (cpm)**

El método de la ruta crítica (CPM) es un proceso administrativo de planeación, programación, ejecución y control de todas y cada una de las actividades componentes de un proyecto que debe desarrollarse dentro de un tiempo crítico y al costo óptimo.

El campo de acción de este método es muy amplio, dada su gran flexibilidad y adaptabilidad a cualquier proyecto grande o pequeño. Para obtener los mejores resultados debe aplicarse a los proyectos que posean las siguientes características:

- a) Que el proyecto sea único, no repetitivo, en algunas partes o en su totalidad.
- b) Que se deba ejecutar todo el proyecto o parte de él, en un tiempo mínimo, sin variaciones, es decir, en tiempo crítico.
- c) Que se desee el costo de operación más bajo posible dentro de un tiempo disponible.

El CPM infiere que los tiempos de las actividades se conocen en forma determinada y se pueden variar cambiando el nivel de recursos utilizados.

Solamente se requiere un estimado de tiempo. Todos los cálculos se hacen con la suposición de que los tiempos de actividad se conocen. A medida que el proyecto avanza, estos estimados se utilizan para controlar y monitorear el progreso. Si ocurre algún retardo en el proyecto, se hacen esfuerzos por lograr que el proyecto quede de nuevo en programa cambiando la asignación de recursos.

El Método de la ruta crítica consta del siguiente ciclo:

a) Planeación y Programación.

- a. Definición del proyecto. En toda actividad a realizar se requieren conocimientos precisos y claros de lo que se va a ejecutar, de su finalidad, viabilidad, elementos disponibles, capacidad financiera, etc.
- b. Lista de Actividades. Es la relación de actividades físicas o mentales que forman procesos interrelacionados en un proyecto total
- c. Matriz de Secuencias. se preguntara a los responsables de la ejecución cuales actividades deben hacerse al terminar cada una de las que aparecen en la lista. Para este efecto debemos presentar la matriz de secuencias iniciando con la actividad cero que servirá para indicar solamente el punto de partida de las demás. La información debe tomarse una por una de las actividades listadas, sin pasar por alto ninguna de ellas
- d. Matriz de Tiempos. se requieren tres cantidades estimadas por los responsables de los procesos, El tiempo medio (es el tiempo normal que se necesita para la ejecución de las actividades, basado en la experiencia personal del informador), el tiempo óptimo (es el que representa el tiempo mínimo posible sin importar el costo o cuantía de elementos materiales y humanos que se requieran) y el tiempo pésimo (es un tiempo excepcionalmente grande que pudiera presentarse ocasionalmente como consecuencia de accidentes, falta de suministros, retardos involuntarios, causas no previstas, etc.)

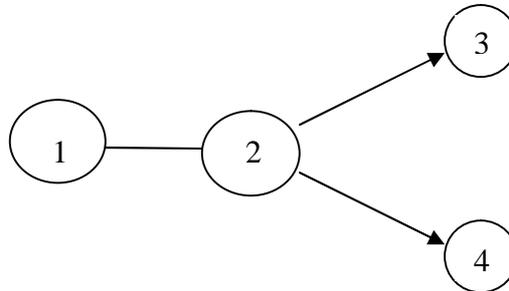
- e. Red de Actividades. Se llama red a la representación gráfica de las actividades que muestran sus eventos, secuencias, interrelaciones y el camino crítico.
- f. Costos y pendientes. En este paso se solicitarán los costos de cada actividad realizada en tiempo estándar y en tiempo óptimo.
- g. Compresión de la red. El comprimir una red nos ayudara a determinar que actividades serán las que se optimizaran en tiempo.
- h. Limitaciones de tiempo, de recursos y económicos. Se debe determinar el tiempo normal de ejecución de la red y si no puede realizarse en el intervalo disponible, se deberá comprimir la red al tiempo necesario, calculando el costo incrementado.
- i. Matriz de elasticidad. Es la libertad que tiene una actividad para alargar su tiempo de ejecución sin perjudicar otras actividades o el proyecto total.
- j. Probabilidad de retraso

La aplicación del CPM y el PERT producirá un programa que especifica el momento de inicio y de término de cada trabajo. Un requisito previo para la aplicación de ambos métodos es la representación del proyecto como un diagrama de red, que muestre las interdependencias y relaciones de precedencia entre las actividades del proyecto. El PERT y el CPM no se prestan para la programación de trabajos pequeños, cotidianos e independientes, en un departamento de mantenimiento son muy útiles la planeación y programación de trabajos grandes (20 horas-hombre o más) que constan de muchas actividades.

#### ***2.2.2.5.1 Representación del diagrama de red***

El diagrama de red permite que la representación de un proyecto (un trabajo grande) se vea como un sistema integrado. La interacción y las relaciones de procedencia pueden verse fácilmente y evaluarse en términos de su impacto en otros trabajos. En este tipo de red, una flecha se utiliza para representar una actividad (un trabajo) y un nodo representa un evento. Un evento es un punto en el tiempo que significa el inicio o término de una actividad.

La dirección de la flecha indica la dirección de avance del proyecto. Las actividades que se originan de un cierto nodo no pueden iniciarse hasta que se hayan completado las actividades que terminan en este nodo.



Para construir un diagrama de red para un proyecto se deben seguir las siguientes reglas:

1. Cada actividad debe representarse por una y solo una flecha en la red.
2. No se pueden representar dos actividades con los mismos nodos de inicio y terminación. En ciertas circunstancias, esto puede requerir la creación de actividades ficticias para adherirse a esta regla. Una actividad ficticia es una actividad con duración cero.
3. Para desarrollar una representación correcta de la red del proyecto que muestre las relaciones de precedencia correctas, se deben contestar las siguientes preguntas cuando se agrega una actividad a la red:
  - a. ¿Qué actividad debe completarse inmediatamente antes de esta actividad?
  - b. ¿Qué actividades deben iniciar inmediatamente después de esta actividad?
  - c. ¿Qué actividades deben ocurrir simultáneamente con esta actividad?

#### ***2.2.2.5.2 Cálculo de la ruta crítica***

La aplicación del CPM y del PERT distinguirá los trabajos críticos de los no críticos. Los trabajos críticos son aquellos que causarán una demora en la terminación de todo el proyecto si ocurre una demora en su tiempo de inicio. Un trabajo no es crítico si la diferencia entre su tiempo de inicio más pronto y su tiempo de término más tardío es mayor que su duración. Estos trabajos

ofrecen flexibilidad para elegir el tiempo de inicio y pueden trabajarse intermitentemente dentro del marco de tiempo permisible. Esto se conoce como holgura o flotación. Los trabajos críticos deben vigilarse cuidadosamente y adherirse a sus programas especificados.

Una ruta crítica es una cadena de trabajos críticos (actividades) que conectan el nodo de inicio (evento) con el último nodo del diagrama de red (final). El cálculo de la ruta crítica incluye dos fases. La primera fase es la ruta de avance, en donde el cálculo comienza con el nodo de inicio y avanza hacia delante hasta el último nodo del proyecto. En cada nodo, se calcula un número que representa el tiempo más pronto para la ocurrencia del evento (nodo). Este número, que es el tiempo, es el menor tiempo de inicio (ES) para todos los trabajos (actividades) que emanan de este nodo. La segunda fase, la ruta de regreso, comienza el cálculo desde el nodo final y avanza hacia atrás hasta el nodo de inicio. En esta ruta se calcula un número que representa el tiempo más tardío de ocurrencia del evento sin que se demore el proyecto. Este nodo representa el tiempo más tardío de terminación (LC) de todas las actividades que entran a este nodo.

Las variables que se utilizan en el cálculo son las siguientes:

$D_{ij}$  = Duración del trabajo (i, j)

$ES_i$  = Menor tiempo de inicio de todas las actividades que emanan del nodo i

$ES_0$  = Menor tiempo de inicio en el nodo inicial (nodo 0)

$LC_i$  = Tiempo más tardío de terminación para todas las actividades que entran en el nodo i

$LC_n = ES_n$ , en donde n es el nodo final

$ES_j = \text{máx. } \{ES_i + D_{ij}\}$  para todas las actividades (i, j) en el diagrama de red

$LC_i = \text{mín. } \{LC_j + D_{ij}\}$  para todas las actividades (i, j) en el diagrama

Una actividad (i, j) se encuentra en la ruta crítica si satisface las siguientes condiciones:

$$ES_i = LC_i \quad 2.7$$

$$ES_j = LC_j \quad 2.8$$

$$ES_j - ES_i = LC_j - LC_i = D_{ij} \quad 2.9$$

En otras palabras, una actividad (i, j) se encuentra en la ruta crítica si no hay tiempo de holgura o flotación entre el tiempo de inicio (terminación) más pronto y el tiempo de inicio (terminación) más tardío de la actividad.

El resultado final de los cálculos del CPM deberá proporcionar un programa para todas las actividades que nivelan los recursos. Las actividades críticas deben programarse a su tiempo de inicio más pronto, ya que estos trabajos no tienen holgura. Las actividades no críticas proporcionan flexibilidad en la programación y nivelación de los recursos. Cada actividad no crítica tiene dos tipos de flotación:

1. Flotación total (TF<sub>ij</sub>)

$$TF_{ij} = LC_j - ES_i - D_{ij} \quad 2.10$$

2. Flotación libre (FF<sub>ij</sub>)

$$FF_{ij} = ES_j - ES_i - D_{ij} \quad 2.11$$

### 2.2.2.6 Técnica de revisión y evaluación de programas (pert)

El PERT supone que el tiempo para realizar cada una de las actividades es una variable aleatoria descrita por una distribución de probabilidad.

La distribución de tiempo que supone el PERT para una actividad es una distribución beta<sup>1</sup>. La distribución para cualquier actividad se define por tres estimados:

---

<sup>1</sup> Es una distribución de probabilidad continua con dos parámetros a y b.

1. El estimado de tiempo más probable,  $m$
2. El estimado de tiempo más optimista,  $a$
3. El estimado de tiempo más pesimista,  $b$ .

La forma de la distribución se muestra en la siguiente gráfica

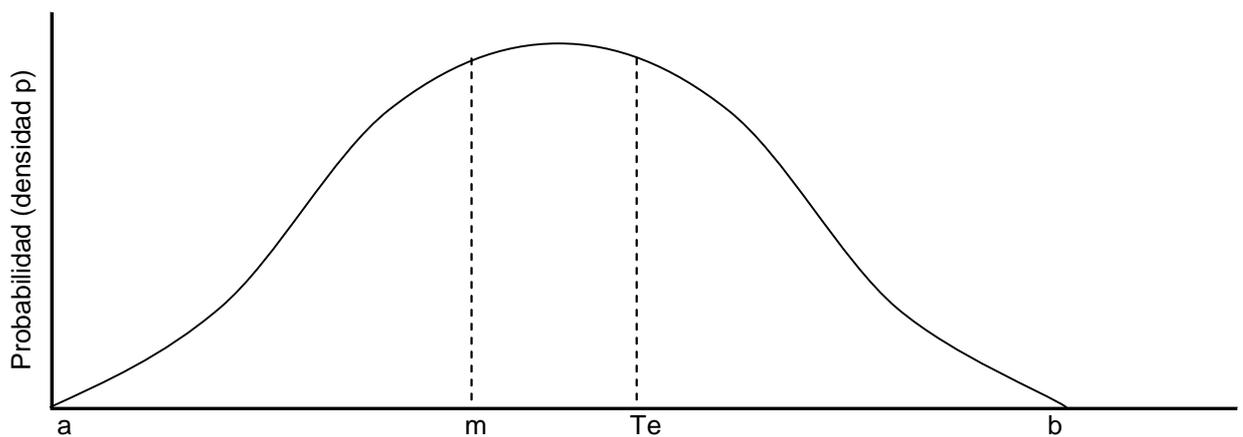


Figura 2.1 Gráfica de una distribución de probabilidad continua con dos parámetros.

El tiempo más probable es el tiempo requerido para completar la actividad bajo condiciones normales. Los tiempos optimistas y pesimistas proporcionan una medida de la incertidumbre inherente en la actividad, incluyendo desperfectos en el equipo, disponibilidad de mano de obra, retardo en los materiales y otros factores.

El CPM no incorpora consideraciones de incertidumbre o costos directos en la programación de proyectos. El PERT considera el aspecto de la incertidumbre suponiendo que la estimación de tiempo para la duración de la actividad ( $i, j$ ) se basa en tres valores diferentes:

$O_{ij}$  Tiempo optimista, que es el tiempo requerido si la ejecución se desarrolla extremadamente bien

$P_{ij}$  Tiempo pesimista, que es el tiempo requerido bajo las peores condiciones

$M_{ij}$  Tiempo más probable, que es el tiempo requerido bajo condiciones normales

Suponiendo una distribución beta<sup>2</sup>, la media  $D$  y la varianza  $V$  para el tiempo de duración de la actividad están dadas por

$$\bar{D}_{ij} = \frac{O_{ij} + P_{ij} + 4m_{ij}}{6} \quad 2.12$$

$$V_{ij} = \left( \frac{b_{ij} - a_{ij}}{6} \right)^2 \quad 2.13$$

Suponga que las actividades de la red son independientes y sea  $X_i$ , el tiempo de ocurrencia del evento del nodo  $i$ .  $X_i$  es una variable aleatoria y es la suma de la duración de las actividades en la ruta  $P$  desde el nodo de inicio hasta el nodo  $i$ . Si hay más de una ruta, la situación es bastante compleja; sin embargo, en este caso se toma la ruta con la mayor incertidumbre, según se vea reflejado por su varianza.  $X_i$  es la suma de las variables aleatorias independientes y, por el teorema del límite central, la distribución de  $X_i$  es aproximadamente normal con una media  $E(X_i)$  y una varianza  $Var(X_i)$ , en donde

$$E(X_i) = \sum_{(i,j) \in R} D_{ij} \quad 2.14$$

$$Var(X_i) = \sum_{(i,j) \in P} V_{ij} \quad 2.15$$

Empleando la suposición anterior, podemos calcular la probabilidad con la que puede terminarse un proyecto. Si el programa de la ocurrencia del nodo  $i$  es  $TS_i$ , entonces

$$\Pr[X_i \leq TS_i] = \Pr\left[ \frac{X_i - E(X_i)}{\sqrt{Var(X_i)}} \leq \frac{TS_i - E(X_i)}{\sqrt{Var(X_i)}} \right] = \Pr[Z \leq Z_i] = \Phi(Z_i) \quad 2.16$$

---

<sup>2</sup> Es una distribución de probabilidad continua con dos parámetros  $a$  y  $b$ .

## **2.3 MANTENIMIENTO CON PARO DE LA PLANTA**

El mantenimiento con paro de la planta es un mantenimiento periódico en el que las plantas se paran para permitir inspecciones, reparaciones, reemplazos y reparaciones generales que sólo pueden efectuarse cuando los activos (instalaciones de la planta) se dejan fuera de servicio. Durante el mantenimiento con paro de la planta, se realizarán los siguientes tipos de trabajo:

- Trabajo sobre un equipo que no puede hacerse a menos que se pare toda la planta.
- Trabajo que puede hacerse mientras el equipo está en operación, pero que requiere un período de mantenimiento largo y un gran número de personal de mantenimiento.
- Trabajo para corregir defectos que se señalaron durante la operación pero que no pudieron ser reparados.

El concepto de suspensión de operaciones de la planta se originó en las industrias de procesos y es un acontecimiento importante en la industria petroquímica.

El objetivo general del mantenimiento con paro de la planta es hacer que todo el equipo opere de manera correcta y segura a fin de aumentar al máximo la capacidad de producción. De manera específica, los siguientes son los objetivos del mantenimiento con paro de la planta:

- Expandir o modificar los activos para obtener los ingresos proyectados mediante el incremento de la capacidad de producción, reducción al mínimo del costo de operación y reducción del tiempo muerto.
- Minimizar los riesgos para los empleados en el área inmediata que rodea al equipo de operación.
- Alcanzar las cifras del presupuesto y asegurar que se alcance la vida económica pronosticada de los activos.
- Modificar el equipo de operación para cumplir los requisitos legales u otra regulación gubernamental.

El mantenimiento con paro de la planta es un evento que exige todos los elementos de un sistema de mantenimiento eficaz: organización, planeación, programación, informes, costos y mejora continua.

### **2.3.1 Planeación del mantenimiento con paro de la planta**

La planeación del mantenimiento con paro de la planta deberá comenzar de 6 a 8 meses antes de iniciar el trabajo real. El proceso de planeación se deriva de los objetivos planteados previamente y, para cada objetivo, se formula un objetivo operativo correspondiente, que se acopla con un conjunto de tareas de mantenimiento para lograr los objetivos del mantenimiento con paro de la planta.

El primer objetivo se logra a través de los siguientes dos objetivos de operaciones:

- Evitar la falta de disponibilidad de producción.
- Reducir el tiempo muerto.

Estos objetivos de operaciones se alcanzan mediante las siguientes tareas:

1. Eliminar los cuellos de botella de los equipos y de los sistemas para asegurar la cantidad y la calidad de los productos.
2. Reemplazar los componentes y los materiales que puedan ocasionar un rendimiento no deseado. En las plantas petroquímicas, la acción correspondiente sería reemplazar o rellenar los catalizadores y químicos.
3. Renovar o modificar hasta una condición permanente los estándares, el equipo y los sistemas que están en servicio temporal.
4. Efectuar una reparación general o reemplazar las piezas de equipo y maquinaria específicos cuya vida mecánica puede predecirse, especialmente aquellas máquinas cuya reparación general sólo puede efectuarse bajo la supervisión estrecha de un especialista.

El segundo objetivo se relaciona con el riesgo y la seguridad, que pueden alcanzarse mediante el siguiente objetivo de operaciones:

- Preservación y mejora de la seguridad y la contaminación.

Este objetivo de operaciones se alcanza mediante las siguientes tareas:

1. Asegurar que los sistemas de paro de emergencia o entrecierre de seguridad estén en su mejor condición.
2. Asegurar que los sistemas de fallas y alivio, especialmente aquellos que restablecen las válvulas de alivio de presión, estén en la condición de operación.
3. Inspeccionar y probar los dispositivos y el equipo para el control de la contaminación y la seguridad.

El tercer objetivo se centra en el logro de las cifras del presupuesto y de costos y puede alcanzarse mediante el siguiente objetivo de operaciones:

- Predicción del mantenimiento futuro y de la falla inminente de componentes o deterioro dependiente del tiempo.

Estos objetivos de operación pueden alcanzarse mediante las siguientes tareas:

1. Inspeccionar el equipo especificado y recopilar datos técnicos para predecir la falla inminente de componentes.
2. Desarrollar un programa eficaz de mantenimiento basado en las condiciones, y emplear técnicas que pronostiquen las condiciones actuales del equipo.
3. Utilizar las últimas técnicas analíticas de predicción, como el análisis de tendencias y el análisis de series de tiempo.

El cuarto objetivo tiene que ver con el cumplimiento de los requisitos legales, como la regulación ambiental y las normas internacionales de calidad (por ejemplo, ISO 9000 e ISO 14000). Este objetivo puede alcanzarse mediante el siguiente objetivo de operaciones:

- Vincular los procedimientos y prácticas de mantenimiento con los requisitos legales, la regulación ambiental y las normas de calidad.

Este objetivo de operaciones puede alcanzarse mediante las siguientes tareas:

1. Revisar los últimos requisitos legales, la nueva regulación ambiental y los planes de la compañía para adoptar nuevas normas de aseguramiento de calidad.
2. Identificar el equipo que viola las normas durante su operación.
3. Desarrollar e implantar modificaciones al equipo y procedimientos que faciliten el cumplimiento de los requisitos, las regulaciones y las normas de calidad.

Todos los conjuntos de tareas anteriores determinarán el volumen de trabajo de mantenimiento durante el período de mantenimiento con paro de la planta. Sin embargo, deberá tenerse cuidado para determinar el trabajo esencial a fin de no realizar gastos excesivos durante este período.

### **2.3.2 Programa del mantenimiento con paro de la planta**

El programa para el mantenimiento con paro de la planta deberá tomar en cuenta lo siguiente:

1. Limitaciones legales o contractuales.
2. Programa de operaciones.
3. Naturaleza del proceso.
4. Suficiente tiempo de entrega para preparar un plan general, solicitar los materiales y asegurar contar con el personal adecuado.
5. Programa de operaciones de otras industrias relacionadas.

A continuación, se debe desarrollar el programa global de mantenimiento con paro de la planta. Con fines de planeación, monitoreo y control se debe preparar un programa detallado para grandes trabajos utilizando el análisis de la ruta crítica. El resultado debe ser una gráfica de barras para cada tamaño de trabajo.

Un programa de dos turnos por día debe extraerse a partir del programa maestro. Por cada turno, deberá sostenerse una reunión para revisar el avance

y planear acciones apropiadas, en caso de que el plan diario se encuentre atrasado.

### **2.3.3 Informe del mantenimiento con paro de la planta**

Los informes del mantenimiento con paro de la planta constan de los siguientes:

1. Un informe del avance diario, empleado principalmente para monitoreo y control.
2. Un informe del mantenimiento con paro de la planta que detalle todos los trabajos realizados en diferentes áreas, y que proporcione hechos y cifras del mantenimiento.
3. Informe de costos del mantenimiento con paro de la planta, que consta del costo de materiales, costo de los empleados y servicios contratados.

Los informes de las partidas 2 y 3 se emplean con fines de mejoras.

## **CAPITULO III**

# **INGENIERIA APLICADA AL MANTENIMIENTO**

## **3 INGENIERÍA APLICADA AL MANTENIMIENTO**

### **3.1 PRODUCTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE MANTENIMIENTO**

La productividad se define como las salidas por unidad de entrada, o productos por unidad de insumos. En un sistema de mantenimiento, las salidas se refieren a la capacidad productiva sostenible del equipo que está recibiendo mantenimiento, y las entradas incluyen los recursos requeridos para sostener dicha capacidad. Debido a que no es práctica una razón de productividad para el mantenimiento, se requieren listas distintas de medidas de las entradas, medidas de las salidas y medidas dentro del sistema de mantenimiento.

### **3.2 MEDIDAS DE ENTRADA**

Algunos de los factores importantes que se relacionan directamente con el costo de llevar a cabo el mantenimiento son los siguientes:

Mano de obra. Este factor incluye todos los costos asociados con los oficios, los aprendices, la mano de obra semicalificada de apoyo, y el personal de vigilancia y de piso empleado directamente por el departamento de mantenimiento. Estos costos también incluyen el tiempo extra, la capacitación, las prestaciones y varios costos obligatorios reglamentarios:

- **Materiales.** Este factor comprende las piezas compradas, refacciones, suministros, artículos de oficina, ropa protectora, suministros de taller y químicos usados directamente para actividades de reparación y mantenimiento. También puede incluir gastos generales de materiales directos aplicados al precio de salida de los almacenes de mantenimiento, como transporte, almacenamiento, manejo, embarque y entrega de piezas internas.
- **Contratos.** Este factor abarca el costo de tareas específicas de mantenimiento, proyectos u órdenes de trabajo contratadas por tiempo o por proyecto, como el mantenimiento de instalaciones, reparación general de calderas o renovación de máquinas. Cada categoría de trabajo se caracteriza por un contrato específico. Además, en esta

categoría debe incluirse el costo del personal contratado temporal o permanentemente.

- Servicio del taller. En las instalaciones y plantas grandes, por lo general existe un servicio de taller central que proporciona servicios especializados. Estos talleres a menudo cobran una tarifa por hora, calculada para órdenes de trabajo específicas o proyectos dirigidos por el área solicitante. Esta tarifa por hora comúnmente incorpora todos los gastos generales del taller, incluyendo los costos de supervisión y de operación del edificio y el equipo.
- Rentas de equipo. Este factor incluye el costo de la renta de todo el equipo móvil y estacionario, como grúas, remolques, retroexcavadoras, arietes hidráulicos, etc.
- Contenedor de herramientas. Comprende el costo de herramientas manuales especializadas y herramientas especiales, como llaves neumáticas, cables de cadena para elevación, esmeriladoras de mano, sopletes de acetileno, etc., que no están incluidas en los materiales (almacenes) o en los servicios de taller.
- Gastos generales de mantenimiento. Este factor puede incluir todos los niveles de administración de mantenimiento y supervisión, así como la ingeniería de mantenimiento y confiabilidad, planificadores, programadores, coordinadores de materiales, empleados de oficina, y soporte para entrada de datos y sistemas computarizados para la administración del mantenimiento. También puede incluir cualquier costo de taller no incluido en los servicios de taller.
- Gastos generales de la compañía o la planta. Este factor normalmente incluye una proporción de todos los gastos generales de administración y ejecutivos de la compañía, incluyendo la depreciación.

Junto con los costos de las categorías anteriores de medidas de entrada, tal vez haya medidas específicas no relacionadas con costos para cada una de ellas. Por ejemplo, cuando se consideran los materiales, varias estadísticas son útiles para el control de inventarios:

- Inversión en inventario o valor por clase o categoría.

- Rotación del inventario, definida como la proporción de salidas totales anuales divididas entre la cantidad en existencia al final del año.
- Nivel de servicio, definido como el porcentaje de órdenes surtidas según se solicitaron.
- Faltantes, definidos como el número de órdenes que no pudieron surtir por los almacenes durante un período específico.
- Obsolescencia del inventario, definida como el porcentaje de unidades de almacenamiento (SKU<sup>1</sup>) que no han salido en un período de 24 meses.

### 3.3 MEDIDAS DE SALIDA

Las medidas de salida describen por qué existe la administración del mantenimiento e incluyen las siguientes medidas:

**Disponibilidad.** Esta es una medida de tiempo de operación o, de manera alterna, una medida de la duración del tiempo muerto. Es una medida de la duración de la operación programada que se logra o, de manera inversa, una medida de la duración de la falla o tiempo muerto y está dada por:

$$A = \frac{S - d}{S} \times 100 \quad 3.1$$

En donde:

$A$  = Disponibilidad

$S$  = Tiempo de producción programado en días

$d$  = Tiempo muerto en días.

**Confiabilidad y tiempo medio entre fallas (MTBF<sup>2</sup>).** Esta es una medida de la frecuencia de una falla. La mayoría de los ambientes de operación son sensibles a la frecuencia de las fallas. En esos casos, debido a los aspectos asociados de producción y calidad, un paro por dos días es preferible a cuatro

---

<sup>1</sup> Stock Keeping Unit

<sup>2</sup> Mean Time Between Failure (MTBF)

paros de medio día cada uno. Por lo tanto, se requiere una medida de la frecuencia de fallas. Esto se calcula con la fórmula siguiente:

$$\text{Tiempo medio entre fallas} = MTBF = \frac{S - d}{f} \quad 3.2$$

En donde:

$f$  = Número de fallas

**Tiempo medio para la reparación (MTTR<sup>3</sup>).** Esta es una medida del tiempo que dura la reparación. La mantenibilidad es la probabilidad de realizar la reparación en un tiempo dado o en el MTTR. Una vez que ha fallado un equipo o componente, normalmente es crítico minimizar el tiempo de reparación. La medida del tiempo de reparación es MTTR y ésta se puede calcular de la siguiente forma:

$$\text{Tiempo medio para la reparación} = MTTR = \frac{df}{f} \quad 3.3$$

En donde:

$df$  = Las demoras de tiempo muerto por las fallas en días.

**Utilización.** Es la capacidad de producción de la planta, y se puede calcular de la siguiente forma:

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Tiempo programado}}{\text{Tiempo de calendario}} \quad 3.4$$

**Tasa del proceso.** Esta es una medida del tiempo del ciclo del equipo en el proceso. Con esta medida, a menudo es más fácil definir el "ideal" como el límite superior de control estadístico para el proceso particular y se puede calcular con la siguiente fórmula:

---

<sup>3</sup> Mean Time To Repair (MTTR)

$$Tasa\ del\ proceso = \frac{Tiempo\ ideal\ del\ ciclo}{Tiempo\ real\ del\ ciclo} \times 100 \quad 3.5$$

O

$$PR = \frac{Tasa\ real\ de\ rendimiento\ de\ operación}{Tasa\ ideal\ de\ rendimiento\ de\ operación}$$

**Tasa de calidad.** Ésta es una medida de la precisión del proceso o del equipo. Los rechazos netos incluyen la pérdida por productos reciclados, rechazados, descartados o degradados. Para determinar la tasa de calidad se usa la siguiente fórmula:

$$Tasa\ de\ calidad = QR = \frac{Total\ producido - Rechazo\ de\ gradado}{Total\ producido} \times 100 \quad 3.6$$

**Eficacia global del equipo (OEE<sup>4</sup>).** Es el producto de la disponibilidad, la tasa del proceso y la tasa de calidad. Es una medida que abarca varias funciones, ya que varios departamentos o funciones pueden tener un impacto en los resultados, y es calculada con la fórmula siguiente:

$$OEE = (A)(PR)(QR) \quad 3.7$$

En donde:

*A* = Indicador de disponibilidad

*PR* = Tasa del proceso

*QR* = Tasa de calidad

**Capacidad productiva.** La capacidad productiva se define como el producto de la eficacia global del equipo y la utilización. Es la producción máxima que se puede obtener.

---

<sup>4</sup> Overall Equipment Effectiveness

Ejemplo:

Se requiere que un horno de cemento opere 300 días al año, produciendo a una tasa de 1200 toneladas por día de 24 horas. A lo largo del año, su rendimiento ha sido como sigue:

- Tiempo de operación programada, 300 días
- Número de descomposturas, 6
- Demoras por descomposturas, 180 horas
- Tiempo de mantenimiento preventivo, 80 horas
- Paros debido a falta de alimentación, 120 horas
- Retardos del proceso, 60 horas a una tasa de 80%
- Retardos por alimentación húmeda, 40 horas a una tasa de 60%
- Producción total rechazada, 2000 toneladas
- Producción de segunda calidad, 3000 toneladas a un valor del 50%

Para calcular la disponibilidad aplicamos la fórmula 3.1 quedando de la siguiente forma:

$$A = \frac{300 - (180 + 80 + 120)/24}{300} \times 100 = 94.7\%$$

La utilización la calculamos aplicando la fórmula 3.4:

$$\text{Utilización} = \frac{300}{365} = 82.2\%$$

El porcentaje de tiempo muerto lo calculamos con:

$$I_d = 100\% - A = 100 - 94.7 = 5.3\%$$

El tiempo medio entre fallas MTBF aplicando la fórmula 3.2 nos queda:

$$MTBF = \frac{300 - 15.84}{6} = 47 \text{ dias}$$

El tiempo medio para la reparación MTTR se calcula aplicando la fórmula **3.3**

$$MTTR = \frac{180}{6} = 30 \text{ horas}$$

Conforme los sistemas de producción y mantenimiento se han hecho más complejos con un mayor grado de integración, se ha vuelto útil medir todas las demoras y pérdidas con un enfoque consistente, independientemente si el departamento de operación o de mantenimiento ha tenido siempre la responsabilidad de su corrección.

En este ejemplo la capacidad de producción ha sido disminuida debido a que el horno fue operado a velocidades menores durante un total de 100 horas, dando como resultado problemas de proceso y alimentación. El equipo a menudo no puede ser operado a su tasa requerida debido a procedimientos inadecuados de operación, actividades de mantenimiento o problemas de diseño.

La tasa de proceso en este ejemplo aplicando la fórmula **3.5** es

$$Tasa \text{ del proceso} = \frac{(300)(24)}{(300)(24) + 100} \times 100 = \frac{7200}{7300} \times 100 = 98.63\%$$

Finalmente, aun cuando se elaboraron productos, no todos pudieron venderse, lo cual redujo nuevamente la capacidad productiva. De la fórmula **3.6**

$$QR = \frac{360,000 - 5,000}{360,000} \times 100 = 98.6\%$$

Una medida verdadera de la eficacia global del equipo (OEE) del horno aplicando la fórmula **3.7** es:

$$OEE = (.947)(.986)(.986) = 92\%$$

La capacidad de producción del equipo debe reflejar la utilización del horno y puede obtenerse con la fórmula **3.8** como sigue:

$$Capacidad \text{ productiva} = (92) (82.2) = 75.62\%$$

Por lo tanto, el horno tiene una capacidad adicional de 23.6% que puede alcanzarse administrando el programa de producción de la planta, las demoras, su velocidad y la calidad del producto.

### **3.4 MEDIDAS DENTRO DEL SISTEMA**

Aunque la productividad sólo considera las entradas y las salidas, el impacto de cualquiera de éstas requiere una comprensión clara del sistema mismo y de cómo las medidas de productividad se relacionan con las medidas del sistema.

- **Distribución del trabajo.** Es el porcentaje de horas de mano de obra dedicadas a las diversas categorías de trabajo, como planeado, no planeado, urgente, reparaciones menores, órdenes permanentes, indirecto (por ejemplo, reuniones, capacitación), preventivo, predictivo, correctivo planeado, reparación general importante o trabajo con paro.
- **Demoras.** Es el tiempo consumido por los trabajadores en espera de instrucciones, de piezas y de otros trabajadores. También incluye el tiempo para desplazarse, interrupciones personales, y tiempos de inicio y terminación.
- **Cumplimiento.** Son medidas para dar seguimiento al cumplimiento de varios planes y programas, e incluyen la cobertura de MP, cumplimiento del programa de MP, cumplimiento del programa de trabajo correctivo planeado, solicitudes de trabajo generadas a partir de rutinas de MP, y cumplimiento del programa de mantenimiento con paro.
- **Trabajos pendientes.** Es la cantidad de trabajo planeado pero que aún no se ha programado o completado calculado generalmente por especialidad (mecánico, eléctrico, etc.), por planta o área del taller, por turno o por cuadrilla específica.
- **Estado de las órdenes de trabajo.** Ésta es una medida del número de órdenes de trabajo o solicitudes de trabajo en cada estado de terminación: recibidas por el departamento de mantenimiento, aprobadas, planeadas, en espera de materiales, programadas, asignadas, en progreso o completadas.
- **Análisis de fallas.** Ésta es una actividad que da seguimiento a las iniciativas de mejora, como el número de análisis de causas

fundamentales de descomposturas emprendidos y completados, el número de rutinas de MP desarrolladas, salidas de garantías y similares.

Los puntos anteriores proporcionan una definición general de los factores importantes que deberán considerarse en la evaluación de la eficacia y productividad de un sistema de mantenimiento.

### **3.5 ÍNDICES DE MANTENIMIENTO**

Existen varios índices que miden la eficacia del mantenimiento. Son útiles en la preparación de informes y brindan una cuantificación razonable del rendimiento de algunas áreas claves. Estos índices deben integrarse al sistema computarizado de la administración del mantenimiento, y el sistema los debe proporcionar automáticamente cuando se le soliciten. En términos generales, estos índices pueden clasificarse en dos categorías. En la primera están los índices económicos (de costos) que permiten el seguimiento de la evolución de los resultados internos y cierta comparación del mantenimiento entre diferentes plantas. Los índices de la segunda categoría son de tipo técnico, y proporcionan al gerente de mantenimiento los medios para dar seguimiento a la eficacia técnica de las instalaciones. Niebel asignó estos índices a tres clases que están relacionadas y reflejan los objetivos del mantenimiento. Estas clases son la administración del mantenimiento, la eficacia del mantenimiento y los costos del mantenimiento. La siguiente lista de índices debe adaptarse a cada organización antes de su uso.

#### **3.5.1 Formulas para calcular índices de la administración del mantenimiento**

- Horas subcontratadas por mes

$$\% = \frac{\text{Horas subcontratadas totales trabajadas}}{\text{Horas totales trabajadas}} \times 100 \quad \mathbf{3.9}$$

- Horas de tiempo extra por mes

$$\% = \frac{\text{Horas de tiempo extra totales trabajadas}}{\text{Horas totales trabajadas}} \times 100 \quad \mathbf{3.10}$$

- Nivel de actividad de los trabajadores

$$\% = \frac{\text{Horas estandar ganadas}}{\text{Tiempo de reloj total}} \times 100 \quad \mathbf{3.11}$$

- Trabajos pendientes actuales (en cuadrilla-semanas)

$$\text{Cuadrilla – semanas} = \frac{\text{Trabajo programado listo para liberarse (en horas – hombre)}}{\text{Una cuadrilla – semana (en horas – hombre)}} \quad \mathbf{3.12}$$

- Trabajos pendientes totales (en cuadrilla – semanas)

$$\text{Cuadrilla – semanas} = \frac{\text{Horas de mano de obra de trabajo totales en espera de ejecución}}{\text{Una cuadrilla – semana (en horas – hombre)}} \quad \mathbf{3.13}$$

- Productividad de los trabajadores por mes

$$\% = \frac{\text{Horas estándar}}{\text{Horas totales trabajadas}} \times 100 \quad \mathbf{3.14}$$

- Utilización de los trabajadores

$$\% = \frac{\text{Horas consumidas en trabajo productivo}}{\text{Horas totales programadas para trabajo}} \times 100 \quad \mathbf{3.15}$$

- Índice de productividad compuesta (CPI) de los trabajadores

$$\text{CPI} = (\text{Productividad})(\text{Utilización}) \quad \mathbf{3.16}$$

- Órdenes de trabajo planeadas y programadas diariamente

$$\% = \frac{\text{Órdenes de trabajo planeadas y programadas}}{\text{Órdenes de trabajo totales ejecutadas}} \times 100 \quad \mathbf{3.17}$$

- Horas programadas contra horas trabajadas según el programa

$$\% = \frac{\text{Horas trabajadas según el programa}}{\text{Horas totales programadas}} \times 100 \quad \mathbf{3.18}$$

- Horas programadas contra horas trabajadas

$$\% = \frac{\text{Horas programadas}}{\text{Horas totales trabajadas}} \times 100 \quad \mathbf{3.19}$$

- Mantenimiento preventivo y predictivo efectuado según el programa

$$\% = \frac{\text{Horas – hombre totales de mantenimiento preventivo y predictivo ejecutado}}{\text{Horas – hombre totales de mantenimiento preventivo y predictivo programado}} \times 100 \quad \mathbf{3.20}$$

- Cobertura de mantenimiento predictivo y preventivo

$$\% = \frac{\text{Horas – hombre totales de mantenimiento predictivo y preventivo}}{\text{Horas – hombre totales trabajadas}} \times 100 \quad \mathbf{3.21}$$

### 3.5.2 Formulas para calcular la eficacia del mantenimiento

1. Eficacia global del equipo (OEE)

$$OEE = (A)(PR)(QR) \quad \mathbf{3.7}$$

2. Disponibilidad

$$A = \frac{S - d}{S} \times 100 \quad \mathbf{3.1}$$

3. Velocidad

$$S = \frac{\text{Cantidad real de producción}}{\text{Cantidad planeada de producción}} \quad \mathbf{3.22}$$

4. Calidad

$$QR = \frac{\text{Total producido} - \text{Rechazo de gradado}}{\text{Total producido}} \times 100 \quad 3.6$$

5. Porcentaje de horas brutas de operación

$$\% = \frac{\text{Número de horas brutas de operación}}{\text{Número de horas brutas de operación} + \text{Tiempo muerto por mantenimiento}} \times 100 \quad 3.23$$

6. Número de fallas en el sistema (NFS)

$$NFS = \frac{\text{Número de paros en producción}}{\text{Número de horas brutas de operación}} \quad 3.24$$

7. Tiempo muerto del equipo ocasionado por descomposturas

$$\% = \frac{\text{Tiempo muerto causado por descomposturas}}{\text{Tiempo muerto total}} \times 100 \quad 3.25$$

8. Horas-hombre de emergencia

$$\% = \frac{\text{Horas - hombre causado por descomposturas}}{\text{Horas totales trabajadas en mantenimiento directo}} \quad 3.26$$

9. Horas-hombre de emergencia y todas las demás no programadas

$$\% = \frac{\text{Horas - hombre en trabajos de emergencia y no programados}}{\text{Horas - hombre totales trabajadas en mantenimiento}} \times 100 \quad 3.27$$

10. Evaluación del mantenimiento predictivo y preventivo

$$\% = \frac{\text{Trabajos resultantes de inspecciones}}{\text{Inspecciones completadas}} \times 100 \quad 3.28$$

### **3.6 ANÁLISIS DE TENDENCIAS Y GRÁFICA DE CONTROL**

Para ejercer un control eficaz sobre la administración del mantenimiento, se puede graficar periódicamente un breve análisis de los costos de

mantenimiento, el número de descomposturas y los cambios en el MTTR para evaluar las tendencias de dichos índices. Esto ayudará a aplicar una acción correctiva. La gráfica de tendencia exhibe los datos con relación al tiempo o la secuencia, y es útil para detectar tendencias o impactos en el sistema. Una variante más útil de la gráfica de tendencia es la gráfica de control.

La Gráfica de Control es un tipo especial de gráfica que se dirige a la posibilidad de interpretar información derivada de un proceso creando una imagen de las fronteras o límites de variación permisibles.

Permite de manera objetiva determinar si un proceso se encuentra “en control”o “fuera de control”.

Es una herramienta útil para establecer fronteras de variación dentro de un proceso. Muestra cuando estas fronteras se sobrepasan y poder buscar las claves que lleven a las causas para resolverlas.

Para realizar la grafica de control se deben seguir los siguientes pasos:

1. Determine lo que va a medirse: Será necesario identificar una medida clave que se quiera medir a través del tiempo o contra algún otro factor. Esta medida deberá ser un indicador de calidad /productividad (cliente externo o proceso interno) que nos de información útil para la toma de decisiones. Algunos factores de medición posibles son los siguientes:
  - Volumen: Por ejemplo qué tanto dentro de un período específico.
  - Tiempo del ciclo: Qué tanto tiempo toma el realizar o llevar a cabo algo.
  - Errores y Defectos: Cuántos errores en un período.
  - Desperdicio: Qué tanto es rechazado o retrabajado.
2. Recolecte los datos: Algunas sugerencias para recolectar la información son:
  - Utilice una muestra que contenga al menos 50 unidades / artículos o elementos inspeccionados o factibles de ser revisados, (la muestra

debe ser lo suficientemente grande como para dar un promedio de 3 o más defectos por muestra).

- Evite tomar muestras a través de períodos prolongados (por ejemplo reduzca las muestras grandes en períodos más manejables de 2 a 4 horas en lugar de uno de 24 horas).
  - Evite variar el tamaño de las muestras.
  - Utilice un mínimo de 20 muestras.
  - Después de haber tomado un mínimo de 20 muestras y calculado el porcentaje de defectos de cada una, elabore la escala en el eje vertical de la gráfica. La escala debe reflejar lo que sea apropiado de acuerdo a la medida que usted ha seleccionado. Elabore el eje horizontal con un marcaje por cada fecha de la muestra.
3. Grafique el porcentaje de defectos: A continuación calcule el porcentaje promedio sumando todos los porcentajes de defectos y divida el resultado entre el total de muestras sumadas. Dibuje una línea horizontal en la gráfica con el valor resultante y nómbrela "P".
  4. Calcule los Límites de Control: Los límites de control le dirán si su proceso tiene un control estadístico. Hay que pensar que los límites de control son fronteras invisibles. Mientras los puntos se encuentren entre las fronteras de control, todo estará bien. Sin embargo, cuando los puntos rebasan estas fronteras se deberá investigar las causas por las que se han rebasado.

Las fórmulas que se utilizan para calcular los límites de control son:

$$LSC = \frac{P + 3\sqrt{P(100\% - P)}}{N} \quad \mathbf{3.29}$$

$$LIC = \frac{P - 3\sqrt{P(100\% - P)}}{N} \quad \mathbf{3.30}$$

Donde:

P = Promedio del número de defectos obtenido.

N = Tamaño de la muestra

LSC = Límite Superior de Control

LIC = Límite Inferior de control

Si los puntos se encuentran dentro de los límites de control:

- Continúe sin hacer cambios significativos.
- Vuelva a hacer un ejercicio de tablero de control después de un tiempo para verificar que el proceso está funcionando.
- Lleve a cabo mejoras en el proceso que logren reducir las pequeñas variaciones en el desempeño que ha encontrado.
- Haga un seguimiento para asegurarse que los cambios que ha efectuado han tenido un efecto positivo.

Si los puntos se encuentran fuera de los límites de control:

- Investigue y tome las acciones necesarias para eliminar la(s) causa(s).
- Haga un seguimiento para asegurarse de que los cambios efectuados hayan tenido efectos positivos y que se hayan eliminado las causas de las variaciones en el proceso.
- Tome muestras nuevas y haga un nuevo ejercicio de gráfica de control utilizando los límites que se deriven de la nueva información.

## **CAPITULO IV**

### **COSTOS DEL MANTENIMIENTO**

## **4 COSTOS DEL MANTENIMIENTO**

### **4.1 OBJETIVOS Y FUNCIONES DE LOS COSTOS**

Entre los objetivos y funciones de la determinación de costos, encontramos los siguientes:

- Servir de base para fijar precios de venta y para establecer políticas de comercialización.
- Facilitar la toma de decisiones.
- Permitir la valuación de inventarios.
- Controlar la eficiencia de las operaciones.
- Contribuir al planeamiento, control y gestión de la empresa.

El estudio de costos sirve, en general, para tres propósitos:

1. Proporcionar informes relativos a costos para medir la utilidad y evaluar el inventario
2. Ofrecer información para el control administrativo de las operaciones y actividades de la empresa.
3. Proporcionar información a la administración para fundamentar la planeación y la toma de decisiones.

El costo de las reparaciones es una parte más del precio final del producto. Independientemente de la buena o mala gestión del mantenimiento, siempre será un gasto que debemos asumir.

Aunque no se pueden generalizar los costos de mantenimiento de un producto se sitúan sobre el 5 – 10% del total. En principio, esta cantidad no parece elevada pero tiene dos características importantes. La primera es que, a diferencia de otras partidas como la materia prima, es un costo que lo fija o lo controla la propia empresa, pudiendo destinar mayores o menores recursos. La segunda es que genera un gasto que obliga a una cierta liquidez que no se recupera (como el costo de la materia prima que se puede ir compensando con las ventas.)

## **4.2 TIPOS DE COSTOS**

Si descomponemos los costos de mantenimiento según diferentes aspectos, podemos agruparlos en cuatro bloques:

- Costos fijos
- Costos variables
- Costos financieros
- Costos de fallo

### **4.2.1 Costos fijos**

Su principal característica es que son independientes del volumen de la producción y de las ventas. Dentro de estos costos podemos destacar los de la mano de obra indirecta, las amortizaciones (tanto de instalaciones productivas como de los edificios), los alquileres, seguros, etc., y los costos fijos de mantenimiento.

Estos costos fijos de mantenimiento están compuestos, principalmente, por la mano de obra y materiales necesarios para realizar el mantenimiento preventivo, predictivo y basado en el tiempo así como todo el gasto originado por el engrase de las máquinas.

Desde el punto de vista de mantenimiento, se trata, por tanto, de un gasto que asegura el estado de la instalación a mediano y largo Plazo. La disminución del presupuesto y recurso destinado a este gasto fijo, limita la cantidad de revisiones programadas y, en un primer momento, supone un ahorro para la empresa. Este ahorro implica una mayor incertidumbre sobre el estado de la instalación y, por tanto, de su capacidad productiva real.

### **4.2.2 Costos variables**

Estos costos tienen la peculiaridad de ser proporcionales a la producción realizada. Podemos destacar los de embalajes, portes, mano de obra directa, materias primas, energía, etc. y los costos variables de mantenimiento.

Dentro de los costos variables de mantenimiento nos encontramos, básicamente, con la mano de obra y los materiales necesarios para el mantenimiento correctivo. Este mantenimiento será tanto consecuencia de las averías imprevistas como de las reparaciones que debemos hacer por indicación de los otros tipos de mantenimiento.

Lógicamente, cuanto más se utilice la instalación mayor será el número de averías que aparezcan y, por tanto, la necesidad de realizar un mantenimiento correctivo.

En principio, parecería imposible reducir este tipo de gasto en mantenimiento, dado que viene directamente de la necesidad de realizar una reparación para poder seguir produciendo. La manera de reducir este tipo de gasto no pasa por dejar de hacer el mantenimiento correctivo sino por evitar que se produzcan las averías inesperadas.

### **4.2.3 Costos financieros**

Los costos financieros asociados al mantenimiento se deben tanto al valor de los repuestos de almacén como a las amortizaciones de las máquinas duplicadas para asegurar la producción.

El costo de todos los recambios de almacén para realizar las reparaciones supone un desembolso para la empresa que limita su liquidez. Si los recambios son utilizados con cierta frecuencia nos encontramos con un mal menor dado que esta inversión contribuye a mantener la capacidad productiva de la instalación. Sin embargo, cuando los recambios tardan mucho tiempo en ser utilizados, estamos incurriendo en un gasto que, en principio, no genera ningún beneficio para la empresa.

Dentro de estos gastos financieros debe tenerse también en cuenta el costo que supone tener ciertas instalaciones o máquinas duplicadas para obtener una mayor disponibilidad. En determinadas circunstancias que se obliga a una disponibilidad total, es necesario montar en paralelo una máquina similar que permita la reparación de una de ellas mientras la otra está en funcionamiento. El costo de esta duplicidad suele olvidarse en el cómputo de los gastos de mantenimiento, pero debe tenerse en cuenta dado que el motivo de su presencia es el aumento de la disponibilidad y este concepto es responsabilidad de mantenimiento.

#### **4.2.4 Costos de fallo**

El costo de fallo se refiere al costo o pérdida de beneficio que la empresa soporta por causas relacionadas directamente con mantenimiento. Normalmente, este concepto no suele tenerse en cuenta cuando se habla de los gastos de mantenimiento, pero su volumen puede ser incluso superior a los gastos tradicionales (costos fijos, variables y financieros).

El costo de fallo se deben principalmente a:

- Pérdidas de materia prima.
- Descenso de la productividad de la mano de obra del personal de producción mientras se realizan las reparaciones.
- Pérdidas energéticas por malas reparaciones o por no realizarlas, fugas de vapor, aislamientos térmicos defectuosos, etc.
- Rechazo de productos por falta de calidad.
- Producción perdida durante la reparación, menores ventas, menores beneficios.
- Averías medioambientales que pueden suponer desembolsos importantes para la empresa, fugas de productos, etc.
- Averías que puedan suponer riesgo para las personas o para la instalación, daños humanos, primas de seguro, imagen, etc.
- Costos indirectos, amortizaciones, etc.
- Pérdidas de imagen, ventas, etc.

A los costos que pueden generar estos hechos debemos sumar el importe de las reparaciones para volver a la normalidad. Como vemos, en muchos casos, el costo directo de la reparación será insignificante en comparación al costo de fallo que se puede originar.

El costo de fallo en empresas productivas será tanto mayor cuanto mayor sea la automatización y la amortización de la instalación. El caso más desfavorable será para las empresas que trabajan con el método *Just in Time, cero stock*. Esto se debe a que cuando se produce una avería, los costos variables de la empresa descienden al no haber producción, pero los fijos se mantienen. El costo de fallo se podría simplificar, en su cálculo, como la suma de los costos fijos durante el tiempo de la reparación más el beneficio que se deja de obtener en este mismo periodo.

#### **4.2.5 Costo integral**

Si sumamos estos cuatro costos obtendremos el costo integral de mantenimiento. Este costo nos dará una idea mucho más global de la gestión de mantenimiento que el análisis de cualquiera de los costos que lo componen.

Con este costo integral se pretende relacionar no sólo el gasto que el mantenimiento ocasiona a la empresa, sino también los posibles beneficios que puede generarle.

Supongamos una empresa en la que se decide reducir la plantilla de mantenimiento; los costos tradicionales descenderán y, en principio, se habrá realizado una buena gestión. Si analizamos el costo integral, la reducción de costos no es tan evidente. No disponer de suficiente personal nos obligará a posponer reparaciones, o incluso a no realizarlas, lo que puede estar ocasionando un gasto para la empresa reflejado en otro concepto.

Un caso muy representativo suele ser el del aislamiento térmico. Si no se realiza un mantenimiento sobre este aislamiento, los gastos de mantenimiento descenderán pero el consumo de energía aumentará. Fijar el punto óptimo de la cantidad de mantenimiento que debemos realizar sólo puede hacerse a través del costo integral de mantenimiento.

Vemos, por tanto, que el costo integral de mantenimiento tiene en cuenta todos los factores relacionados con una avería y no solamente los directamente relacionados con mantenimiento.

#### 4.2.6 Costos de mantenimiento

1. Costo de mantenimiento en relación con el valor agregado de producción

$$\% = \frac{\text{Costo directo de mantenimiento}}{\text{Valor agregado de producción}} \times 100 \quad \mathbf{4.1}$$

El costo directo de mantenimiento comprende el costo de la fuerza laboral, el costo de los materiales (refacciones, lubricantes, etc.) y el costo del trabajo subcontratado y sobrecargas. El valor agregado de producción es el costo de producción menos el costo de los materiales.

2. Costo de mantenimiento por unidad de producción

$$\text{Costo por unidad} = \frac{\text{Costo total de mantenimiento}}{\text{Unidades totales producidas}} \quad \mathbf{4.2}$$

3. Componente de fuerza laboral en el costo de mantenimiento

$$\% = \frac{\text{Fuerza laboral total en mantenimiento}}{\text{Costo total de mantenimiento directo}} \times 100 \quad \mathbf{4.3}$$

4. Costo de mantenimiento subcontratado

$$\% = \frac{\text{Costo de subcontratación (fuerza laboral)}}{\text{Costo directo de mantenimiento}} \times 100 \quad \mathbf{4.4}$$

5. Proporción de costo de mano de obra con respecto al costo de materiales de mantenimiento

$$\text{Proporción} = \frac{\text{Costo total de mano de obra de mantenimiento}}{\text{Costo total de materiales de mantenimiento}} \quad \mathbf{4.5}$$

6. Costo de hora de mantenimiento

$$\text{\$} = \frac{\text{Costo total de mantenimiento}}{\text{Horas – hombre totales trabajadas}} \quad \mathbf{4.6}$$

7. Costo de supervisión como porcentaje del costo total de mantenimiento

$$\% = \frac{\text{Costo total de supervisión}}{\text{Costo total de mantenimiento}} \times 100 \quad \mathbf{4.7}$$

8. Avance en los efectos de reducción de costos

$$\text{Índice} = \frac{\% \text{ de horas – hombre de mantenimiento consumidas en trabajos programados}}{\text{Costo de mantenimiento / Unidad de producción}} \quad \mathbf{4.8}$$

9. Costo de mantenimiento preventivo (MP) relacionado con el mantenimiento correctivo

$$\% = \frac{\text{Costo total de MP (incluyendo las pérdidas de producción)}}{\text{Costo total de descomposturas}} \times 100 \quad \mathbf{4.9}$$

10. Tasa de rotación de inventario por año

$$\text{Tasa} = \frac{\text{Costo de consumo anual}}{\text{Inversión promedio en inventario}} \quad \mathbf{4.10}$$

11. Costo de refacciones y materiales con respecto al costo de mantenimiento

$$\% = \frac{\text{Salidas y compras totales del almacén}}{\text{Costo total de mantenimiento directo}} \times 100 \quad \mathbf{4.11}$$

12. Proporción del valor de las existencias con respecto al valor del equipo de producción

$$\text{Proporción} = \frac{\text{Valor promedio de las existencias}}{\text{Valor de reemplazo del equipo de producción}} \quad \mathbf{4.12}$$

Las organizaciones desarrollan medidas de productividad con base en los objetivos específicos que se persiguen en períodos particulares de la historia de la corporación. Como resultado de esto, la disponibilidad puede definirse como tiempo de calendario menos las demoras por las fallas mecánicas, dividido entre el tiempo de calendario.

Deberá definirse una medida que pueda compararse con datos externos, que sea clara y se entienda fácilmente, que utilice datos que se puedan obtener de manera sencilla y que tenga un amplio consenso de que mide con precisión la característica bajo consideración.

Muchas de estas medidas pueden compararse entre organizaciones similares, siempre y cuando se aplique una definición rigurosa. Algunas de las medidas que con frecuencia se comparan en el mantenimiento implican las proporciones a largo plazo y estratégicas de los costos, mano de obra y materiales:

- Costo total de mantenimiento por valor de reemplazo de los activos a los que se les ha dado mantenimiento.
- Costo de refacciones y materiales en inventario por valor de reemplazo de los activos a los que se les ha dado mantenimiento.
- Costo de refacciones y materiales en inventario por número de trabajadores de mantenimiento.
- Trabajadores de mantenimiento por total de mano de obra directa en operaciones.
- Trabajadores de mantenimiento por supervisor de primera línea.
- Número de niveles en la organización que participan directamente en mantenimiento.
- Trabajadores de mantenimiento por personal de apoyo (empleados administrativos, planificadores, ingenieros, programadores, etc.).
- Costo de capacitación por trabajador de mantenimiento.

En las comparaciones siempre deben tenerse presentes las diferencias en el entorno de operación, como el entorno político y reglamentario, la cultura del país y la compañía, la lejanía geográfica, el sector industrial, la edad de los activos y el uso de la tecnología.

## **CAPITULO V**

# **HERRAMIENTAS PARA EL MANTENIMIENTO**

## **5 HERRAMIENTAS PARA EL MANTENIMIENTO**

### **5.1 CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN EL MANTENIMIENTO**

El control estadístico de procesos (CEP) consiste en el empleo de técnicas con base estadística para evaluar un proceso o sus productos, para alcanzar o mantener un estado de control. Esta definición es lo suficientemente amplia para incluir a todos los métodos con base estadística, desde la recopilación de datos e histogramas hasta técnicas complejas como el diseño de experimentos. Aun cuando no existe una lista única de estos métodos estadísticos (herramientas de calidad), hay un acuerdo general sobre las siguientes siete herramientas, todas las cuales requieren la recopilación de datos como primer paso.

1. Lista de verificación.
2. Histograma.
3. Diagrama de causa y efecto (espina de pescado).
4. Diagrama de Pareto (también conocido como análisis ABC).
5. Gráfica de control.
6. Diagrama de dispersión.
7. Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF).

#### **5.1.1 Recopilación de datos**

El enfoque científico para la solución de problemas y la utilización de las herramientas anteriores requieren que se cuente con datos correctos. Se debe tener mucho cuidado en recopilar los datos correctos con el método correcto. Las siguientes guías son útiles para evitar que se repita el proceso de recopilación de datos y demorar el análisis y la mejora de procesos:

1. Planear todo el proceso de recopilación de datos al principio.
2. Aclarar el propósito de la recopilación de datos.
3. Especificar claramente los datos que se necesitan.
4. Emplear las técnicas correctas de muestreo.
5. Diseñar por adelantado las listas de verificación necesarias.

La recopilación de datos debe ser un proceso continuo y estar incorporada en el sistema de información disponible. Ejemplos de los datos necesarios en el caso de la administración e ingeniería del mantenimiento son el tiempo muerto del equipo, la productividad de la mano de obra, los costos de mantenimiento, los costos de materiales e inventarios, las fallas y reparaciones del equipo, los tiempos de terminación de los trabajos y los trabajos pendientes

### **5.1.2 Lista de verificación**

Una lista de verificación es un conjunto de instrucciones sencillas empleadas en la recopilación de datos, de manera que los datos puedan compilarse con facilidad y analizarse automáticamente. Existen muchas formas de listas de verificación. Algunas de ellas son pasos sencillos para realizar tareas de inspección de mantenimiento, en tanto que otras podrían ser parte de un esquema amplio de auditoria. Una lista de verificación puede utilizarse en mantenimiento para lo siguiente:

1. Recopilar datos para desarrollar histogramas.
2. Realizar tareas de mantenimiento.
3. Prepararse antes de los trabajos de mantenimiento y para la limpieza después éstos.
4. Revisión de refacciones.
5. Planeación de los trabajos de mantenimiento.
6. Equipo de inspección.
7. Auditoria de un departamento de mantenimiento.
8. Verificación de las causas de artículos defectuosos.
9. Diagnóstico de defectos de las máquinas.
10. Recopilación de datos para muestreo de trabajo.

Ejemplo de una lista de verificación de inspección de mantenimiento preventivo para un conjunto motor-generador:

Marque la columna que indique la condición de la unidad											
Nº de componentes principales	Articulo	Buena condición	Requiere limpieza	Requiere ajuste	Requiere lubricación	Examinar la vibración	Examinar el calor	Suelto	Requiere reparación general	Requiere reemplazo	Ver comentarios adicionales
1	Motor eléctrico										
	1.1 Rodamientos										
	1.2 Base y pernos										
	1.3 Temperatura										
	1.4 Vibración										
	1.5 Ruido										
2	Cople										
	2.1 Alineación										
	2.2 Lubricación										
3	Generador										
	3.1 Todos los motores eléctricos										
	3.2 Armadura										
	3.3 Escobillas										
	3.4 Rotor										

### 5.1.3 Histograma

Un histograma es una representación gráfica de la frecuencia de ocurrencias contra puntos de datos o una clase que representa un conjunto de datos. Es una imagen gráfica de la distribución de frecuencias. El histograma ayuda a visualizar la distribución de los datos, su forma y su dispersión. Un uso principal de los histogramas es identificar la distribución de los datos. Se puede utilizar para estimar los seis puntos que se enlistan enseguida:

- La carga de mantenimiento.
- La confiabilidad del proveedor de refacciones.
- La distribución del tiempo hasta la falla del equipo.
- Distribución de los tiempos de reparación.
- Distribución de los trabajos pendientes.
- Cambios en la distribución del tiempo muerto.

En resumen, un histograma puede usarse para identificar la distribución de actividades importantes. Cualquier software estadístico, como el Statgraphics o el Statistical Analysis Software (SAS), ofrece las capacidades para calcular distribuciones de frecuencia y elaborar histogramas. A continuación se presenta un ejemplo del empleo de histogramas en mantenimiento.

Suponga que se descubre que una máquina esmeriladora para el acabado de partes mecánicas se descompone repetidamente. El efecto de estas descomposturas recurrentes ocasiona serios problemas como demoras en la producción, entregas tardías a los clientes, menor productividad y altas tasas de productos defectuosos. Los informes diarios del taller muestran las horas trabajadas y las cantidades producidas, e indican el tiempo muerto de la esmeriladora al no cumplir con los planes de producción. Estos informes diarios muestran el tiempo de la descompostura de la esmeriladora y la hora en que se volvió a trabajar después de ser reparada. Los datos para el tiempo muerto se dan en la tabla 5.1. En la tabla 5.2 se presenta una distribución de frecuencias de los datos de la tabla 5.1. En la figura 5.1 se muestra un histograma del tiempo muerto utilizando las clases de la tabla 5.2.

	<b>Semana 1</b>	<b>Semana 2</b>	<b>Semana 3</b>	<b>Semana 4</b>
<b>Mes 1</b>	1, 1/2, 3/4, 2	1/2, 1/2, 1, 1	3/4, 3, 1, 3/4	1, 3/4, 2, 8
<b>Mes 2</b>	3, 3/4, 1/2, 8	4, 7, 10, 3/4	2, 1/2, 1, 1/2	30, 1, 2, 1
<b>Mes 3</b>	50, 6, 3, 3	5, 4, 6	5, 72, 2	4, 2, 3

Tabla 5.1 Tiempo muerto de la esmeriladora, en horas, durante los últimos tres meses

Duración de la descompostura	Frecuencia	Frecuencia relativa
$0 < t \leq 1$	20	44.44
$1 < t \leq 2$	6	13.33
$2 < t \leq 3$	5	11.11
$3 < t \leq 4$	3	6.67
$4 < t \leq 5$	2	4.45
$5 < t \leq 6$	2	4.45
$6 < t \leq 7$	1	2.22
$t \geq 8$	6	13.33
<b>Total</b>	45	100.00

Tabla 5.2 Distribución de frecuencias de los datos de tiempo muerto de la tabla 5.1

La frecuencia es el número de veces que ocurrió la falla dentro del rango de tiempo mencionado y la frecuencia relativa es el porcentaje correspondiente a la frecuencia tomando la sumatoria de la frecuencia como el 100%.

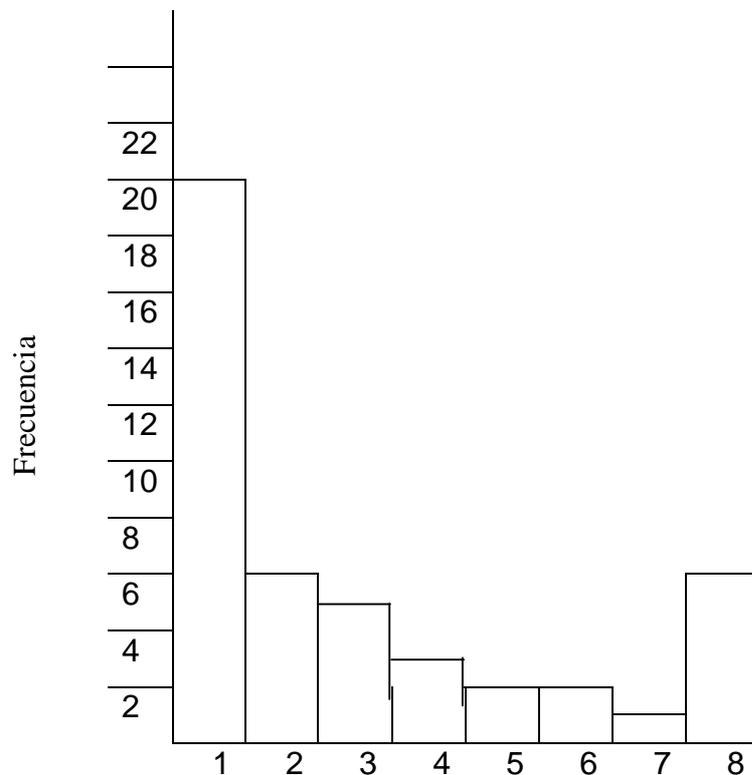


Figura 5.1 Histograma de los datos de la tabla 5.2

El histograma muestra lo siguiente:

- Se requirieron más de 8 horas entre el paro y el inicio de la producción en seis ocasiones.
- La mayoría de los paros no fueron muy largos.
- La moda del tiempo muerto es de ½ hora.

#### **5.1.4 Diagrama de causa y efecto (espina de pescado)**

El siguiente paso en la mejora de la calidad del mantenimiento consiste en identificar las causas de las descomposturas. Un método valioso para ello es el diagrama de causa y efecto.

Un diagrama de causa y efecto (DCE) puede utilizarse como herramienta para identificar las razones de una eficacia por debajo de la norma en mantenimiento. El diagrama de causa y efecto, también conocido como diagrama de espina de pescado, ha sido utilizado extensamente en el control de los procesos de producción. Es útil para clasificar las causas y organizar relaciones mutuas. El efecto se considera por lo general como la característica de calidad que necesita mejora, y las causas son los factores de influencia. El DCE puede utilizarse en la administración e ingeniería del mantenimiento para identificar las causas de:

- Baja productividad de los trabajadores.
- Excesivo tiempo muerto.
- Descomposturas recurrentes.
- Repetición de trabajos.
- Excesivo ausentismo.
- Trabajos pendientes.
- Excesivos errores en el registro de los datos.

Los pasos para construir el DCE son los siguientes:

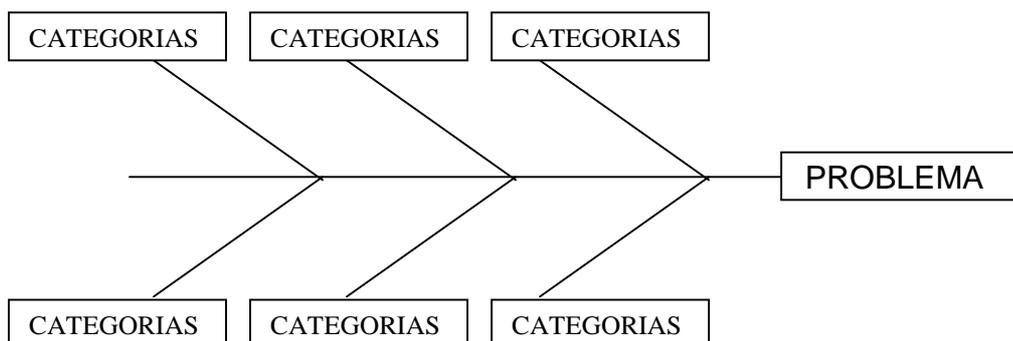
1. Identificar el problema. El problema (el efecto generalmente está en la forma de una característica de calidad) es algo que queremos mejorar o controlar. El problema deberá ser específico

y concreto: incumplimiento con las citas para instalación, cantidades inexacta en la facturación, errores técnicos en las cuentas de proveedores, errores de proveedores. Esto causará que el número de elementos en el Diagrama sea muy alto.

2. Registrar la frase que resume el problema. Escribir el problema identificado en la parte extrema derecha del papel y dejar espacio para el resto del Diagrama hacia la izquierda. Dibujar una caja alrededor de la frase que identifica el problema (algo que se denomina algunas veces como la cabeza del pescado).

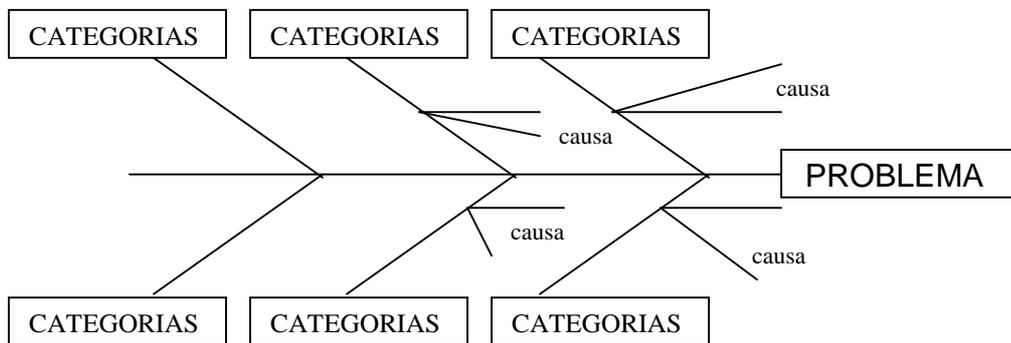


3. Dibujar y marcar las espinas principales. Las espinas principales representan la entrada principal/ categorías de recursos o factores causales. No existen reglas sobre qué categorías o causas se deben utilizar, pero las más comunes utilizadas por los equipos son los materiales, métodos, máquinas, personas, y/o el medio. Dibujar una caja alrededor de cada título. El título de un grupo para su Diagrama de Causa y Efecto puede ser diferente a los títulos tradicionales; esta flexibilidad es apropiada y debe ser considerarla.



4. Realizar una lluvia de ideas de las causas del problema. Este es el paso más importante en la construcción de un Diagrama de Causa y Efecto. Las ideas generadas en este paso guiarán la selección de

las causas de raíz. Es importante que solamente causas, y no soluciones del problema sean identificadas. Para asegurar que su equipo está al nivel apropiado de profundidad, se deberá hacer continuamente la pregunta ¿Por Qué? para cada una de las causas iniciales mencionadas. Si surge una idea que se ajuste mejor en otra categoría, no discuta la categoría, simplemente escriba la idea. El propósito de la herramienta es estimular ideas, no desarrollar una lista que esté perfectamente clasificada.



5. Identificar los candidatos para la “causa más probable”. Las causas seleccionadas por el equipo son opiniones y deben ser verificadas con más datos. Todas las causas en el Diagrama no necesariamente están relacionadas de cerca con el problema; el equipo deberá reducir su análisis a las causas más probables. Encerrar en un círculo la causa(s) más probable seleccionada por el equipo o marcarla con un asterisco.
6. Cuando las ideas ya no puedan ser identificadas, se deberá analizar más a fondo el Diagrama para identificar métodos adicionales para la recolección de datos.

#### 5.1.4.1 Interpretación del DCE

Se debe recordar que los Diagramas de Causa y Efecto únicamente identifican causas posibles. Aun cuando todos estén de acuerdo en estas causas posibles, solamente los datos apuntarán a las causas.

El Diagrama de Causa y Efecto es una forma gráfica de exhibir gran información de causas en un espacio compacto. El uso del Diagrama ayuda a los equipos a pasar de opiniones a teorías comprobables.

### **5.1.5 Gráfica de Pareto (análisis ABC)**

Una técnica común que se utiliza para asignar prioridades a las opciones es la gráfica de Pareto, también conocida como análisis ABC.

Una gráfica de Pareto es simplemente una distribución de frecuencias de datos de atributos acomodados por orden de frecuencia. Su propósito es separar los pocos vitales de los muchos triviales. También ayuda a establecer prioridades acerca de cuál curso de acción es más benéfico. Por ejemplo, en la ingeniería de mantenimiento hay muchos factores que podrían mejorarse, incluyendo la productividad de los trabajadores, el tiempo de operación del equipo, la tasa de calidad del equipo, la disponibilidad de las refacciones, etc. Es imposible tener los recursos para mejorar todos estos factores. Una gráfica de Pareto puede ser útil para identificar los factores importantes por mejorar y, como resultado de ello, pueden establecerse prioridades acerca de cuál factor mejorar.

La gráfica indica cuál factor mejorar primeramente a fin de eliminar defectos y lograr la mayor mejora posible. Categoriza los factores en tres clases. La clase A generalmente contiene alrededor del 20% de los factores (causas) que están ocasionando del 75% al 80% de los problemas. La clase B contiene alrededor del 20% de los factores que ocasionan del 15% al 20% de los problemas. El resto de los factores (que son muchos) están en la clase C.

La construcción de una gráfica de Pareto se mostró anteriormente en el capítulo 2 en el punto 2.1.3.

### **5.1.6 Gráficas de control**

Las gráficas de control son importantes en el control estadístico de procesos y se utilizan extensamente en el control de calidad. Las gráficas de control pueden aplicarse para mejorar las actividades de mantenimiento, y difieren de las otras técnicas que se describieron anteriormente. Las anteriores son

estáticas, en tanto que las gráficas de control son dinámicas, pues permiten la observación de un proceso a lo largo del tiempo.

Las gráficas de control pueden utilizarse para monitorear la calidad de los siguientes aspectos:

- Trabajos pendientes mensuales.
- Tiempo muerto del equipo principal.
- Disponibilidad del equipo.
- Tasa de calidad del equipo.
- Número de descomposturas.

Además, las gráficas de control pueden usarse para evaluar la adecuación de las normas de mantenimiento y vigilar el desgaste de las herramientas. En este último caso, se ha desarrollado una gráfica con un rango móvil para determinar tanto la región de falla de la herramienta como el momento esperado de la falla. Las gráficas de control se han utilizado para establecer un punto de comienzo para el mantenimiento basado en las condiciones. En esta aplicación se establece una gráfica de control con base en mediciones de control y los límites de control captan la vibración normal de la máquina y pueden emplearse para dar seguimiento a las fallas.

La forma para hacer una grafica de control de mostró anteriormente en el capítulo 3 en el punto 3.6.

### **5.1.7 Diagrama de dispersión**

El diagrama de dispersión es una representación gráfica de la correlación entre dos variables. Se utiliza generalmente para estudiar la relación entre causas y efectos. Por lo tanto, es un complemento del diagrama de causa y efecto que se mencionó con anterioridad. En general, puede aplicarse para realizar los siguientes análisis:

- Análisis de tendencias.
- Correlación o análisis de patrones.

Particularmente en el mantenimiento, puede utilizarse para encontrar lo siguiente:

1. Correlación entre el mantenimiento preventivo y la tasa de calidad.
2. Correlación entre el nivel de capacitación y los trabajos pendientes.
3. Correlación entre el nivel de capacitación y la repetición de trabajos.
4. Correlación entre el nivel de vibración y la tasa de calidad.
5. Correlación entre el mantenimiento preventivo y el tiempo muerto.
6. Tendencia del tiempo muerto.
7. Tendencia del costo de mantenimiento.
8. Tendencia de la productividad de los trabajadores.
9. Tendencia de los trabajos pendientes.
10. Tendencia de la disponibilidad del equipo.

#### **5.1.8 Análisis del modo de fallas y efectos (AMEF)**

El análisis del modo de falla y efectos (AMEF) es una técnica empleada para cuantificar y clasificar las fallas críticas en el diseño del producto o el proceso. Comprende la identificación de todas las características funcionales y secundarias. Así, para cada característica, el AMEF identifica una lista de las fallas potenciales y su impacto en el desempeño global del producto. Asimismo, se estima la probabilidad y la severidad de la falla (problema).

El Análisis de modos y efectos de fallas potenciales, AMEF, es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.

Por lo tanto, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son:

- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto.
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.

- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
- Analizar la confiabilidad del sistema
- Documentar el proceso

Aunque el método del AMEF generalmente ha sido utilizado por las industrias automotrices, éste es aplicable para la detección y bloqueo de las causas de fallas potenciales en productos y procesos de cualquier clase de empresa, ya sea que estos se encuentren en operación o en fase de proyecto; así como también es aplicable para sistemas administrativos y de servicios.

Un sistema o producto dado se divide en sus piezas o componentes básicos. A continuación, para cada componente o pieza, el analista podría preguntar cómo fallaría, la probabilidad de la falla y el efecto en la función del producto o el sistema. En un ensamble electrónico, por ejemplo, las piezas incluyen una resistencia, un capacitor, un dispositivo analógico, etc. Se identificará el modo de falla de cada pieza y se determinará su efecto en la función del producto. El objetivo es eliminar la amenaza a la integridad del producto o reducirla al mínimo.

Para hacer un AMEF se requiere lo siguiente:

- Un equipo de personas con el compromiso de mejorar la capacidad de diseño para satisfacer las necesidades del cliente.
- Diagramas esquemáticos y de bloque de cada nivel del sistema, desde subensambles hasta el sistema completo.
- Especificaciones de los componentes, lista de piezas y datos del diseño.
- Especificaciones funcionales de módulos, subensambles, etc.
- Requerimientos de manufactura y detalles de los procesos que se van a utilizar.
- Formas de AMEF (en papel o electrónicas) y una lista de consideraciones especiales que se apliquen al producto.

Algunos de los beneficios que se obtienen con el AMEF son:

- La eliminación de los modos de fallas potenciales tiene beneficios tanto a corto como a largo plazo.
- Ayuda en la selección de alternativas durante el diseño.
- Incrementa la probabilidad de que los modos de fallas potenciales y sus efectos sobre la operación del sistema sean considerados durante el diseño.
- Proporciona una información adicional para ayudar en la planeación de programas de pruebas concienzudos y eficientes.
- Desarrolla una lista de modos de fallas potenciales, clasificadas conforme a su probable efecto sobre el cliente interno (llámese producción, calidad o algún otro departamento). Proporciona un formato documentado abierto para recomendar acciones que reduzcan el riesgo para hacer el seguimiento de ellas.
- Detecta fallas en donde son necesarias características de auto corrección o de leve protección
- Identifica los modos de fallas conocidos y potenciales que de otra manera podrían pasar desapercibidos.
- Detecta fallas primarias, pero a menudo mínimas, que pueden causar ciertas fallas secundarias
- Proporciona un punto de visto fresco en la comprensión de las funciones de un sistema.

El modo de falla potencial se define como la manera en que una parte o ensamble puede potencialmente fallar en cumplir con los requerimientos de liberación de ingeniería o con requerimiento específicos del proceso. Se hace una lista de cada modo de falla potencial para la operación en particular; para identificar todos los posibles modos de falla, es necesario considerar que estos pueden caer dentro de una de cinco categorías:

1. Falla Total
2. Falla Parcial
3. Falla Intermitente
4. Falla Gradual
5. Sobrefuncionamiento

El siguiente paso del proceso de AMEF, luego de definir la función y los modos de falla, es identificar las consecuencias potenciales del modo de falla; ésta actividad debe realizarse a través de la tormenta de ideas y una vez identificadas éstas deben introducirse en el modelo como efectos.

Se debe asumir que los efectos se producen siempre que ocurra el modo de falla. El procedimiento para Consecuencias Potenciales es aplicado para registrar consecuencias remotas o circunstanciales, a través de la identificación de modos de falla adicionales, el procedimiento es el siguiente:

- Se comienza con un modelo de falla (MF-1), y una lista de todas sus consecuencias potenciales.
- Separar aquellas consecuencias que se asumen como resultado siempre que MF-1 ocurra, éstas se identifican como efectos MF-1.
- Se escriben modos de falla adicionales para las consecuencias restantes (consecuencias que pudiesen resultar si MF-1 ocurre, dependiendo de las circunstancias bajo las cuales ocurra). Los nuevos modos de falla implican que las consecuencias inusuales ocurrirán al incluir las circunstancias bajo las cuales ocurren.
- Separar las consecuencias que se asume resultarán siempre que los modos de falla y sus circunstancias especiales ocurran; éstas se deben identificar como efectos de los modos de fallas adicionales.

El primer paso para el análisis de riesgos es cuantificar la severidad de los efectos, éstos son evaluados en una escala del 1 al 10 donde 10 es lo más severo. A continuación se presentan las tablas con los criterios de evaluación para proceso y para diseño:

<b>Criterios de la evaluación y sistema de graduación sugeridos para la severidad de los efectos para un diseño AMEF</b>		
<b>Efecto</b>	<b>Criterios: Severidad del efecto para AMEF</b>	<b>Fila</b>
Alerta peligrosa	El incidente afecta la operación segura del producto o implica la no conformidad con la regulación del gobierno sin alarma.	10
Peligroso; con alarma	El incidente afecta la operación segura del producto o implica la no conformidad con la regulación del gobierno con la alarma.	9
Muy Arriba	El producto es inoperable con pérdida de función primaria.	8
Alto	El producto es operable, pero en el nivel reducido del funcionamiento.	7
Moderado	El producto es operable, pero el ítem(s) de la comodidad o de la conveniencia es inoperable.	6
Bajo	El producto es operable a un nivel reducido de funcionamiento.	5
Muy Bajo	La mayoría de los clientes notan los defectos.	4
De menor importancia	Los clientes medios notan los defectos.	3
Muy De menor importancia	El ajuste y el final o el chirrido y el ítem del traqueteo no se conforman. Los clientes exigentes notan los defectos.	2
Ninguno	Ningún efecto	1

Tabla 5.3 Criterios de evaluación para la severidad de los efectos para un diseño AMEF.

<b>Criterios de la evaluación y sistema de graduación sugeridos para la severidad de efectos en un proceso AMEF</b>		
<b>Efecto</b>	<b>Criterios: Severidad del efecto para AMEF</b>	<b>Fila</b>
Peligroso; sin alarma	Puede poner en peligro al operador del ensamblaje. El incidente afecta la operación o la no conformidad segura del producto con la regulación del gobierno. El incidente ocurrirá sin alarma.	10
Peligroso; con alarma	Puede poner en peligro al operador del ensamblaje. El incidente afecta la operación o la no conformidad segura del producto con la regulación del gobierno. El incidente ocurrirá con alarma.	9
Muy Arriba	Interrupción importante a la cadena de producción. 100% del producto puede ser desechado. El producto es inoperable con pérdida de función primaria.	8
Alto	Interrupción de menor importancia a la cadena de producción. El producto puede ser clasificado y una porción desechada. El producto es operable, pero en un nivel reducido del funcionamiento.	7
Moderado	Interrupción es de menor importancia a la cadena de producción. Una porción del producto puede ser desechado (no se clasifica). El producto es operable, pero un cierto ítem(s) de la comodidad / de la conveniencia es inoperable	6
Bajo	Interrupción es de menor importancia a la cadena de producción. 100% del producto puede ser devuelto a trabajar. El producto es operable, pero algunos ítems de la comodidad / de la conveniencia funcionan en un nivel reducido del funcionamiento.	5
Muy Bajo	Interrupción es de menor importancia a la cadena de producción. El producto puede ser clasificado y una porción puede ser devuelto a trabajar. La mayoría de los clientes notan el defecto.	4
De menor importancia	Interrupción es de menor importancia a la cadena de producción. Una porción del producto puede ser devuelto a	3

	trabajar en línea solamente hacia fuera-de-estación. Los clientes medios notan el defecto.	
Muy De menor importancia	Interrupción es de menor importancia a la cadena de producción. Una porción del producto puede ser devuelto a trabajar en línea solamente en-estación. Los clientes exigentes notan el defecto.	2
Ninguno	El modo de fallo no tiene ningún efecto.	1

Tabla 5.4 Criterios de evaluación para la severidad de los efectos para un proceso AMEF.

Luego de que los efectos y la severidad han sido listadas, se deben de identificar las causas de los modos de falla.

En el AMEF de diseño, las causas de falla son las deficiencias del diseño que producen un modo de falla. Para el AMEF de proceso, las causas son errores específicos descritos en términos de algo que puede ser corregido o controlado.

Las causas son evaluadas en términos de ocurrencia, ésta se define como la probabilidad de que una causa en particular ocurra y resulte en un modo de falla durante la vida esperada del producto, es decir, representa la remota probabilidad de que el cliente experimente el efecto del modo de falla.

El valor de la ocurrencia se determina a través de las siguientes tablas, en caso de obtener valores intermedios se asume el superior inmediato, y si se desconociera totalmente la probabilidad de falla se debe asumir una ocurrencia igual a 10.

<b>Criterios de la evaluación y sistema de graduación sugeridos para la ocurrencia del incidente en un diseño AMEF</b>		
<b>Probabilidad del incidente</b>	<b>Porcentajes de averías</b>	<b>Fila</b>
Muy Arriba: El incidente es casi inevitable	1 en 2	10
	1 en 3	9
Alto: Incidentes repetitivos	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderado: Incidentes ocasionales	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 de 2000	4
Bajo: Relativamente pocos incidentes	1 en 15.000	3
	1 en 150.000	2
Telecontrol: El incidente es inverosímil	1 en 1.500.000 £	1

Tabla 5.5 Criterios de evaluación para la ocurrencia del incidente en un diseño AMEF

<b>Criterios de la evaluación y sistema de graduación sugeridos para la ocurrencia del incidente en un proceso AMEF</b>			
<b>Probabilidad del incidente</b>	<b>Incidente Tarifas</b>	<b>Pk<sub>de C</sub></b>	<b>Fila</b>
Muy Arriba: El incidente es casi inevitable	1 en 2	< 0,33	10
	1 en 3	0,33	9
Alto: Asociado generalmente a los procesos similares que han fallado anteriormente	1 en 8	0,51	8
	1 en 20	0,67	7
Moderado: Asociado generalmente a los procesos similares previos que han experimentado incidentes ocasionales, pero no en proporciones importantes	1 en 80	0,83	6
	1 en 400	1,00	5
	1 de 2000	1,17	4
Bajo: Los incidentes aislados se asociaron a procesos similares	1 en 15.000	1,33	3
Muy Bajo: Solamente los incidentes aislados se asocian a procesos casi idénticos	1 en 150.000	1,50	2
Telecontrol: El incidente es inverosímil.	1 en 1.500.000 £	1,67	1

Tabla 5.6 Criterios de evaluación para la ocurrencia del incidente en un proceso AMEF

### 5.1.8.1 Controles actuales

Los controles actuales son descripciones de las medidas que previenen que ocurra el modo de falla o detectan el modo de falla en caso de que ocurran. Los controles de diseño y proceso se agrupan de acuerdo a su propósito en:

- Tipo 1: Estos controles previenen la causa o el modo de falla de que ocurran, o reduce su ocurrencia
- Tipo 2: Estos controles detectan la causa del modo de falla y guían hacia una acción correctiva
- Tipo 3: Estos controles detectan el modo de falla antes de que el producto llegue al cliente

### 5.1.8.2 Detección

La detección es una evaluación de las probabilidades de que los controles del proceso propuestos (mencionados en el punto 5.1.8.1) detecten el modo de falla, antes de que la parte o componente salga de la localidad de manufactura o ensamble.

No es probable que verificaciones de control de calidad al azar detecten la existencia de un defecto aislado y por tanto no resultarán en un cambio notable del grado de detección. Un control de detección válido es el muestreo hecho con bases estadísticas.

<b>Criterios de la evaluación y sistema de graduación sugeridos para la detección de una causa del incidente o del modo de fallo en un diseño AMEF</b>		
Detección	Criterios: Probabilidad de la detección por control del diseño	Fila
Incertidumbre Absoluta	El control del diseño no detecta una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente; o no hay control del diseño	10
Muy Alejado	La probabilidad muy alejada de que el control del diseño detecte una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	9
Alejado	La probabilidad alejada de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	8
Muy Bajo	La probabilidad muy baja el control del diseño detectará una potencial Causa del incidente o del modo de fallo subsecuente	7
Bajo	La probabilidad baja el control del diseño detectará una potencial Causa del incidente o del modo de fallo subsecuente	6
Moderado	La probabilidad moderada de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	5
Moderadamente Alto	La probabilidad moderado alta de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	4
Alto	La alta probabilidad de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	3
Muy Alto	La probabilidad muy alta de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	2
Casi Seguro	El control del diseño detectará casi ciertamente una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	1

Tabla 5.7 Criterios de evaluación para la detección de una causa del incidente o del modo de fallo en un diseño AMEF

<b>Criterios de la evaluación y sistema de graduación sugeridos para la detección de una causa del incidente o del modo de fallo en un proceso AMEF</b>		
Detección	Criterios: Probabilidad de la detección por control de proceso	Fila
Casi Imposible	Ninguno de los controles disponibles detectará el incidente, modo o causa	10
Muy Alejado	Los controles actuales tienen una probabilidad muy alejada de detectar modo o causa de fallo	9
Alejado	Los controles actuales tienen una probabilidad alejada de detectar modo o causa de fallo	8
Muy Bajo	Los controles actuales tienen una probabilidad muy baja de detectar modo o causa de fallo	7
Bajo	Los controles actuales tienen una probabilidad baja de detectar Modo o causa de fallo	6
Moderado	Los controles actuales tienen una probabilidad moderada de detectar modo o causa de fallo	5
Moderadamente Alto	Los controles actuales tienen una probabilidad moderadamente alta de detectar modo o causa de fallo	4
Alto	Los controles actuales tienen una alta probabilidad de detectar modo o causa de fallo	3
Muy Alto	Los controles actuales tienen una probabilidad muy alta de detectar modo o causa de fallo	2
Casi Seguro	Controles actuales detectan casi seguro al modo o a la causa de fallo. Los controles confiables de la detección se saben con procesos similares.	1

Tabla 5.8 Criterios de evaluación para la detección de una causa del incidente o del modo de fallo en un proceso AMEF

### 5.1.8.3 Número de prioridad de riesgo (NPR)

El número de prioridad de riesgo (NPR) es el producto matemático de la severidad, la ocurrencia y la detección, es decir:

$$\text{NPR} = (\text{S})(\text{O})(\text{D})$$

Este valor se emplea para identificar los riesgos más serios para buscar acciones correctivas.

Cuando los modos de falla han sido ordenados por el NPR, las acciones correctivas deberán dirigirse primero a los problemas y puntos de mayor grado e ítems críticos. La intención de cualquier acción recomendada es reducir los grados de ocurrencia, severidad y/o detección. Si no se recomienda ninguna acción para una causa específica, se debe indicar así.

Un AMEF de proceso tendrá un valor limitado si no cuenta con acciones correctivas y efectivas. Es la responsabilidad de todas las actividades

afectadas el implementar programas de seguimiento efectivos para atender todas las recomendaciones.

## **5.2 CONTROL DE CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO**

El trabajo de mantenimiento difiere del trabajo de producción ya que en su mayor parte es un trabajo no repetitivo y tiene mayor variabilidad. En el caso de trabajos no repetitivos y ocasionales no se pueden recopilar suficientes datos para utilizar eficazmente las herramientas del CEP. En estos casos, es esencial controlar el proceso de mantenimiento mediante el control de sus entradas.

Como se muestra en la figura 5.2 un proceso es una secuencia de pasos (operaciones) que transforma un conjunto de entradas o insumos en un conjunto de salidas o productos; también tiene un mecanismo de retroalimentación. Las principales entradas al proceso de mantenimiento son las siguientes:

1. Procedimientos y normas de mantenimiento.
2. Personal.
3. Materiales y refacciones.
4. Equipo y herramientas.

Estas cuatro entradas son críticas para la calidad del trabajo de mantenimiento. El elemento clave para la calidad del trabajo de mantenimiento es desarrollar normas de calidad para trabajos críticos, no repetitivos. Así, si un trabajo no cumple la norma, se emplea un diagrama de causa y efecto para investigar las causas fundamentales del trabajo que está por debajo de la norma. La figura 5.3 muestra los pasos para controlar y mejorar la calidad del trabajo de mantenimiento. Los pasos de dicha figura son los primeros para identificar la causa de una baja calidad (en términos del cumplimiento de las especificaciones y los estándares de tiempo), y deben ir acompañados de investigaciones adicionales empleando diagramas de causa y efecto para otras entradas a los trabajos de mantenimiento.

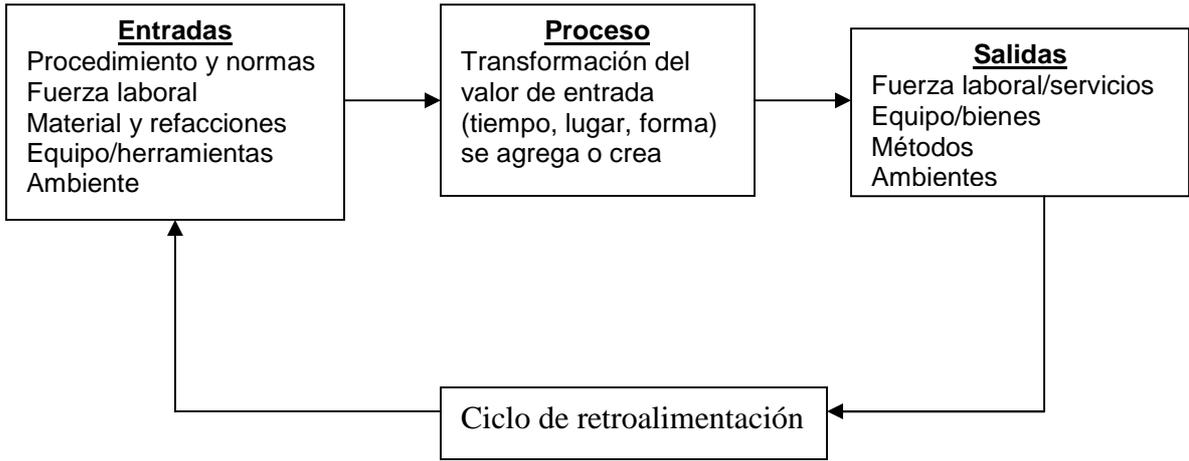


Figura 5.2 Un proceso con ciclo de retroalimentación.

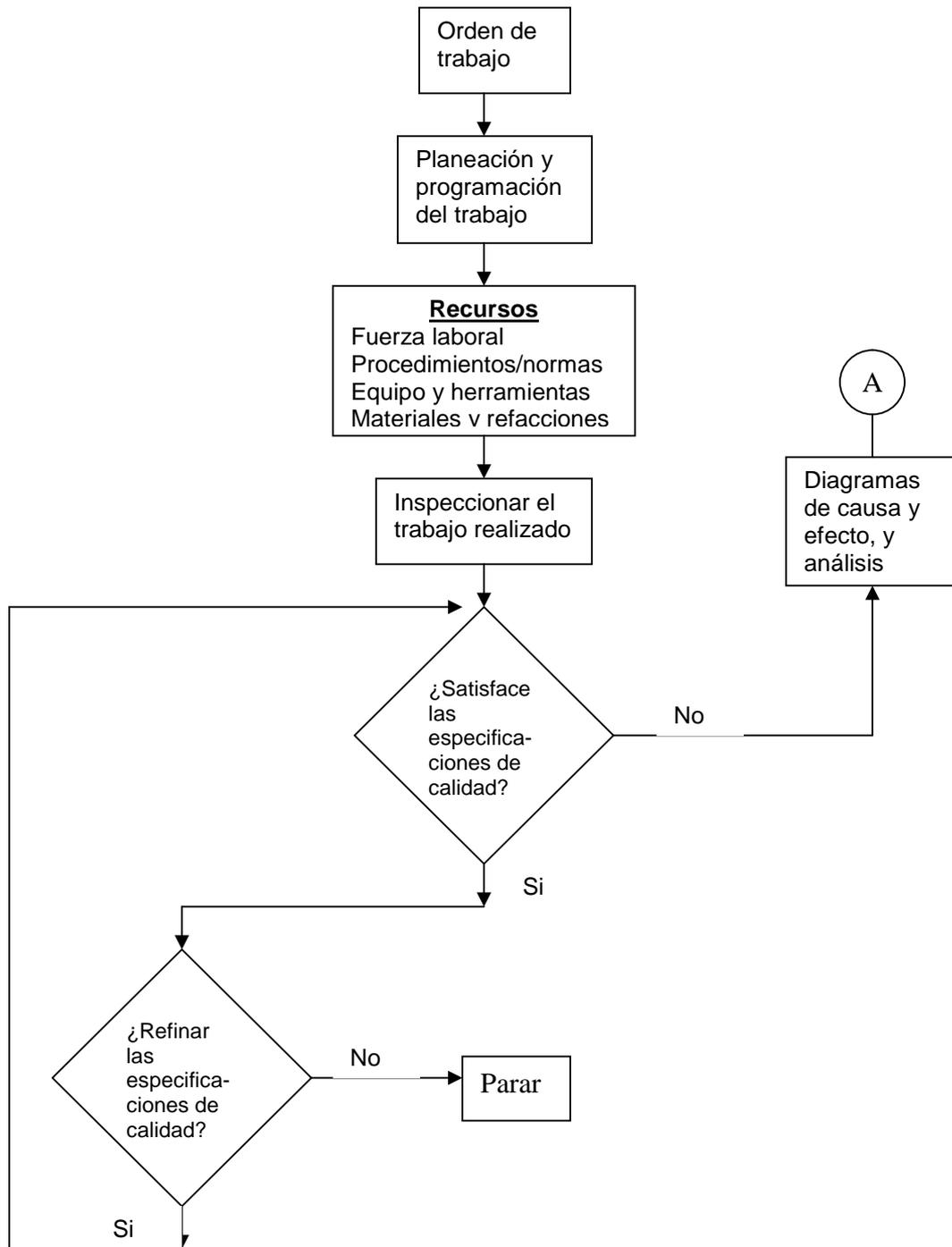


Figura 5.3 Pasos para mejorar y controlar la calidad del trabajo de mantenimiento.

### **5.2.1 Factores relacionados con los procedimientos y las normas**

Los procedimientos y las normas se prescriben para controlar el trabajo y asegurar su uniformidad y calidad. Para asegurar la calidad, las normas deben ser precisas, medibles y reflejar los requerimientos del cliente (se considera la operación como un cliente interno). Un procedimiento deberá ser claro, lógico y estar bien documentado a fin de poder implantarse. Los siguientes son los principales factores que afectan la eficiencia de los procedimientos y normas:

1. Calidad del procedimiento (su habilidad para satisfacer los requerimientos del cliente).
2. Documentación de los procedimientos y las normas.
3. Adecuación de las normas para el ambiente de trabajo.
4. Mecanismo para la mejora de los procedimientos y las normas.

La calidad de un procedimiento se evalúa con base en su capacidad para alcanzar sus objetivos. Los subfactores utilizados para evaluar cualquier procedimiento incluyen: claridad de los objetivos, estructura lógica, claridad del procedimiento, sencillez, facilidad de uso, alcance, especificaciones de responsabilidades, computarización, documentación y mecanismos para mejora continua. Las normas se evalúan probando su adecuación.

### **5.2.2 Factores relacionados con el personal**

El papel del personal es esencial para un mantenimiento de alta calidad. El técnico calificado desempeña una función clave en el mantenimiento. Los siguientes son los factores más importantes que deben vigilarse a fin de mejorar la calidad del trabajo de mantenimiento: tamaño de la fuerza de trabajo, nivel de destrezas, capacitación, motivación, actitud, ambiente de trabajo, y formación y experiencia.

### **5.2.3 Factores relacionados con los materiales**

La disponibilidad de materiales de calidad y en cantidades correctas en el momento correcto contribuye a la calidad del trabajo de mantenimiento. Los factores que afectan la disponibilidad y la calidad del material incluyen normas y especificaciones correctas, políticas para el control de materiales,

presupuesto, políticas y procedimientos de compras y manejo y despliegue de materiales. Estos factores constituyen la base del análisis de causa y efecto para investigar el impacto de los materiales y las refacciones en la calidad del trabajo de mantenimiento.

#### **5.2.4 Factores relacionados con las herramientas y el equipo**

La disponibilidad de equipo y herramientas para realizar mantenimiento de producción puede ser un factor limitante en algunas circunstancias. Por ejemplo, la exactitud de los instrumentos de calibración y precisión podría tener un impacto significativo en la calidad de los trabajos de mantenimiento. Los factores que afectan la disponibilidad del equipo y herramientas correctos incluyen el presupuesto, la prontitud operativa, la capacitación, la compatibilidad y el número disponible. Estos factores podrían constituir una lista inicial para una sesión de lluvia de ideas sobre el impacto de la disponibilidad del equipo y las herramientas en la calidad del trabajo de mantenimiento.

# **CAPITULO VI**

## **CASO PRÁCTICO**

## **6. CASO PRÁCTICO**

### **6.1. PROCESO DE LA FORMACIÓN DE BOTANAS**

#### **6.1.1. Cacahuete tostado (línea de tostados)**

El cacahuete tostado es usado para la formación de cacahuete tipo español, cacahuete salado sin cáscara y cacahuete enchilado sin cáscara. En la figura 6.1 se muestra el esquema del proceso así como los equipos identificados con números de acuerdo a la siguiente descripción.

El cacahuete llega a la planta en costales de forma cruda y con cáscara. Este es vertido en una tolva receptora (1), por medio de un elevador de cangilones (2) es llevado a otra tolva (3) donde se dosifica a un separador de gravedad (4), el cual por medio de vibración y un extractor separa la partícula pesada (cacahuete) de las partículas más ligeras (cáscara), la cual es llevada por medio del extractor a un depósito. El cacahuete cae al elevador de cangilones (5) donde es llevado a la tolva de recepción del horno proctor (6), este horno por medio de gas natural como combustible y ventiladores de circulación hacen que el cacahuete se pueda tostar controlando las variables tiempo y temperatura. Al salir del horno es llevada a una banda reversible de inoxidable (7) donde se puede optar por sacar el cacahuete con cáscara o mandarlo al proceso donde se le quita la cáscara. El cacahuete que se le va a quitar la cáscara es llevado a un elevador de cangilones (8) y posteriormente llega a una banda distribuidora de material (9) cuya función es llenar cuatro tolvas de forma alternada (10). De esas tolvas pasa a un equipo llamado blancher (11) que por medio de la fricción entre dos bandas giratorias desprende la cáscara del cacahuete dejándolo sin cáscara y mandándolo a una banda vulcanizada (12) la cual lleva el cacahuete a otro elevador de cangilones (13) que dirige el cacahuete a una tolva (14) donde se dosifica y se manda a la selectora óptica (15); Esta selectora usa una muestra patrón del cacahuete deseado tomando como variable el color y pasando el cacahuete a través de éste compara la muestra patrón con la tomada y deja pasar únicamente el producto conforme, rechazando todo lo que no entre dentro del rango establecido. Una vez estando el producto conforme es enviado a una banda transportadora (16) la cual lleva el cacahuete a un cernidor (17) cuyo propósito es eliminar todo el polvo de

cacahuete generado en el proceso y dejar el cacahuete limpio. Ahí se termina el proceso de tostado.

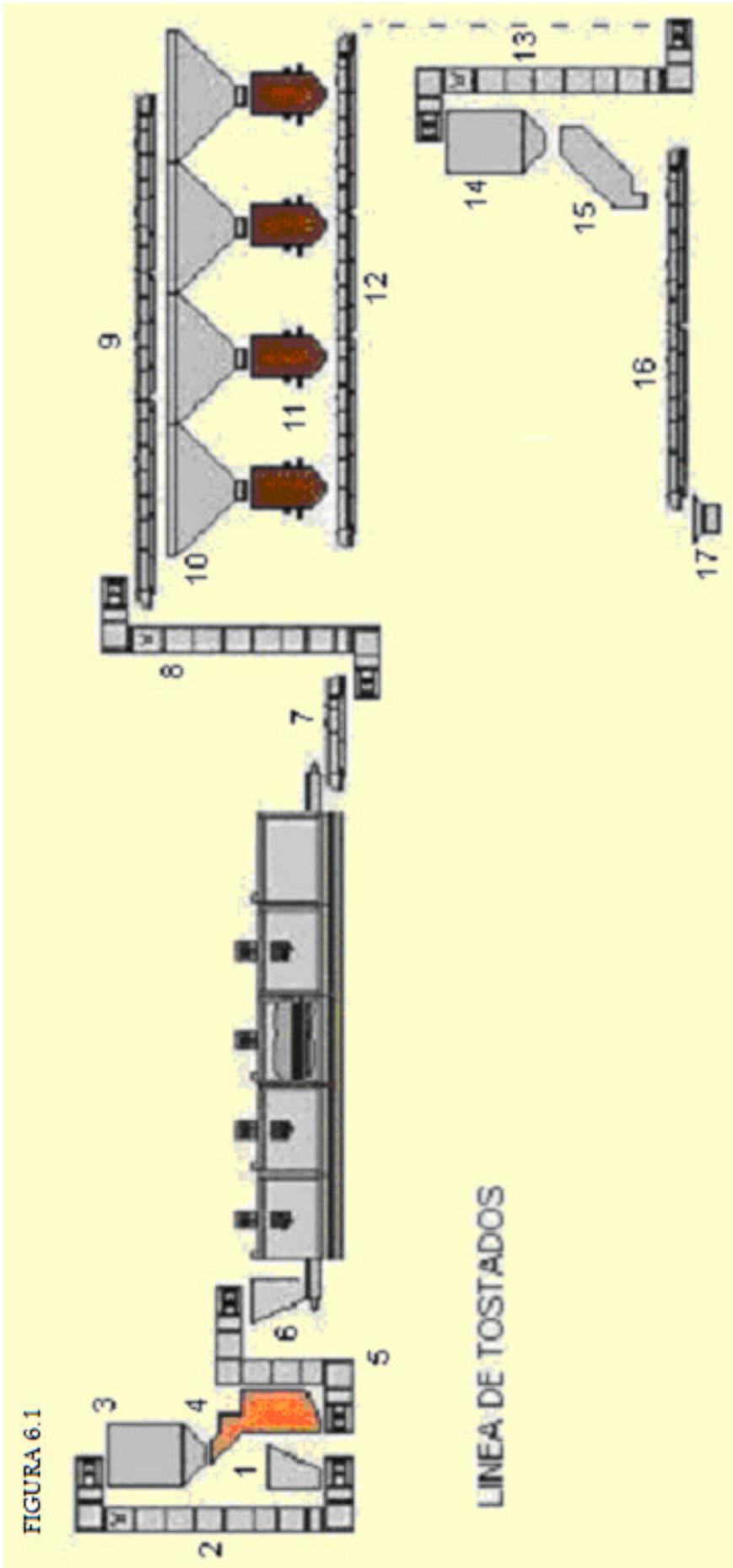


Figura 6.1 Esquema del proceso de tostado del cacahuete

### **6.1.2. Línea de confitados**

El área de confitados sirve para hacer cacahuete tipo japonés, y para agregar sal a las pepitas. En la figura 6.2 se muestra el esquema del proceso así como los equipos identificados con números de acuerdo a la siguiente descripción.

Para agregar sal a las pepitas se hace una mezcla de agua con sal (salmuera) utilizando los agitadores (1) y (2) que se encuentran en estas áreas. Una vez hecha la salmuera se dosifica por medio de tuberías hacia los bombos (3) que son unos recipientes circulares que están girando por medio de una transmisión de cadena, en donde se agregan las pepitas y la salmuera durante un tiempo determinado.

Para hacer el cacahuete tipo japonés se hace una mezcla de harina en el mezclador de listón helicoidal (4), posteriormente se vierte el cacahuete al bombo y se le va agregando la harina preparada hasta que se adhiere perfectamente al cacahuete. Una vez adherida la harina al cacahuete se vierte en una tolva (5) la cual dosifica el producto a un elevador de cangilones (6) el cual lleva el producto a otra tolva (7) en la parte superior donde se va dosificando el producto a un Horno rotatorio de flama directa (8), en el cual se tuesta el cacahuete en un tiempo determinado. Una vez tostado el cacahuete se coloca en el condimentador y enfriador por batch (9) que es una tina con fondo de malla al cual va acoplado un turbo soplador el cual enfría el producto y se agrega condimento en la parte superior el cual se adhiere a las paredes del cacahuete ya tostado. Ahí termina el proceso de confitados.

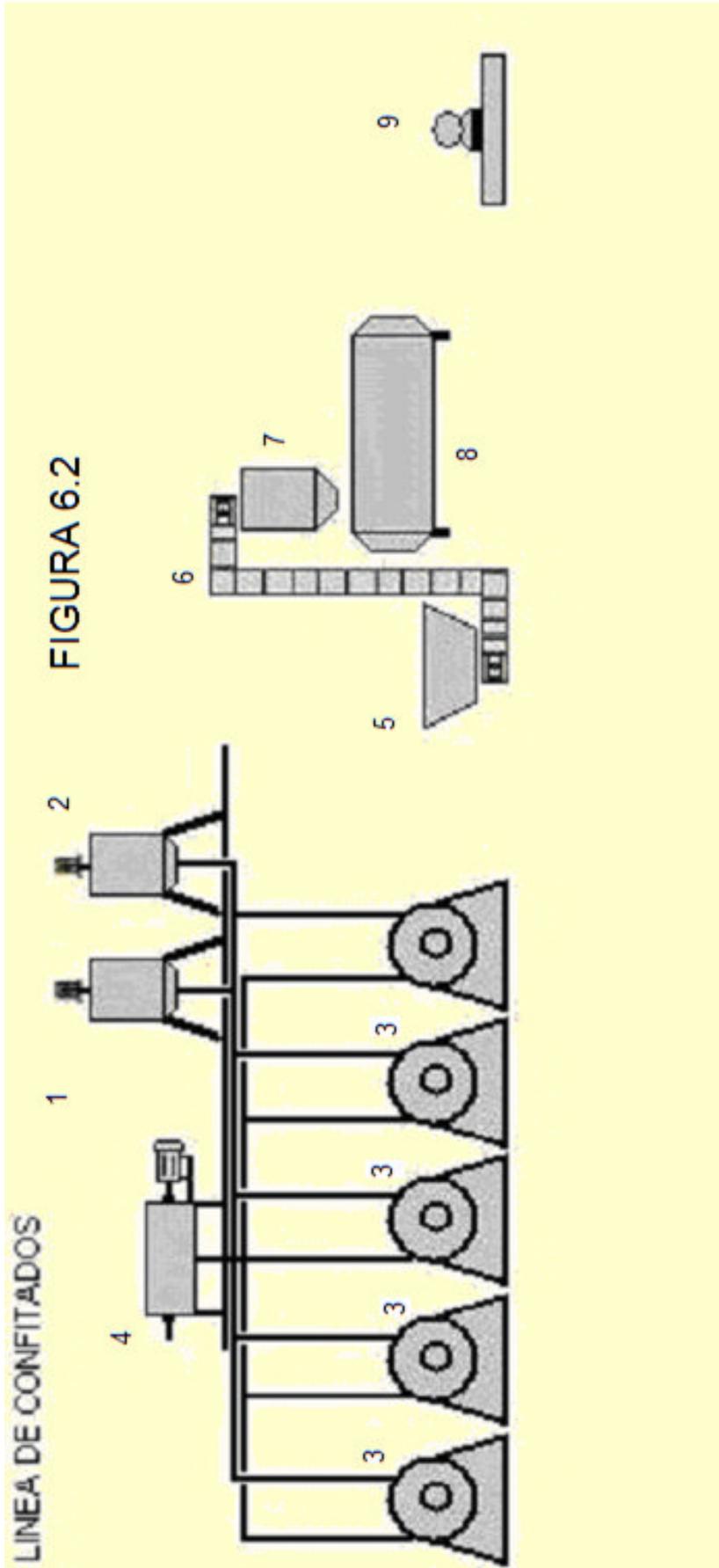


Figura 6.2 Esquema del proceso de confitados

### 6.1.3. Línea de Frituras

El proceso de frituras sirve para hacer cacahuete tipo español, cacahuete frito con sal o enchilado. En la figura 6.3 se muestra el esquema del proceso así como los equipos identificados con números de acuerdo a la siguiente descripción.

El procedimiento es el siguiente. Se vierte el producto en una tolva receptora de material (1), la cual dosifica el producto a un elevador de cangilones (2) que lleva el producto a la tolva (3) que alimenta al freidor continuo (4) en el que el producto viaja en una malla de inoxidable que es sumergida en aceite a una temperatura elevada y posteriormente la malla sale del aceite y empieza un proceso de escurrido dentro del equipo, hasta llegar al condimentador continuo de tambor (5), éste contiene un depósito específico en el que se vierte el condimento a ser utilizado, el cual es dosificado por medio de un sinfín a lo largo de todo el condimentador, este tiene forma de tambor con una inclinación de 20° sobre la horizontal y está girando, pasando el producto a través de él. Al salir del condimentador el producto se encuentra uniforme y perfectamente condimentado, terminando ahí el proceso de condimentación.

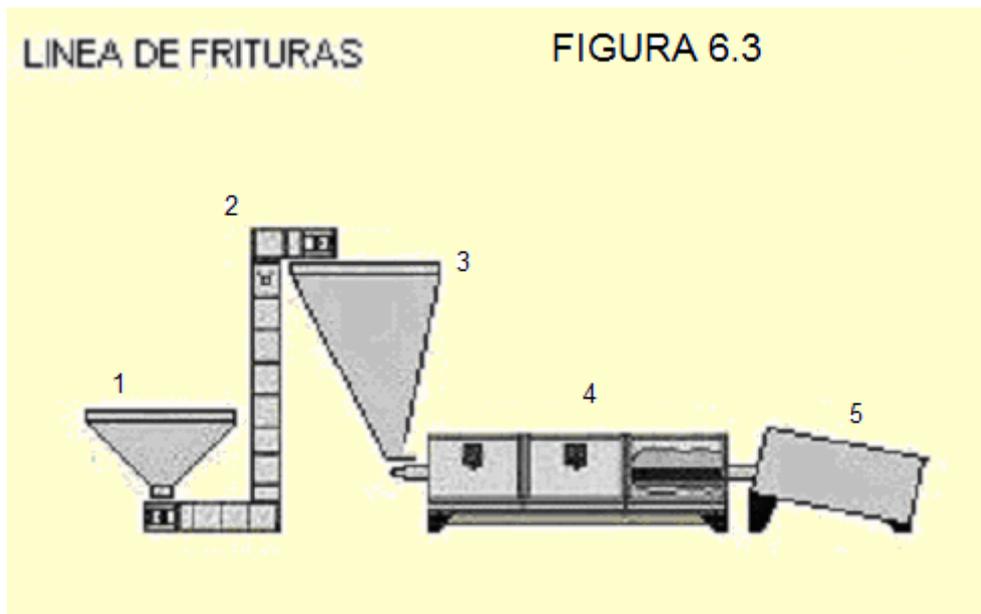


Figura 6.3 Esquema del proceso de frituras

#### 6.1.4. Línea de envasados

En esta línea de producción se envasa todo lo que se acondiciona para botanas, ya sea cacahuete salado, enchilado, japonés, español, pepitas, etc.

En la figura 6.4 se muestra el esquema del proceso así como los equipos identificados con números de acuerdo a la siguiente descripción.

Se vierte el producto en una tolva receptora (1) por medio de la cual se dosifica el producto a un mecanismo giratorio (2) que por método volumétrico toma el producto deseado para introducirlo en el tubo formador (3). En este tubo formador entra la bobina (4) (papel en forma de rollo que se usa para hacer la bolsa) y dentro del tubo va el producto el cual por medio de fotoceldas va cortando el papel a la medida e introduciendo nitrógeno en forma de gas para desplazar el aire de la bolsa y retrazar la descomposición del producto. Una vez formada la bolsa es prensada por medio de unas mordazas calientes (5) que sellan la bolsa, posteriormente entra una cuchilla que corta la bolsa y la deposita en una banda transportadora (6) que la lleva a una mesa de acumulación (7) donde se dispone al ordenamiento del producto envasado de forma manual.

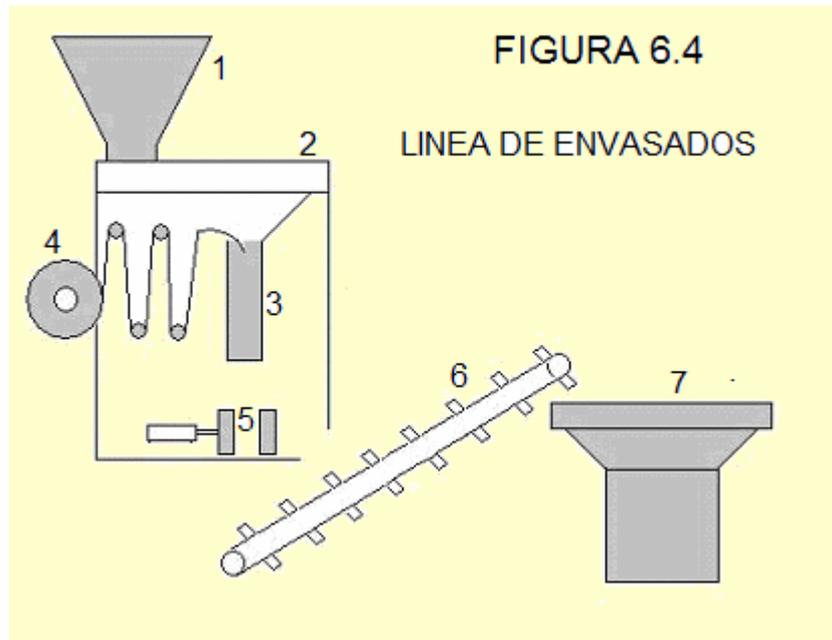


Figura 6.4 Esquema del proceso envasados

## **6.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En la empresa BIMBO, en el área de botanas de cacahuates y pepitas no se contaba con un programa de mantenimiento preventivo, por lo cual únicamente se dedicaban al mantenimiento correctivo sufriendo por este motivo un excesivo número de paros, provocando pérdidas importantes en cuanto a producción.

Por este motivo se decidió hacer un análisis profundo para determinar las fallas y los costos en que se incurrían y así poder realizar un programa de mantenimiento preventivo y demostrar que es una inversión y no un gasto este tipo de mantenimientos haciendo un estudio costo-beneficio.

## **6.3. ANÁLISIS DEL PROBLEMA**

Durante ocho meses se estuvo recolectando datos sobre la maquinaria, los tipos de fallas que tenía, la causa, solución y el tiempo muerto debido a dicha falla, obteniéndose lo siguiente:

Primero se realizó la identificación por línea de producción de cada uno de los equipos quedando como se muestra en las tablas 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4.

## LÍNEA DE TOSTADOS

Equipo	Clave
Tolva a EL-01	TV-01
Elevador a tolva 2	EL-01
Tolva SG-01	TV-02
Separador de gravedad	SG-01
Elevador a TV-03	EL-02
Tolva del Horno Proctor	TV-03
Horno Proctor	HR-01
Banda reversible de inoxidable	BD-01
Elevador a Banda distribuidora	EL-03
Banda Distribuidora	BD-02
Tolva a Blancher 1	TV-04
Tolva a Blancher 2	TV-05
Tolva a Blancher 3	TV-06
Tolva a Blancher 4	TV-07
Blancher 1	BL-01
Blancher 2	BL-02
Blancher 3	BL-03
Blancher 4	BL-04
Colector de polvos 1	CP-01
Colector de polvos 2	CP-02
Banda Transportadora a EL-04	BD-03
Elevador a Tolva de seleccionadora	EL-04
Tolva a Seleccionadora	TV-08
Seleccionadora óptica	SE-01
Banda Transportadora a cernidor	BD-04
Cernidora	CR-01

Tabla 6.1 Equipos con su clave correspondiente a la línea de tostados

## LÍNEA DE CONFITADOS

<b>Equipo</b>	<b>Clave</b>
Bombo 1	BB-01
Bombo 2	BB-02
Bombo 3	BB-03
Bombo 4	BB-04
Bombo 5	BB-05
Bombo 6	BB-06
Bombo 7	BB-07
Bombo 8	BB-08
Mezclador de listón helicoidal	MZ-02
Tanque de agitación	TQ-02
Tanque de agitación con chaqueta	TQ-03
Elevador de cangilones a HR-03	EL-08
Horno rotatorio de flama directa	HR-03
Condimentador por batch	CD-02
Enfriador por batch	EF-02

Tabla 6.2 Equipos con su clave correspondientes a la línea de confitados

## LÍNEA DE ENVASADOS

Equipo	Clave
Envasadora 1	EP-01
Banda transportadora de EP-01	BD-13
Envasadora 2	EP-02
Banda transportadora de EP-02	BD-14
Envasadora 3	EP-03
Banda transportadora de EP-03	BD-15
Envasadora 4	EP-04
Banda transportadora de EP-04	BD-16
Envasadora 5	EP-05
Banda transportadora de EP-05	BD-17
Envasadora 6	EP-06
Banda transportadora de EP-06	BD-18
Envasadora 7	EP-07
Banda transportadora de EP-07	BD-19
Envasadora 8	EP-08
Banda transportadora de EP-08	BD-20
Envasadora 9	EP-09
Banda transportadora de EP-09	BD-21
Selladora de cajas	SC-01

Tabla 6.3 Equipos con su clave correspondientes a la línea de envasados

## LÍNEA DE FRITURAS

Equipo	Clave
Tolva de recepción de cacahuate	TV-1 5
Elevador de cangilones a TV-16	EL-06
Tolva de alimentación a FR-01	TV-16
Alimentador de vibración a FR-01	AL-03
Freidora continua	FR-01
Enfriador continuo de túnel	EF-01
Condimentador continuo de tambor	CD-01

Tabla 6.4 Equipos con su clave correspondientes a la línea de frituras

Posteriormente se realizó la recopilación de los datos correspondientes a las fallas, clasificándolos por equipos, el problema encontrado, la frecuencia de las fallas y el tiempo muerto por este motivo durante ocho meses.

A continuación se hace el desarrollo y la metodología para analizar una máquina. En este caso es una envasadora.

EQUIPO	CLAVE	FALLA	RECURRENCIA								TIEMPO MUERTO HRS							
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Envasadora 1	EP-01	No coloca fecha de caducidad	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1.5	1	1	1.5	2	1
		No realiza el pliegue de la bolsa	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
		No sella el lomo de la bolsa	3	2	2	3	2	2	3	2	2	1	1	2	1	1	2	1
		Realizando chueco el corte de la bobina	2	4	2	3	3	4	2	1	3.5	3	1	4	1.5	2	4	1
		No realiza el corte de la bobina	4	3	2	3	3	2	3	2	4	1.5	1	3	1.5	1	3	1
		Sellado horizontal mal realizado	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
		Haciendo mal el corte del punch	2	1	0	1	2	0	1	0	1	0.5	0	0.5	1	0	0.5	0

Tabla 6.5 Datos obtenidos durante ocho meses de las fallas, recurrencias y tiempo muerto de la máquina

Envasadora

Una vez que se hizo el muestreo de las fallas y del tiempo muerto por equipo por mantenimiento correctivo durante ocho meses se realiza un análisis ABC o grafica de Pareto. Primero se realizara el caso de una envasadora analizando por la frecuencia de las fallas.

EQUIPO	ENVASADORA			
TIPO DE ERROR	N° DE ERRORES	N° DE ERRORES ACUMULADOS	% DEL TOTAL	% ACUMULADO DEL TOTAL
No realiza el corte de la bobina	18	18	25	25
Realiza chueco el corte de bobina	17	35	23	48
No sella lomo de de bolsa	16	51	22	70
No coloca fechador	8	59	11	81
Haciendo mal corte de punch	7	66	10	90
Se atora carro por bujes en mal estado	3	69	4	95
Maquina fuera de tiempo	2	71	3	97
Empaque de fechador en mal estado	2	73	3	100
TOTAL	73	73	100	

Tabla 6.6 Datos de las frecuencias de errores de una envasadora mostrados en la tabla de pareto

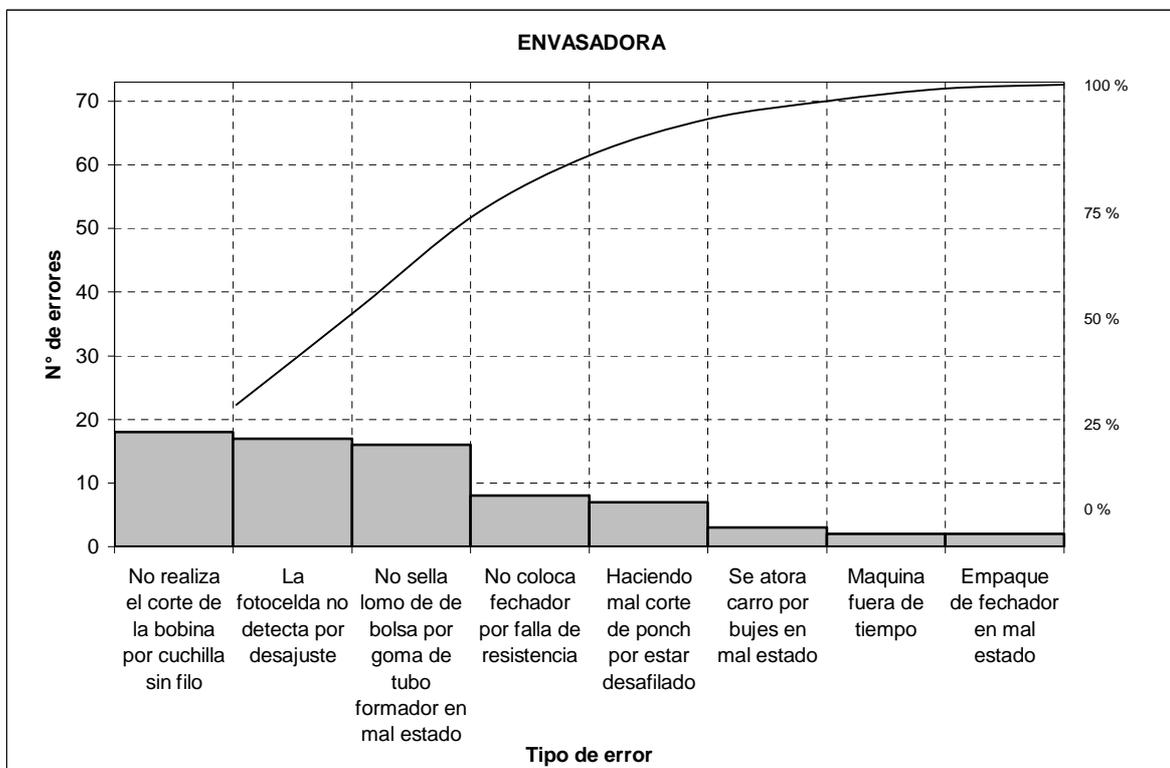


Figura 6.5 Diagrama de Pareto de una Envasadora

En este análisis ABC realizado de la envasadora se puede ver claramente que las fallas críticas por número de frecuencias son las tres primeras:

- No realiza el corte de la bobina
- Realiza chueco el corte de la bobina
- No sella lomo de bolsa

Ahora analizamos la misma envasadora pero tomando en cuenta el tiempo muerto.

EQUIPO	ENVASADORA			
TIPO DE ERROR	Nº DE ERRORES	Nº DE ERRORES ACUMULADOS	% DEL TOTAL	% ACUMULADO DEL TOTAL
Realizando chueco el corte de la bobina	20	20	31	31
No realiza el corte de la bobina	16	36	25	55
No sella el lomo de la bolsa	11	47	17	72
No coloca fecha de caducidad	11	58	17	89
Haciendo mal el corte del punch	3.5	61.5	5	95
Sellado horizontal mal realizado	3	64.5	5	99
No realiza el pliegue de la bolsa	0.5	65	1	100
TOTAL	65	65	100	

Tabla 6.7 Datos del tiempo muerto mostrados en la tabla de pareto

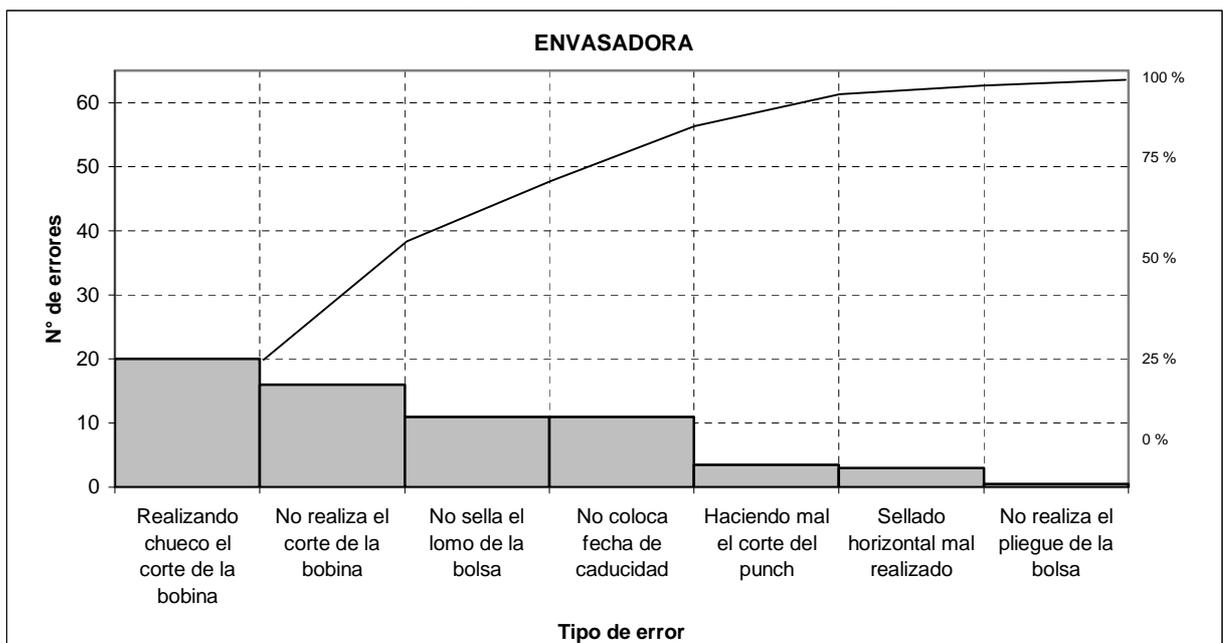


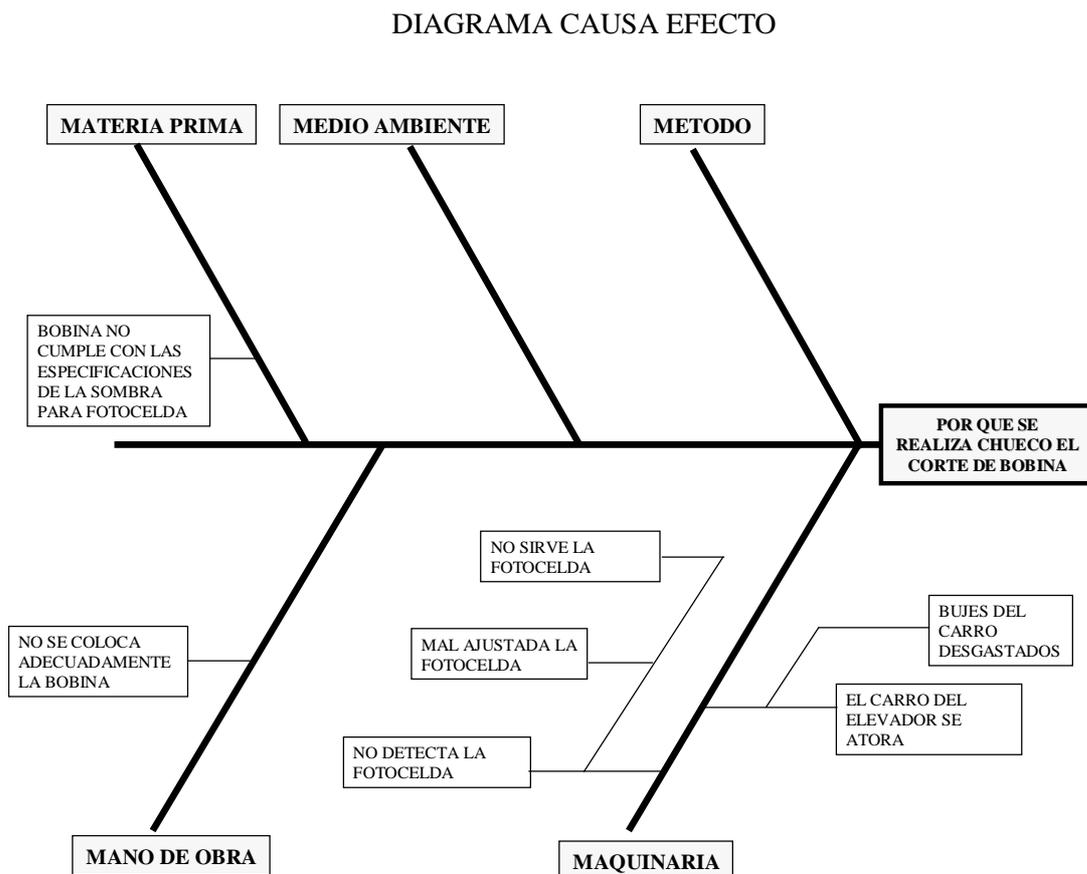
Figura 6.6 Diagrama de Pareto de una Envasadora

En este análisis ABC realizado de la envasadora se puede ver claramente que las fallas críticas por horas de tiempo muerto son las tres primeras:

- Realiza chueco el corte de la bobina.
- No realiza el corte de la bobina.
- No sella lomo de bolsa

En este caso se obtuvieron las mismas fallas críticas analizando el equipo por frecuencia y por horas de tiempo muerto.

Una vez que se han determinado las fallas críticas se procede a hacer un análisis de causa y efecto para determinar porque motivo son las fallas.



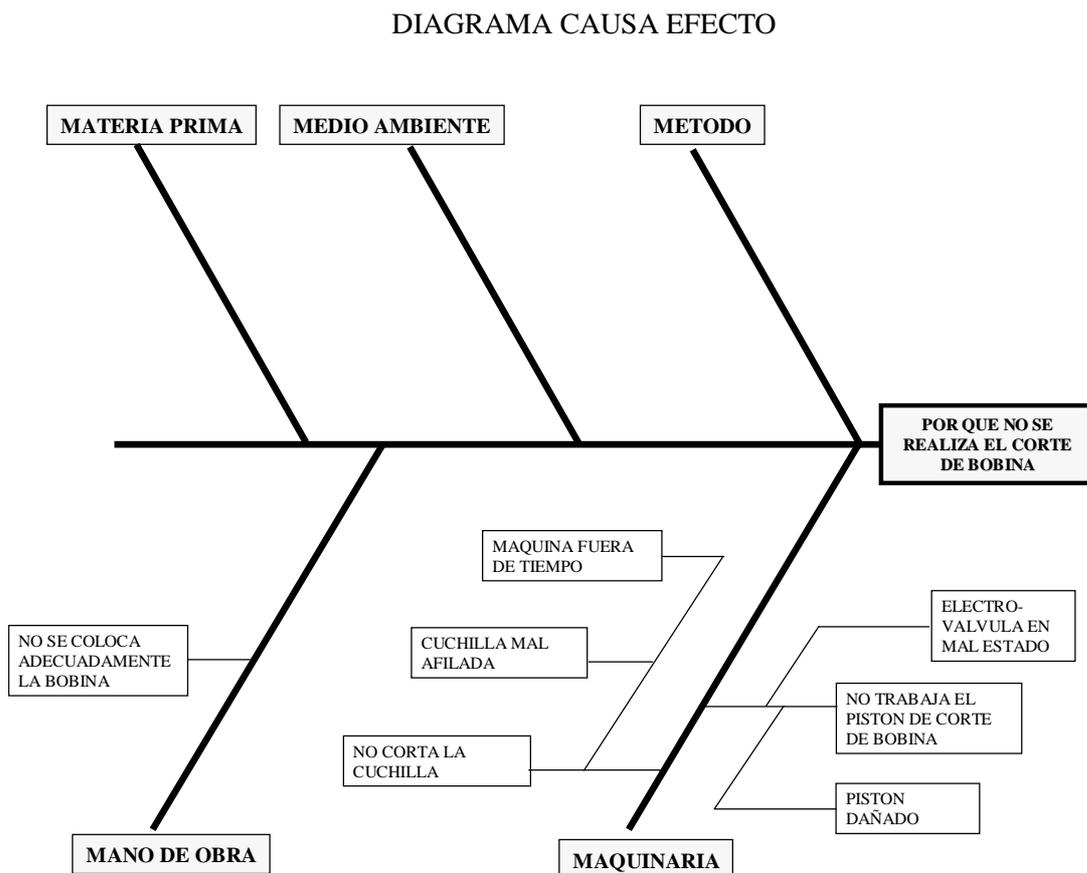
FII-04

Figura 6.7 Diagrama de Causa y efecto de la falla “corte chueco de la bobina de una envasadora.

Una vez teniendo el análisis de causa y efecto para la falla en el que se realiza chueco el corte de la bobina, obtenemos las siguientes causas.

- No sirve la fotocelda
- Esta mal ajustada la fotocelda
- Se atora carro de elevador
- Los bujes del carro están desgastados

Ahora se va a hacer el diagrama de causa y efecto para la falla en la que no se realiza el corte de la bobina, ya que es necesario hacer un diagrama causa y efecto para cada unas de las fallas críticas encontradas en el pareto y así determinar las causas fundamentales de las fallas y poder corregirlas



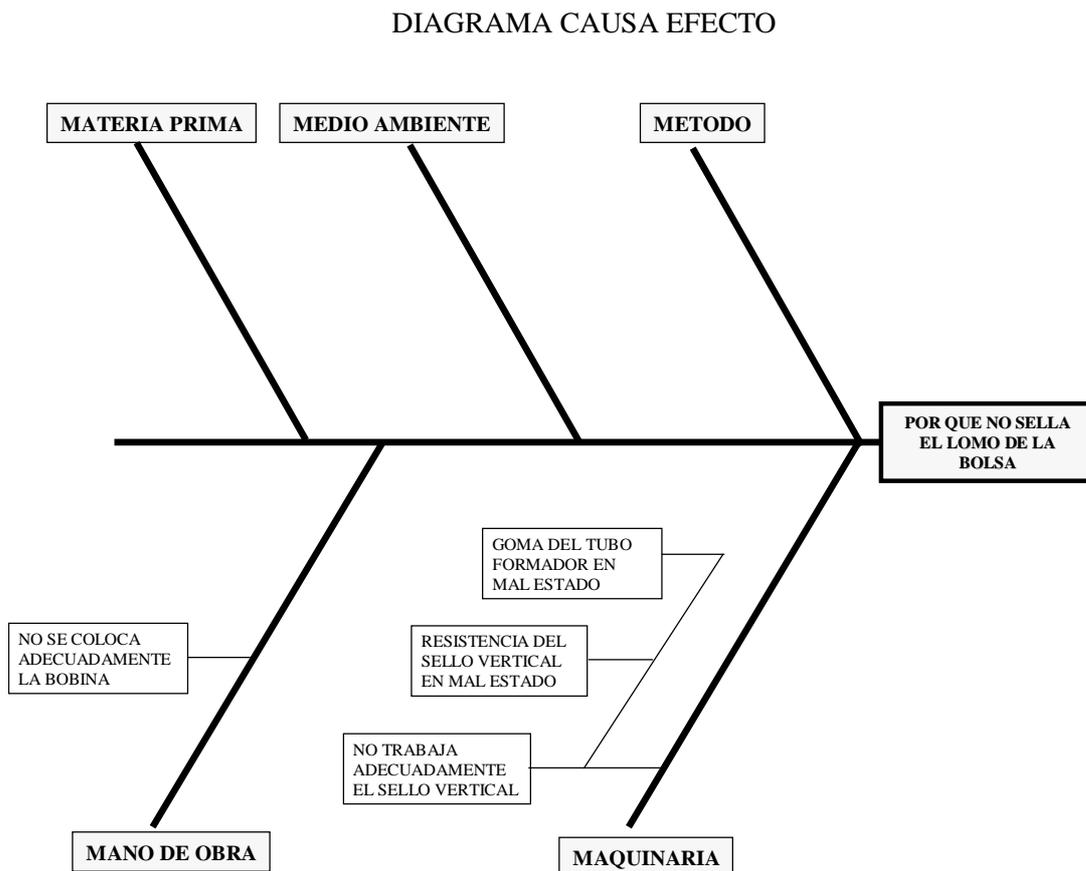
FII-04

Figura 6.8 Diagrama de Causa y efecto de la falla “no realiza el corte de la bobina de una envasadora.

Una vez teniendo el análisis de causa y efecto para la falla en el que no se realiza el corte de la bobina, obtenemos las siguientes causas.

- Cuchilla sin afilar.
- No trabaja pistón por falla de electro-válvula.
- No trabaja pistón por falla en pistón.
- Maquina fuera de tiempo.

Ahora se va a hacer el diagrama de causa y efecto para la falla en la que no sella el lomo de la bolsa.



FII-04

Figura 6.9 Diagrama de Causa y efecto de la falla “no sella el lomo de la bolsa de una envasadora.

Una vez teniendo el análisis de causa y efecto para la falla en el que no sella el lomo de la bolsa, obtenemos las siguientes causas.

- Resistencia de sello vertical en mal estado
- Goma del tubo formador en mal estado.

Ahora que sabemos cuáles son las fallas críticas de este equipo, y también sabemos cual es el motivo de estas fallas, ahora se procede a revisar en el muestreo la frecuencia de las fallas para determinar los periodos en los que se va a realizar la revisión de los puntos encontrados en los diagramas de causa y efecto. Se realiza la grafica de las fallas contra tiempo para poder determinar la frecuencia de los servicios y así poder diseñar un programa de mantenimiento preventivo para este equipo.

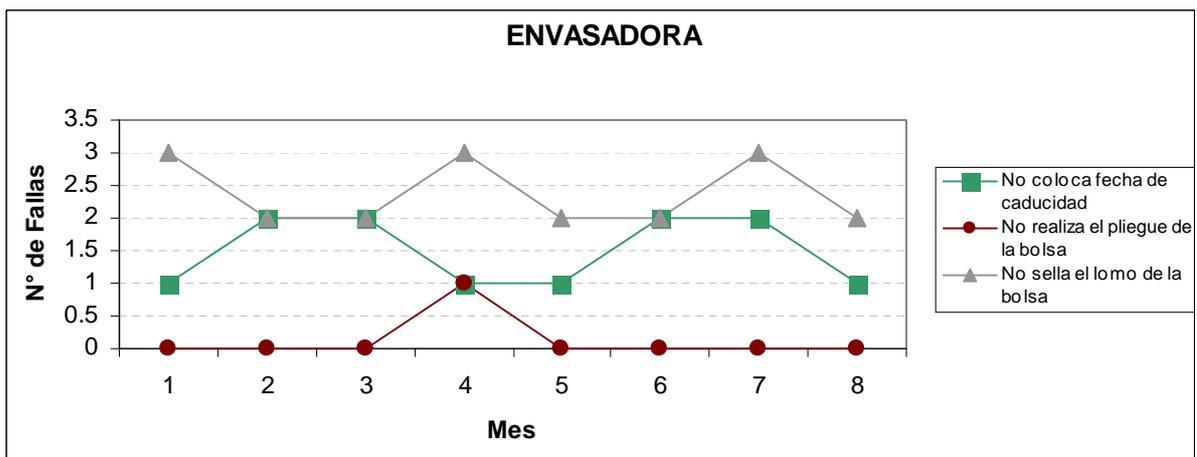


Figura 6.10 Gráfica del número de fallas contra meses del equipo Envasadora

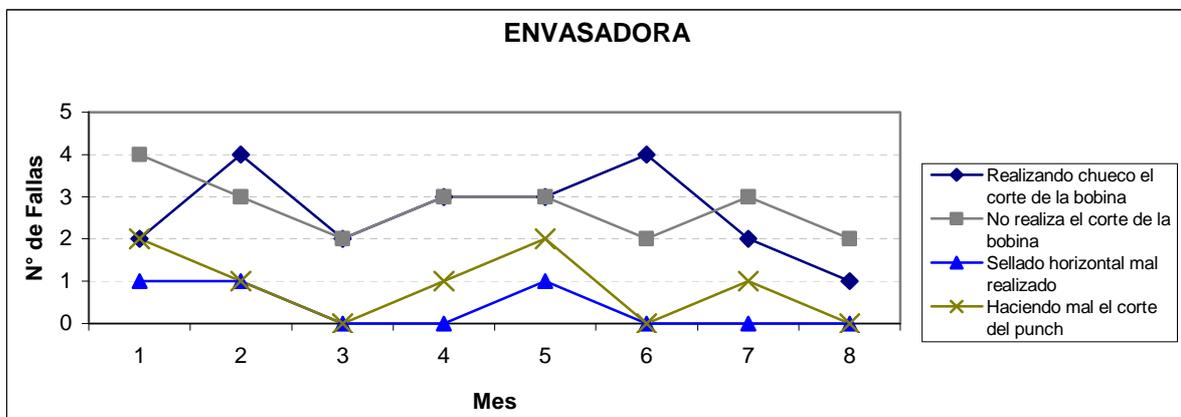


Figura 6.11 Gráfica del número de fallas contra meses del equipo Envasadora

En este caso se realizaron dos gráficas ya que este equipo contiene muchos conceptos de fallas lo que hace muy difícil la visualización en una sola gráfica.

Observando estas gráficas se pueden determinar las frecuencias para los servicios a realizar en un programa de mantenimiento preventivo. En la tabla 6.8 se muestra la frecuencia de las actividades a realizar, así como el tiempo de ejecución y el personal a asignar.

EQUIPO	CLAVE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	TIEMPO DE EJECUCION	PERSONAL
Envasadora 1	EP-01	Cambio de resistencia de fecha de caducidad	1 MES	30 MIN	electricista
		Cambio de empaque de teflon de fecha de caducidad	3 MESES	10 MIN	mec 3a
		Mantenimiento a electrovalvula de fecha de caducidad	1 AÑO	30 MIN	mec 1a
		Mantenimiento a piston de fecha de caducidad	1 AÑO	1 HR	mec 1a
		Cambio de resistencia de sello vertical	3 MESES	30 MIN	electricista
		Cambio de goma de tubo formador	1 MES	10 MIN	mec 3a
		Cambio de fotocelda	1 AÑO	30 MIN	electricista
		Cambio de bujes de carro	3 MESES	2 HRS	mec 1a y 2a
		Cambio de cuchilla	1 MES	10 MIN	mec 2a
		Mantenimiento a electrovalvula de cuchilla	1 AÑO	30 MIN	mec 1a
		Mantenimiento a piston de cuchilla	1 AÑO	1 HR	mec 1a
		Cambio de mordazas	1 AÑO	1 HR	mec 2a
		Mantenimiento a electrovalvulas de mordazas	1 AÑO	1 HR	mec 1a
		Mantenimiento a pistones de mordazas	1 AÑO	2 HRS	mec 1a
		Cambio de punch	1 MES	10 MIN	mec 3a
		Revision de motor de transmision	1 AÑO	1 HR	electricista
Revision de reductor	1 AÑO	1 HR	mec 1a		

Tabla 6.8 Frecuencias, tiempo de ejecución y personal para las actividades a realizar del equipo Envasadora

Una vez teniendo estos datos obtenidos en la tabla 6.8 se procede a distribuir las actividades a realizar de acuerdo a la frecuencia establecida en una tabla que contenga los meses del año. Quedando como se muestra en la siguiente tabla.

EQUIPO	CLAVE	ACTIVIDAD	MESES											
			E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Envasadora 1	EP-01	Cambio de resistencia de fecha de caducidad												
		Cambio de empaque de teflon de fecha de caducidad												
		Mantenimiento a electroválvula de fecha de caducidad												
		Mantenimiento a piston de fecha de caducidad												
		Cambio de resistencia de sello vertical												
		Cambio de goma de tubo formador												
		Cambio de fotocelda												
		Cambio de bujes de carro												
		Cambio de cuchilla												
		Mantenimiento a electroválvula de cuchilla												
		Mantenimiento a piston de cuchilla												
		Cambio de mordazas												
		Mantenimiento a electroválvulas de mordazas												
		Mantenimiento a pistones de mordazas												

Tabla 6.9 Distribución de las actividades de mantenimiento de una envasadora conforme a las frecuencias establecidas.

Al establecer las actividades durante el año es necesario tomar en cuenta el personal con el que se cuenta, así como las actividades programadas para otros equipos para que no se encimen las actividades o que el tiempo de ejecución entre actividades supere el número de horas – hombre que se tienen disponibles por día.

Una vez que se tiene la tabla 6.9 se distribuyen las actividades por semana, y este quedaría como el programa de mantenimiento anual.

Este es el procedimiento paso a paso para determinar el programa de mantenimiento preventivo. Todos estos pasos se tienen que realizar para cada uno de los equipos. En este caso, debido a la cantidad de equipos que se tienen se omiten los primeros pasos analizando únicamente las gráficas del número de fallas contra los meses por equipo, pero en todos los casos se llegó al resultado mediante el mismo método mostrado.

En las tablas 6.10, 6.11, 6.12 y 6.13 se muestra la recopilación de datos de todos los equipos.

TOSTADOS																											
EQUIPO	CLAVE	PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN	RECURRENCIA POR MESES								TOTAL	TIEMPO MUERTO POR MES								TOTAL HRS	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA	COSTO TOTAL DE MANTTO POR EQUIPO			
					1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8						
Tolva a EL-01	TV-01	Tolva rota de las uniones	Provocado por el peso del cacahuate	Soldar uniones con argón	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	2	4	\$125.00	\$125.00	
Elevador a tolva 2	EL-01	Cangilones atorados y rotos Cadena safada Atarón en cadena Caída y ruptura de cangilones	Volteador de cangilones en mal estado Perno salido provocando que se safara cadena Provocado por perno salido Cadena abierta provocando la caída de cangilones	Cambio de cangilones Colocar perno en su lugar y soldarlo Colocar perno en su lugar y soldarlo Alinear cadena	2	2	2	2	2	2	2	2	16	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	32	\$1,000.00	\$3,000.00	
Tolva SG-01	TV-02	Tolva rota de las uniones Falla en la compuerta neumática	Provocado por el peso del cacahuate Electrovalvula en mal estado	Soldar uniones con argón Cambio de electrovalvula	1	0	0	1	0	0	1	0	3	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	3	\$93.75	\$156.25	
Separador de gravedad Elevador a TV-03	SG-01 EL-02	Manta protectora rota Cangilones atorados y rotos Cadena safada Atarón en cadena Caída y ruptura de cangilones	Debido al movimiento del separador Volteador de cangilones en mal estado Perno salido provocando que se safara cadena Provocado por perno salido Cadena abierta provocando la caída de cangilones	Cambiar manta Cambio de cangilones Colocar perno en su lugar y soldarlo Colocar perno en su lugar y soldarlo Alinear cadena	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	\$200.00	\$200.00	
Tolva del Horno Proctor HORNO PROCTOR 01 Banda transportadora HR-01 Ventilador de circulación 1 Ventilador de circulación 2 Quemador sección 1 Quemador sección 2 Sistema de control	TV-03 HR-01	Tolva rota de las uniones Banda transportadora HR-01. Malla atorada Ventilador de circulación 1 Desbalanceado Ventilador de circulación 2 Desbalanceado Quemador sección 1 con falla en la ignición. Quemador sección 2 con falla en la ignición. Sistema de control No controla la temperatura	Provocado por el peso del cacahuate Malla rota en la orilla Provocado por la impregnación de cochambre en el ventilador Provocado por la impregnación de cochambre en el ventilador Problemas en la bujía (Chispa) mal calibrada Problemas en la bujía (Chispa) mal calibrada Termpopar dañado	Soldar uniones con argón Se soldó malla y se cabeceo Se corto malla y se cabeceo Se balanceo el ventilador Se balanceo el ventilador Se calibro bujía Se calibro bujía Se cambio termpopar	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	\$62.50	\$62.50	
Banda reversible de inoxidable	BD-01	No trabaja banda Banda atorándose	Motor de transmisión dañada Catarinas en mal estado Eslabones de la banda doblados y en mal estado Brincándose cadena de transmisión	Se cambio motor Se cambiaron catarinas Se cambiaron eslabones dañados Se cambio cadena y alinean catarinas	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	\$62.50	\$132.50	
Elevador a Banda distribuidora	EL-03	Cangilones atorados y rotos Cadena safada Atarón en cadena Caída y ruptura de cangilones	Volteador de cangilones en mal estado Perno salido provocando que se safara cadena Provocado por perno salido Cadena abierta provocando la caída de cangilones	Cambio de cangilones Colocar perno en su lugar y soldarlo Colocar perno en su lugar y soldarlo Alinear cadena	2	2	2	2	2	2	2	16	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	\$400.00	\$1,712.50		
Banda Distribuidora	BD-02	No trabaja banda. No trabaja distribuidor. El distribuidor no detiene en su lugar	Motor de transmisión dañada Banda rota Motor de transmisión dañado Microswitch dañado Barra de contacto con microswitch desgastada	Se cambio motor Se engrapo banda Se cambio motor Se cambio microswitch Se cambio barra de contacto	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	\$31.25	\$165.63	
Tolva a Blancher 1	TV-04	Tolva rota de las uniones	Provocado por el peso del cacahuate	Soldar uniones con argón	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	\$62.50	\$62.50	
Tolva a Blancher 2	TV-05	Tolva rota de las uniones	Provocado por el peso del cacahuate	Soldar uniones con argón	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	\$62.50	\$62.50	
Tolva a Blancher 3	TV-06	Tolva rota de las uniones	Provocado por el peso del cacahuate	Soldar uniones con argón	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	\$62.50	\$62.50	
Tolva a Blancher 4	TV-07	Tolva rota de las uniones	Provocado por el peso del cacahuate	Soldar uniones con argón	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	\$62.50	\$62.50	
Blancher 1	BL-01	Ruido excesivo dentro del equipo Carcaza exterior perforada No quita bien cáscara de cacahuate Se queda la cáscara en la charola No trabajan los rodillos	Chumaceras de rodillos en mal estado Rodillo rozando con carcaza Distancia entre bandas interiores desajustada Bandas interiores desgastadas No trabaja el extractor Motor de transmisión dañado	Cambiar chumaceras Alinear rodillo, soldar carcaza Ajustar distancia entre bandas Cambiar bandas interiores Revisión del extractor Se cambio motor	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	\$125.00	\$743.75
Blancher 2	BL-02	Ruido excesivo dentro del equipo Carcaza exterior perforada No quita bien cáscara de cacahuate Se queda la cáscara en la charola No trabajan los rodillos	Chumaceras de rodillos en mal estado Rodillo rozando con carcaza Distancia entre bandas interiores desajustada Bandas interiores desgastadas No trabaja el extractor Motor de transmisión dañado	Cambiar chumaceras Alinear rodillo, soldar carcaza Ajustar distancia entre bandas Cambiar bandas interiores Revisión del extractor Se cambio motor	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	\$125.00	\$743.75
Blancher 3	BL-03	Ruido excesivo dentro del equipo Carcaza exterior perforada No quita bien cáscara de cacahuate Se queda la cáscara en la charola No trabajan los rodillos	Chumaceras de rodillos en mal estado Rodillo rozando con carcaza Distancia entre bandas interiores desajustada Bandas interiores desgastadas No trabaja el extractor Motor de transmisión dañado	Cambiar chumaceras Alinear rodillo, soldar carcaza Ajustar distancia entre bandas Cambiar bandas interiores Revisión del extractor Se cambio motor	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	\$125.00	\$743.75
Blancher 4	BL-04	Ruido excesivo dentro del equipo Carcaza exterior perforada No quita bien cáscara de cacahuate Se queda la cáscara en la charola No trabajan los rodillos	Chumaceras de rodillos en mal estado Rodillo rozando con carcaza Distancia entre bandas interiores desajustada Bandas interiores desgastadas No trabaja el extractor Motor de transmisión dañado	Cambiar chumaceras Alinear rodillo, soldar carcaza Ajustar distancia entre bandas Cambiar bandas interiores Revisión del extractor Se cambio motor	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	\$125.00	\$743.75
Colector de polvos 1	CP-01	No trabaja colector de polvos	Motor de transmisión dañado Bandas de transmisión rotas Tubería de succión tapada	Se cambio motor Se cambiaron bandas de transmisión Se hizo limpieza a tubería	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	\$31.25	\$216.25	
Colector de polvos 2	CP-02	No trabaja colector de polvos	Motor de transmisión dañado Bandas de transmisión rotas Tubería de succión tapada	Se cambio motor Se cambiaron bandas de transmisión Se hizo limpieza a tubería	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	\$31.25	\$216.25	
Banda Transportadora a EL-04	BD-03	Banda jaloneándose Banda rota No trabaja transportador	transmisión en mal estado Grapas en mal estado Motor de transmisión dañado	Cambio de catarinas y cadena Se engrapo banda Se cambio motor	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	4	\$125.00	\$336.25	
Elevador a Tolva de seleccionadora	EL-04	Cangilones atorados y rotos Cadena safada Atarón en cadena Caída y ruptura de cangilones	Volteador de cangilones en mal estado Perno salido provocando que se safara cadena Provocado por perno salido Cadena abierta provocando la caída de cangilones	Cambio de cangilones Colocar perno en su lugar y soldarlo Colocar perno en su lugar y soldarlo Alinear cadena	2	2	2	2	2	2	2	16	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	\$500.00	\$1,812.50		
Tolva a Seleccionadora Seleccionadora óptica	TV-08 SE-01	Tolva rota de las uniones No selecciona adecuadamente producto	Provocado por el peso del cacahuate Inyectores tapados	Soldar uniones con argón Limpieza de inyectores	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	\$62.50	\$62.50	
Banda Transportadora a cernidora	BD-04	Banda jaloneándose Banda rota No trabaja transportador	transmisión en mal estado Grapas en mal estado Motor de transmisión dañado	Cambio de catarinas y cadena Se engrapo banda Se cambio motor	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	4	\$125.00	\$336.25	
Cernidora	CR-01	Golpeando cernidor Trabaja lentamente cernidor No trabaja cernidor	Bielas desajustadas Biela safada del cuerpo Cigüeñal desgastado Bandas de transmisión patinándose Motor de transmisión dañado	Se ajustaron bielas Se coloco biela en su lugar Cambio de cigüeñal Se cambiaron bandas de transmisión Se cambio motor	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0.5	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	1	\$56.25	\$368.75	

Tabla 6.10 Recopilación de datos de las fallas y tiempo muerto por mantenimiento correctivo de cada uno de los equipos del area de Tostados

CONFITADOS																												
EQUIPO	CLAVE	PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN	RECURRENCIA POR MESES								TOTAL	TIEMPO MUERTO POR MES								TOTAL HRS	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA	COSTO TOTAL DE MANTTO POR EQUIPO				
					1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8							
Bombo 1	BB-01	No gira Se safa cadena	Catarina sin dientes Catarinas mal alineadas	Se cambia catarina Se alinean catarinas	0 0 0 0 1 0 0 0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	\$62.50	\$93.75
Bombo 2	BB-02	No gira Se safa cadena	Catarina sin dientes Catarinas mal alineadas	Se cambia catarina Se alinean catarinas	0 0 1 0 0 0 0 0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	\$62.50	\$93.75
Bombo 3	BB-03	No gira Se safa cadena	Catarina sin dientes Catarinas mal alineadas	Se cambia catarina Se alinean catarinas	0 0 0 0 0 0 0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	\$62.50	\$93.75
Bombo 4	BB-04	No gira Se safa cadena	Catarina sin dientes Catarinas mal alineadas	Se cambia catarina Se alinean catarinas	0 0 0 1 0 0 0 0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	\$62.50	\$93.75
Bombo 5	BB-05	No gira Se safa cadena	Catarina sin dientes Catarinas mal alineadas	Se cambia catarina Se alinean catarinas	0 0 0 0 1 0 0 0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	\$62.50	\$93.75
Bombo 6	BB-06	No gira Se safa cadena	Catarina sin dientes Catarinas mal alineadas	Se cambia catarina Se alinean catarinas	0 0 0 0 0 0 0 1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	\$62.50	\$93.75
Bombo 7	BB-07	No gira Se safa cadena	Catarina sin dientes Catarinas mal alineadas	Se cambia catarina Se alinean catarinas	1 0 0 0 0 0 0 0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	\$62.50	\$93.75
Bombo 8	BB-08	No gira Se safa cadena	Catarina sin dientes Catarinas mal alineadas	Se cambia catarina Se alinean catarinas	0 0 0 0 0 0 0 1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	\$62.50	\$93.75	
Mezclador de listón helicoidal	MZ-02	Fuga de producto Listón helicoidal rozando con interior	Empaque en mal estado Chumaceras en mal estado	Se cambia empaque Se cambiaron chumaceras	0 1 0 0 0 1 0 0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	\$62.50	\$287.50
Tanque de agitación	TQ-02	Se bota motor Flecha del agitador degollada	Buje interior de flecha en mal estado Mala operación del agitador	Se cambia buje Se cambia flecha	1 0 0 1 0 0 1 0	1	0	0	1	0	0	1	0	3	3	6	0	0	6	0	0	6	0	0	18	\$1,012.50	\$2,362.50	
Tanque de agitación con chaqueta	TQ-03	Se bota motor Flecha del agitador degollada	Buje interior de flecha en mal estado Mala operación del agitador	Se cambia buje Se cambia flecha	1 0 0 1 0 0 1 0	1	0	0	1	0	0	1	0	3	3	6	0	0	6	0	0	6	0	0	18	\$1,012.50	\$2,362.50	
Elevador de cangilones a HR-03	EL-08	Cangilones atorados y rotos Cadena safada Atorón en cadena Caída y ruptura de cangilones	Volteador de cangilones en mal estado Perno salido provocando que se safara cadena Provocado por perno salido Cadena abierta provocando la caída de cangilones	Cambio de cangilones Colocar perno en su lugar y soldarlo Colocar perno en su lugar y soldarlo Alinear cadena	2 2 2 2 2 2 2 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	\$500.00	\$1,812.50	
Horno rotatorio de flama directa	HR-03	No enciende horno Se atora rotación del horno Compuerta de descarga atorada	Falla en la chispa Perno de fuera Compuerta en mal estado	Se calibra bujía de chispa Se coloca perno en su lugar y se soldó Se repara compuerta	3 0 4 2 1 0 2 1	3	0	4	2	1	0	2	1	13	13	3	0	4	2	1	0	2	1	1	13	\$406.25	\$756.25	
Condimentador por batch	CD-02	No realiza la función de condimentado No realiza la función de condimentado	Motor no funciona por quemarse Sinfin tapado	Se cambia motor Se destapa sinfin	0 1 0 0 0 0 0 0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	\$31.25	\$251.25	
Enfriador por batch	EF-02	No trabaja el turbosoplador No trabaja eficientemente el turbosopaldor Malla del enfriador en mal estado	Cuña de la polea en mal estado Banda de la polea patinándose Desgaste por uso normal	Se cambia cuña Se tensa banda Se cambia malla	0 0 0 1 0 0 0 0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	\$25.00	\$242.50	
					1 1 0 0 0 0 0 1	1	1	0	0	0	0	0	1	3	3	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5	1.5	\$37.50		
					0 0 1 0 0 0 0 0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4	\$180.00		

Tabla 6.11 Recopilación de datos de las fallas y tiempo muerto por mantenimiento correctivo de cada uno de los equipos del area de Confitados

ENVASADOS																										
EQUIPO	CLAVE	PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN	RECURRENCIA POR MESES								TOTAL	TIEMPO MUERTO POR MES								TOTAL HRS	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA	COSTO TOTAL DE MANTTO POR EQUIPO		
					1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8					
Envasadora 1	EP-01	No coloca fecha de caducidad	No calienta números por falla en resistencia Empaque de teflón en mal estado No trabaja pistón	Se cambia resistencia Se cambia empaque Se cambia electroválvula Se cambia pistón	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	8	\$250.00	\$2,091.25	
					0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	1	1	1		\$25.00
					0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0		\$31.25
		No realiza el pliegue de la bolsa No sella el lomo de la bolsa	Tubo formador desalineado Resistencia de sello vertical en mal estado Goma del tubo formador en mal estado	Se alinea tubo formador Se cambia resistencia Se cambia goma del tubo formador	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1		\$25.00
					0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0		\$10.00
					1	0	0	1	0	0	1	0	3	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	3		\$93.75
		Realizando hueco el corte de la bobina	No detecta fotocelda	Se ajusta fotocelda Se cambia fotocelda	2	2	2	2	2	2	2	2	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8		\$200.00
					1	3	2	2	3	4	1	1	17	0.5	1.5	1	1	1.5	2	1	1	1	1	9.5		\$296.88
					0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5		\$46.88
		No realiza el corte de la bobina	Bujes del carro en mal estado Cuchilla sin afilar No trabaja pistón	Se cambian bujes Se cambia cuchilla Se cambia electroválvula Se cambia pistón	1	0	0	1	0	0	1	0	3	3	0	0	3	0	0	3	0	3	0	9		\$506.25
					2	3	2	2	3	2	2	2	18	1	1.5	1	1	1.5	1	1	1	1	1	9		\$225.00
					0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2		\$62.50
		Sellado horizontal mal realizado	Agarrando producto por máquina fuera de tiempo Mordazas en mal estado Pistones no trabajan adecuadamente	Se pone a tiempo maquina Se cambian mordazas Se cambia electroválvula Se cambia pistón	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4		\$125.00
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		\$25.00
0	1				0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	\$31.25			
Haciendo mal el corte del punch	Punch mal afilado	Se coloca punch afilado	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	\$25.00			
			2	1	0	1	2	0	1	0	7	1	0.5	0	0.5	1	0	0.5	0	0	0.5	3.5	\$87.50			
			1	0	0	1	0	0	1	0	3	2	0	0	2	0	0	2	0	2	0	6	\$150.00			
Banda transportadora de EP-01	BD-13	Se atora banda Se rompe banda No trabaja banda	Empujadores en mal estado Atorón de la banda Motoreductor en mal estado Banda mal tensada	Se repara empujadores Se engrapa banda y se repara lugar donde Se cambia motoreductor Se tensa banda	0	0	0	1	0	0	1	0	3	2	0	0	2	0	0	2	0	2	6	\$150.00	\$400.00	
					0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	\$62.50		
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		\$62.50
					2	1	4	1	0	0	1	1	10	1	0.5	2	0.5	0	0	0.5	0.5	0	0.5	5		\$125.00
Envasadora 2	EP-02	No coloca fecha de caducidad	No calienta números por falla en resistencia Empaque de teflón en mal estado No trabaja pistón	Se cambia resistencia Se cambia empaque Se cambia electroválvula Se cambia pistón	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	\$250.00	\$2,091.25	
					0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	1	1	1		\$25.00
					0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0		\$31.25
		No realiza el pliegue de la bolsa No sella el lomo de la bolsa	Tubo formador desalineado Resistencia de sello vertical en mal estado Goma del tubo formador en mal estado	Se alinea tubo formador Se cambia resistencia Se cambia goma del tubo formador	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1		\$25.00
					0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5		\$10.00
					1	0	0	1	0	0	1	0	3	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	3		\$93.75
		Realizando hueco el corte de la bobina	No detecta fotocelda	Se ajusta fotocelda Se cambia fotocelda	2	2	2	2	2	2	2	2	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8		\$200.00
					1	3	2	2	3	4	1	1	17	0.5	1.5	1	1	1.5	2	1	1	1	1	9.5		\$296.88
					0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5		\$46.88
		No realiza el corte de la bobina	Bujes del carro en mal estado Cuchilla sin afilar No trabaja pistón	Se cambian bujes Se cambia cuchilla Se cambia electroválvula Se cambia pistón	1	0	0	1	0	0	1	0	3	3	0	0	3	0	0	3	0	3	0	9		\$506.25
					2	3	2	2	3	2	2	2	18	1	1.5	1	1	1.5	1	1	1	1	1	9		\$225.00
					0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2		\$62.50
		Sellado horizontal mal realizado	Agarrando producto por maquina fuera de tiempo Mordazas en mal estado Pistones no trabajan adecuadamente	Se pone a tiempo maquina Se cambian mordazas Se cambia electroválvula Se cambia pistón	1	0	0	0	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4		\$125.00
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		\$25.00
0	1				0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	\$31.25			
Haciendo mal el corte del punch	Punch mal afilado	Se coloca punch afilado	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	\$25.00			
			2	1	0	1	2	0	1	0	7	1	0.5	0	0.5	1	0	0.5	0	0	0.5	3.5	\$87.50			
			1	0	0	1	0	0	1	0	3	2	0	0	2	0	0	2	0	2	0	6	\$150.00			
Banda transportadora de EP-02	BD-14	Se atora banda Se rompe banda No trabaja banda	Empujadores en mal estado Atorón de la banda Motoreductor en mal estado Banda mal tensada	Se repara empujadores Se engrapa banda y se repara lugar donde Se cambia motoreductor Se tensa banda	0	0	0	1	0	0	1	0	3	2	0	0	2	0	0	2	0	2	6	\$150.00	\$400.00	
					0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	\$62.50		
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		\$62.50
					2	1	4	1	0	0	1	1	10	1	0.5	2	0.5	0	0	0.5	0.5	0	0.5	5		\$125.00
Envasadora 3	EP-03	No coloca fecha de caducidad	No calienta números por falla en resistencia Empaque de teflón en mal estado No trabaja pistón	Se cambia resistencia Se cambia empaque Se cambia electroválvula Se cambia pistón	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	\$250.00	\$2,091.25	
					0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	1	1	1		\$25.00
					0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0		\$31.25
		No realiza el pliegue de la bolsa No sella el lomo de la bolsa	Tubo formador desalineado Resistencia de sello vertical en mal estado Goma del tubo formador en mal estado	Se alinea tubo formador Se cambia resistencia Se cambia goma del tubo formador	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1		\$25.00
					0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5		\$10.00
					1	0	0	1	0	0	1	0	3	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	3		\$93.75
		Realizando hueco el corte de la bobina	No detecta fotocelda	Se ajusta fotocelda Se cambia fotocelda	2	2	2	2	2	2	2	2	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8		\$200.00
					1	3	2	2	3	4	1	1	17	0.5	1.5	1	1	1.5	2	1	1	1	1	9.5		\$296.88
					0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5		\$46.88
		No realiza el corte de la bobina	Bujes del carro en mal estado Cuchilla sin afilar No trabaja pistón	Se cambian bujes Se cambia cuchilla Se cambia electroválvula Se cambia pistón	1	0	0	1	0	0	1	0	3	3	0	0	3	0	0	3	0	3	0	9		\$506.25
					2	3	2	2	3	2	2	2	18	1	1.5	1	1	1.5	1	1	1	1	1	9		\$225.00
					0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2		\$62.50
		Sellado horizontal mal realizado	Agarrando producto por maquina fuera de tiempo Mordazas en mal estado Pistones no trabajan adecuadamente	Se pone a tiempo maquina Se cambian mordazas Se cambia electroválvula Se cambia pistón	1	0	0	0	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4		\$125.00
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		\$25.00
0	1				0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	\$31.25			
Haciendo mal el corte del punch	Punch mal afilado	Se coloca punch afilado	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	\$25.00			
			2	1	0	1	2	0	1	0	7	1	0.5	0	0.5	1	0	0.5	0	0	0.5	3.5	\$87.50			
			1	0	0	1	0	0	1	0	3	2	0	0	2	0	0	2	0	2	0	6	\$150.00			

Tabla 6.12 Recopilación de datos de las fallas y tiempo muerto por mantenimiento correctivo de cada uno de los equipos del area de Envasados

ENVASADOS																								
EQUIPO	CLAVE	PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN	RECURRENCIA POR MESES								TOTAL	TIEMPO MUERTO POR MES								TOTAL HRS	COSTO TOTAL DE MANO DE	COSTO TOTAL DE MANTTO POR
					1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8			
Banda transportadora de EP-03	BD-15	Se atora banda Se rompe banda No trabaja banda	Empujadores en mal estado Atorón de la banda Motoreductor en mal estado Banda mal tensada	Se repara empujadores Se engrapa banda y se repara lugar donde Se cambia motoreductor Se tensa banda	1	0	0	1	0	0	1	0	3	2	0	0	2	0	0	2	0	6	\$150.00	\$400.00
					0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	2	\$62.50	
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
Envasadora 4	EP-04	No coloca fecha de caducidad  No realiza el pliegue de la bolsa No sella el lomo de la bolsa Realizando hueco el corte de la bobina  No realiza el corte de la bobina  Sellado horizontal mal realizado  Haciendo mal el corte del punch	No calienta números por falla en resistencia Empaque de teflón en mal estado No trabaja pistón  Tubo formador desalineado Resistencia de sello vertical en mal estado Goma del tubo formador en mal estado No detecta fotocelda  Bujes del carro en mal estado Cuchilla sin afilar No trabaja pistón  Agarrando producto por maquina fuera de tiempo Mordazas en mal estado Pistones no trabajan adecuadamente  Punch mal afilado	Se cambia resistencia Se cambia empaque Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se alinea tubo formador Se cambia resistencia Se cambia goma del tubo formador Se ajusta fotocelda Se cambia fotocelda Se cambian bujes Se cambia cuchilla Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se pone a tiempo maquina Se cambian mordazas Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se coloca punch afilado	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	8	\$250.00	\$2,091.25
					0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	1	\$25.00	
					0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	\$31.25	
					0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	\$25.00	
					0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	\$10.00	
					1	0	0	1	0	0	1	0	3	1	0	0	1	0	0	1	0	3	\$93.75	
					2	2	2	2	2	2	2	2	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	\$200.00	
					1	3	2	2	3	4	1	1	17	0.5	1.5	1	1	1.5	2	1	1	1	\$296.88	
					0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	\$46.88	
					1	0	0	1	0	0	1	0	3	3	0	0	3	0	0	3	0	0	\$506.25	
					2	3	2	2	3	2	2	2	18	1	1.5	1	1	1.5	1	1	1	1	\$225.00	
					0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	\$62.50	
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	\$25.00	
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	2	0	4	\$125.00	
					0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	\$25.00	
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	\$31.25						
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	\$25.00						
2	1	0	1	2	0	1	0	7	1	0.5	0	0.5	1	0	0.5	0	3.5	\$87.50						
Banda transportadora de EP-04	BD-16	Se atora banda Se rompe banda No trabaja banda	Empujadores en mal estado Atorón de la banda Motoreductor en mal estado Banda mal tensada	Se repara empujadores Se engrapa banda y se repara lugar donde Se cambia motoreductor Se tensa banda	1	0	0	1	0	0	1	0	3	2	0	0	2	0	0	2	0	6	\$150.00	\$400.00
					0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	2	\$62.50	
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
Envasadora 5	EP-05	No coloca fecha de caducidad  No realiza el pliegue de la bolsa No sella el lomo de la bolsa Realizando hueco el corte de la bobina  No realiza el corte de la bobina  Sellado horizontal mal realizado  Haciendo mal el corte del punch	No calienta números por falla en resistencia Empaque de teflón en mal estado No trabaja pistón  Tubo formador desalineado Resistencia de sello vertical en mal estado Goma del tubo formador en mal estado No detecta fotocelda  Bujes del carro en mal estado Cuchilla sin afilar No trabaja pistón  Agarrando producto por maquina fuera de tiempo Mordazas en mal estado Pistones no trabajan adecuadamente  Punch mal afilado	Se cambia resistencia Se cambia empaque Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se alinea tubo formador Se cambia resistencia Se cambia goma del tubo formador Se ajusta fotocelda Se cambia fotocelda Se cambian bujes Se cambia cuchilla Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se pone a tiempo maquina Se cambian mordazas Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se coloca punch afilado	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	8	\$250.00	\$2,091.25
					0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	1	\$25.00	
					0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	\$31.25	
					0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	\$25.00	
					0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	\$10.00	
					1	0	0	1	0	0	1	0	3	1	0	0	1	0	0	1	0	3	\$93.75	
					2	2	2	2	2	2	2	2	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	\$200.00	
					1	3	2	2	3	4	1	1	17	0.5	1.5	1	1	1.5	2	1	1	1	\$296.88	
					0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	\$46.88	
					1	0	0	1	0	0	1	0	3	3	0	0	3	0	0	3	0	0	\$506.25	
					2	3	2	2	3	2	2	2	18	1	1.5	1	1	1.5	1	1	1	1	\$225.00	
					0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	\$62.50	
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	\$25.00	
					1	0	0	0	0	0	1	0	2	2	2	0	0	0	0	2	0	4	\$125.00	
					0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	\$25.00	
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	\$31.25						
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	\$25.00						
2	1	0	1	2	0	1	0	7	1	0.5	0	0.5	1	0	0.5	0	3.5	\$87.50						
Banda transportadora de EP-05	BD-17	Se atora banda Se rompe banda No trabaja banda	Empujadores en mal estado Atorón de la banda Motoreductor en mal estado Banda mal tensada	Se repara empujadores Se engrapa banda y se repara lugar donde Se cambia motoreductor Se tensa banda	1	0	0	1	0	0	1	0	3	2	0	0	2	0	0	2	0	6	\$150.00	\$400.00
					0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	2	\$62.50	
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
Envasadora 6	EP-06	No coloca fecha de caducidad  No realiza el pliegue de la bolsa No sella el lomo de la bolsa Realizando hueco el corte de la bobina  No realiza el corte de la bobina  Sellado horizontal mal realizado  Haciendo mal el corte del punch	No calienta números por falla en resistencia Empaque de teflón en mal estado No trabaja pistón  Tubo formador desalineado Resistencia de sello vertical en mal estado Goma del tubo formador en mal estado No detecta fotocelda  Bujes del carro en mal estado Cuchilla sin afilar No trabaja pistón  Agarrando producto por maquina fuera de tiempo Mordazas en mal estado Pistones no trabajan adecuadamente  Punch mal afilado	Se cambia resistencia Se cambia empaque Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se alinea tubo formador Se cambia resistencia Se cambia goma del tubo formador Se ajusta fotocelda Se cambia fotocelda Se cambian bujes Se cambia cuchilla Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se pone a tiempo maquina Se cambian mordazas Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se coloca punch afilado	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	8	\$250.00	\$2,091.25
					0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	1	\$25.00	
					0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	\$31.25	
					0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	\$25.00	
					0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	\$10.00	
					1	0	0	1	0	0	1	0	3	1	0	0	1	0	0	1	0	3	\$93.75	
					2	2	2	2	2	2	2	2	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	\$200.00	
					1	3	2	2	3	4	1	1	17	0.5	1.5	1	1	1.5	2	1	1	1	\$296.88	
					0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	\$46.88	
					1	0	0	1	0	0	1	0	3	3	0	0	3	0	0	3	0	0	\$506.25	
					2	3	2	2	3	2	2	2	18	1	1.5	1	1	1.5	1	1	1	1	\$225.00	
					0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	\$62.50	
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	\$25.00	
					1	0	0	0	0	0	1	0	2	2	2	0	0	0	0	2	0	4	\$125.00	
					0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	\$25.00	
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	\$31.25						
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	\$25.00						
2	1	0	1	2	0	1	0	7	1	0.5	0	0.5	1	0	0.5	0	3.5	\$87.50						

Tabla 6.12 Recopilación de datos de las fallas y tiempo muerto por mantenimiento correctivo de cada uno de los equipos del area de Envasados

ENVASADOS																								
EQUIPO	CLAVE	PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN	RECURRENCIA POR MESES								TOTAL	TIEMPO MUERTO POR MES								TOTAL HRS	COSTO TOTAL DE MANO DE	COSTO TOTAL DE MANTTO POR
					1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8			
Banda transportadora de EP-06	BD-18	Se atora banda Se rompe banda No trabaja banda	Empujadores en mal estado Atorón de la banda Motoreductor en mal estado Banda mal tensada	Se repara empujadores Se engrapa banda y se repara lugar donde Se cambia motoreductor Se tensa banda	1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 2 1 4 1 0 0 1 1	3 1 1 10	2 0 0 2 0 0 2 0 0 0 0 0 2 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 1 0.5 2 0.5 0 0 0.5 0.5	6 2 2 5	\$150.00 \$62.50 \$62.50 \$125.00	\$400.00														
Envasadora 7	EP-07	No coloca fecha de caducidad  No realiza el pliegue de la bolsa No sella el lomo de la bolsa Realizando hueco el corte de la bobina  No realiza el corte de la bobina  Sellado horizontal mal realizado  Haciendo mal el corte del punch	No calienta números por falla en resistencia Empaque de teflón en mal estado No trabaja pistón  Tubo formador desalineado Resistencia de sello vertical en mal estado Goma del tubo formador en mal estado No detecta fotocelda  Bujes del carro en mal estado Cuchilla sin afilar No trabaja pistón  Agarrando producto por maquina fuera de tiempo Mordazas en mal estado Pistones no trabajan adecuadamente	Se cambia resistencia Se cambia empaque Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se alinea tubo formador Se cambia resistencia Se cambia goma del tubo formador Se ajusta fotocelda Se cambia fotocelda Se cambian bujes Se cambia cuchilla Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se pone a tiempo maquina Se cambian mordazas Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se coloca punch afilado	1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 1 3 2 2 3 4 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 2 3 2 2 3 2 2 2 1 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 2 1 0 1 2 0 1 0	8 2 1 1 1 3 16 17 1 3 18 1 2 1 1 7	1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0.5 0 0 0.5 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.5 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0.5 1.5 1 1 1.5 2 1 1 0 1.5 0 0 0 0 0 0 3 0 0 3 0 0 3 0 1 1.5 1 1 1.5 1 1 1 1 0 0 2 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 2 2 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0.5 0 0.5 1 0 0.5 0	8 1 1 1 0.5 3 8 9.5 1.5 9 9 2 4 1 1 3.5	\$250.00 \$25.00 \$31.25 \$25.00 \$10.00 \$93.75 \$200.00 \$296.88 \$46.88 \$506.25 \$225.00 \$62.50 \$25.00 \$125.00 \$25.00 \$31.25 \$25.00 \$87.50	\$2,091.25														
Banda transportadora de EP-07	BD-19	Se atora banda Se rompe banda No trabaja banda	Empujadores en mal estado Atorón de la banda Motoreductor en mal estado Banda mal tensada	Se repara empujadores Se engrapa banda y se repara lugar donde Se cambia motoreductor Se tensa banda	1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 2 1 4 1 0 0 1 1	3 1 1 10	2 0 0 2 0 0 2 0 0 0 0 0 2 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 1 0.5 2 0.5 0 0 0.5 0.5	6 2 2 5	\$150.00 \$62.50 \$62.50 \$125.00	\$400.00														
Envasadora 8	EP-08	No coloca fecha de caducidad  No realiza el pliegue de la bolsa No sella el lomo de la bolsa Realizando hueco el corte de la bobina  No realiza el corte de la bobina  Sellado horizontal mal realizado  Haciendo mal el corte del punch	No calienta números por falla en resistencia Empaque de teflón en mal estado No trabaja pistón  Tubo formador desalineado Resistencia de sello vertical en mal estado Goma del tubo formador en mal estado No detecta fotocelda  Bujes del carro en mal estado Cuchilla sin afilar No trabaja pistón  Agarrando producto por maquina fuera de tiempo Mordazas en mal estado Pistones no trabajan adecuadamente	Se cambia resistencia Se cambia empaque Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se alinea tubo formador Se cambia resistencia Se cambia goma del tubo formador Se ajusta fotocelda Se cambia fotocelda Se cambian bujes Se cambia cuchilla Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se pone a tiempo maquina Se cambian mordazas Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se coloca punch afilado	1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 1 3 2 2 3 4 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 2 3 2 2 3 2 2 2 1 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 2 1 0 1 2 0 1 0	8 2 1 1 1 3 16 17 1 3 18 1 2 1 1 7	1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0.5 0 0 0.5 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.5 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0.5 1.5 1 1 1.5 2 1 1 0 1.5 0 0 0 0 0 0 3 0 0 3 0 0 3 0 1 1.5 1 1 1.5 1 1 1 1 0 0 2 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 2 2 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0.5 0 0.5 1 0 0.5 0	8 1 1 1 0.5 3 8 9.5 1.5 9 9 2 4 1 1 3.5	\$250.00 \$25.00 \$31.25 \$25.00 \$10.00 \$93.75 \$200.00 \$296.88 \$46.88 \$506.25 \$225.00 \$62.50 \$25.00 \$125.00 \$25.00 \$31.25 \$25.00 \$87.50	\$2,091.25														
Banda transportadora de EP-08	BD-20	Se atora banda Se rompe banda No trabaja banda	Empujadores en mal estado Atorón de la banda Motoreductor en mal estado Banda mal tensada	Se repara empujadores Se engrapa banda y se repara lugar donde Se cambia motoreductor Se tensa banda	1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 2 1 4 1 0 0 1 1	3 1 1 10	2 0 0 2 0 0 2 0 0 0 0 0 2 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 1 0.5 2 0.5 0 0 0.5 0.5	6 2 2 5	\$150.00 \$62.50 \$62.50 \$125.00	\$400.00														
Envasadora 9	EP-09	No coloca fecha de caducidad  No realiza el pliegue de la bolsa No sella el lomo de la bolsa Realizando hueco el corte de la bobina  No realiza el corte de la bobina  Sellado horizontal mal realizado  Haciendo mal el corte del punch	No calienta números por falla en resistencia Empaque de teflón en mal estado No trabaja pistón  Tubo formador desalineado Resistencia de sello vertical en mal estado Goma del tubo formador en mal estado No detecta fotocelda  Bujes del carro en mal estado Cuchilla sin afilar No trabaja pistón  Agarrando producto por maquina fuera de tiempo Mordazas en mal estado Pistones no trabajan adecuadamente	Se cambia resistencia Se cambia empaque Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se alinea tubo formador Se cambia resistencia Se cambia goma del tubo formador Se ajusta fotocelda Se cambia fotocelda Se cambian bujes Se cambia cuchilla Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se pone a tiempo maquina Se cambian mordazas Se cambia electroválvula Se cambia pistón Se coloca punch afilado	1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 1 3 2 2 3 4 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 2 3 2 2 3 2 2 2 1 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 2 1 0 1 2 0 1 0	8 2 1 1 1 3 16 17 1 3 18 1 2 1 1 7	1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0.5 0 0 0.5 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.5 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0.5 1.5 1 1 1.5 2 1 1 0 1.5 0 0 0 0 0 0 3 0 0 3 0 0 3 0 1 1.5 1 1 1.5 1 1 1 1 0 0 2 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 2 2 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0.5 0 0.5 1 0 0.5 0	8 1 1 1 0.5 3 8 9.5 1.5 9 9 2 4 1 1 3.5	\$250.00 \$25.00 \$31.25 \$25.00 \$10.00 \$93.75 \$200.00 \$296.88 \$46.88 \$506.25 \$225.00 \$62.50 \$25.00 \$125.00 \$25.00 \$31.25 \$25.00 \$87.50	\$2,091.25														
Banda transportadora de EP-09	BD-21	Se atora banda Se rompe banda No trabaja banda	Empujadores en mal estado Atorón de la banda Motoreductor en mal estado Banda mal tensada	Se repara empujadores Se engrapa banda y se repara lugar donde Se cambia motoreductor Se tensa banda	1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 2 1 4 1 0 0 1 1	3 1 1 10	2 0 0 2 0 0 2 0 0 0 0 0 2 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 1 0.5 2 0.5 0 0 0.5 0.5	6 2 2 5	\$150.00 \$62.50 \$62.50 \$125.00	\$400.00														
Selladora de cajas	SC-01	No sella la caja No trabaja banda.	Motor de corriente directa en mal estado Problemas con la fotocelda	Se cambia motor Se ajusta fotocelda Se cambia fotocelda	1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0	1 3 1	2 0 0 0 0 0 0 0 0 0.5 0 0 0.5 0 0 0.5 2 0 0 0 0 0 0 0	2 1.5 2	\$62.50 \$46.88 \$62.50	\$171.88														

Tabla 6.12 Recopilación de datos de las fallas y tiempo muerto por mantenimiento correctivo de cada uno de los equipos del area de Envasados

FRITURAS																										
EQUIPO	CLAVE	PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN	RECURRENCIA POR MESES								TOTAL	TIEMPO MUERTO POR MES								TOTAL HRS	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA	COSTO TOTAL DE MANTTO POR EQUIPO		
					1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8					
Tolva de recepción de cacahuate	TV-15	Tolva rota de las uniones	Provocado por el peso del cacahuate	Soldar uniones con argón	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	\$62.50	\$62.50
Elevador de cangilones a TV-16	EL-06	Cangilones atorados y rotos	Volteador de cangilones en mal estado	Cambio de cangilones	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	\$500.00	\$1,812.50
		Cadena safada	Perno salido provocando que se safara cadena	Colocar perno en su lugar y soldarlo	3	0	3	0	3	0	3	0	12	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0	12	\$375.00	
		Atorón en cadena	Provocado por perno salido	Colocar perno en su lugar y soldarlo	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	\$250.00	
		Caída y ruptura de cangilones	Cadena abierta provocando la caída de cangilones	Alinear cadena	8	3	7	10	3	5	6	2	44	4	1.5	3.5	5	1.5	2.5	3	1		22	\$687.50		
Tolva de alimentación a FR-01	TV-16	Tolva rota de las uniones	Provocado por el peso del cacahuate	Soldar uniones con argón	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	\$62.50	\$62.50
Alimentador de vibración a FR-01	AL-03	Falla en la vibración	Provocado por laines de ajuste rotas	Cambiar laines	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	\$62.50	\$62.50
Freidora continua	FR-01	Falla de encendido de quemadores	chispa desajustada	calibrar bujía	2	0	1	2	0	1	1	0	7	1	0	0.5	1	0	0.5	0.5	0		3.5	\$109.38	\$856.88	
		Quemadores sucios	quemadores sucios	Limpieza de quemadores	5	2	2	6	4	5	3	1	28	5	2	2	6	4	5	3	1		28	\$560.00		
		Deja de trabajar malla sumergible	motoreductor dañado	reparar motoreductor	1	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0		4	\$125.00		
		fallando control de temperatura	termopar dañado	cambiar termopar	1	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	\$62.50		
Enfriador continuo de túnel	EF-01	Falla en el sistema de enfriamiento	Motor de ventiladores de enfriamiento dañado	Cambiar motor	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	\$31.25	\$31.25
Condimentador continuo de tambor	CD-01	No dosifica el condimento	Motor del sistema de dosificación dañado	Cambiar motor	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	\$31.25	\$233.75
			Orificios de dosificación tapados	Realizar limpieza de tubo	1	1	2	0	1	1	0	1	7	1	1	2	0	1	1	0	1		7	\$140.00		
			Gusano de nylamid desgastado	Cambiar gusano	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0		2	\$62.50		

Tabla 6.13 Recopilación de datos de las fallas y tiempo muerto por mantenimiento correctivo de cada uno de los equipos del area de Frituras

Una vez realizada la recopilación de datos acerca de los mantenimientos correctivos se realizaron las gráficas correspondientes para cada equipo del número de fallas por mes, para así determinar la frecuencia de las fallas y a partir de ahí comenzar la elaboración del programa de mantenimiento preventivo.

En las figura 6.12 a la 6.23 se muestran las gráficas correspondientes a los equipos de tostados.

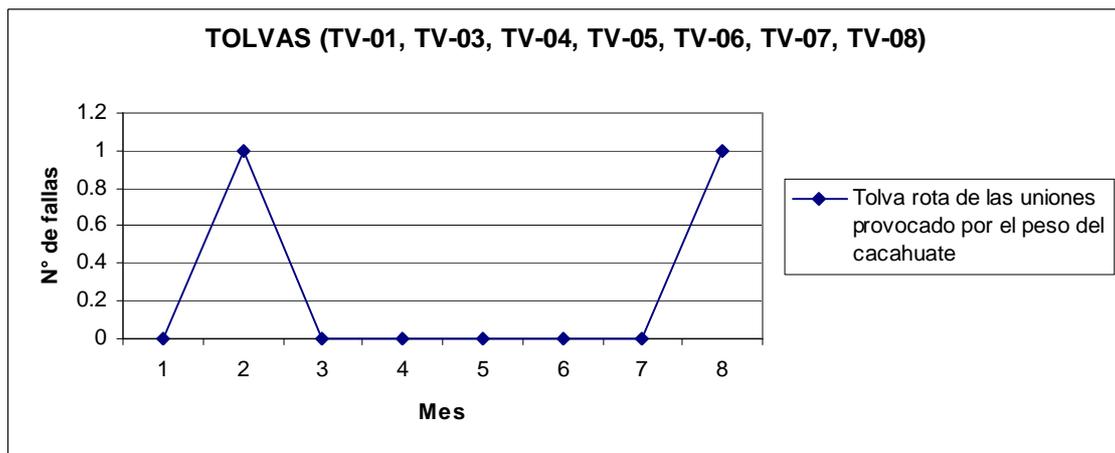


Figura 6.12 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de las tolvas.

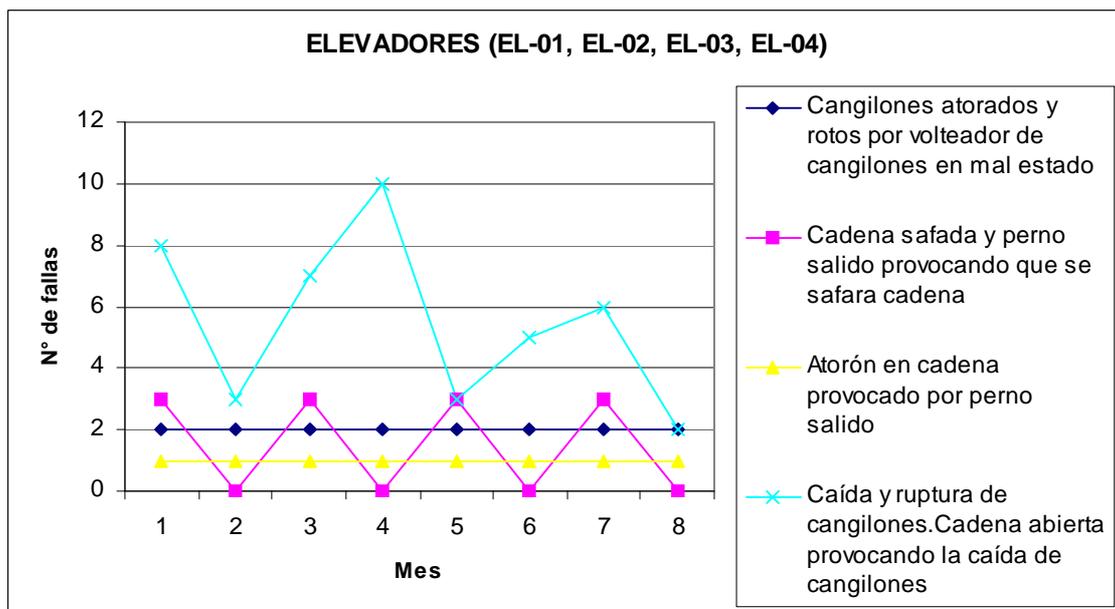


Figura 6.13 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de los elevadores de cangilones.

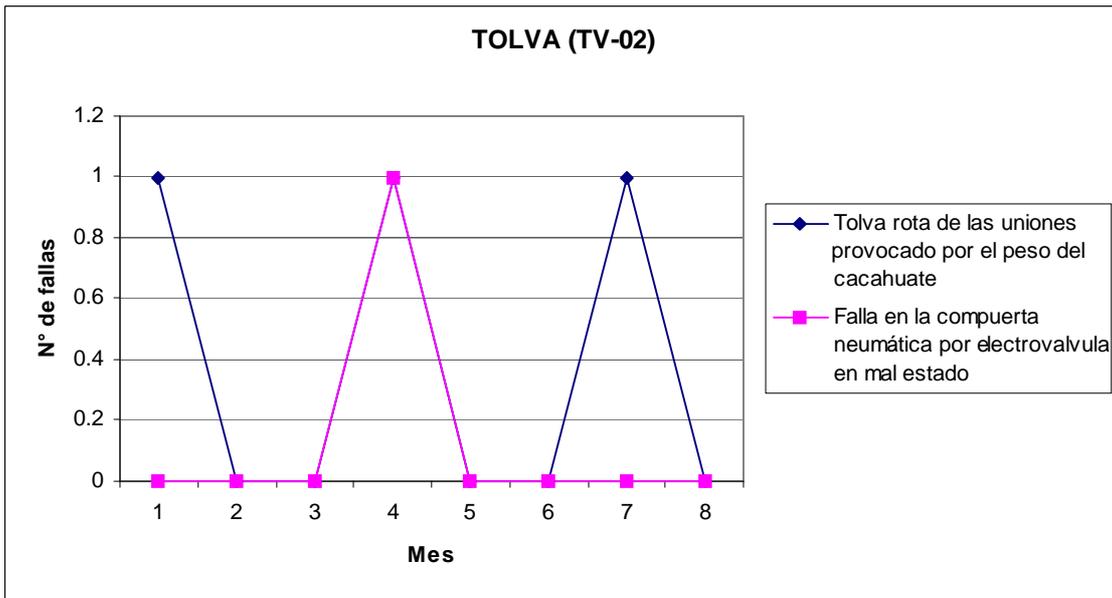


Figura 6.14 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de la tolva TV-02.

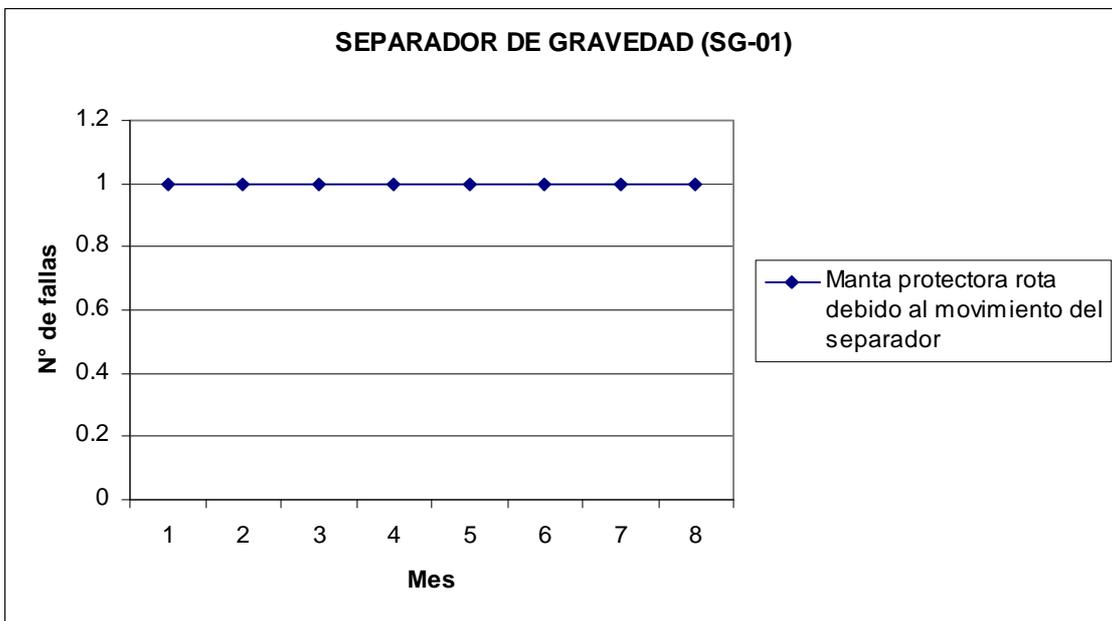


Figura 6.15 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del separador de gravedad SG-01.

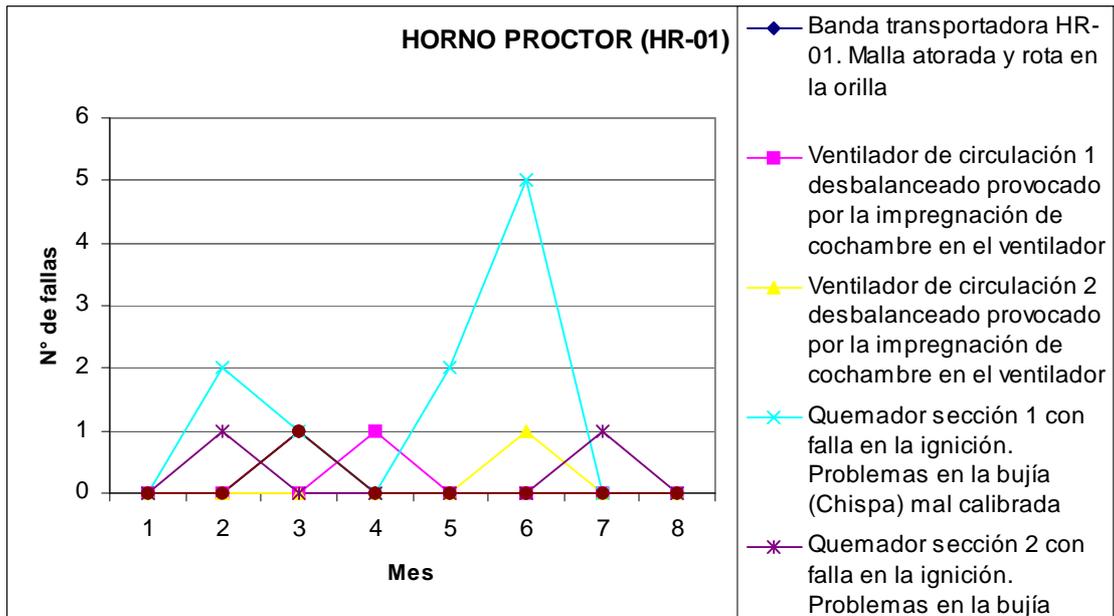


Figura 6.16 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del horno proctor HR-01.

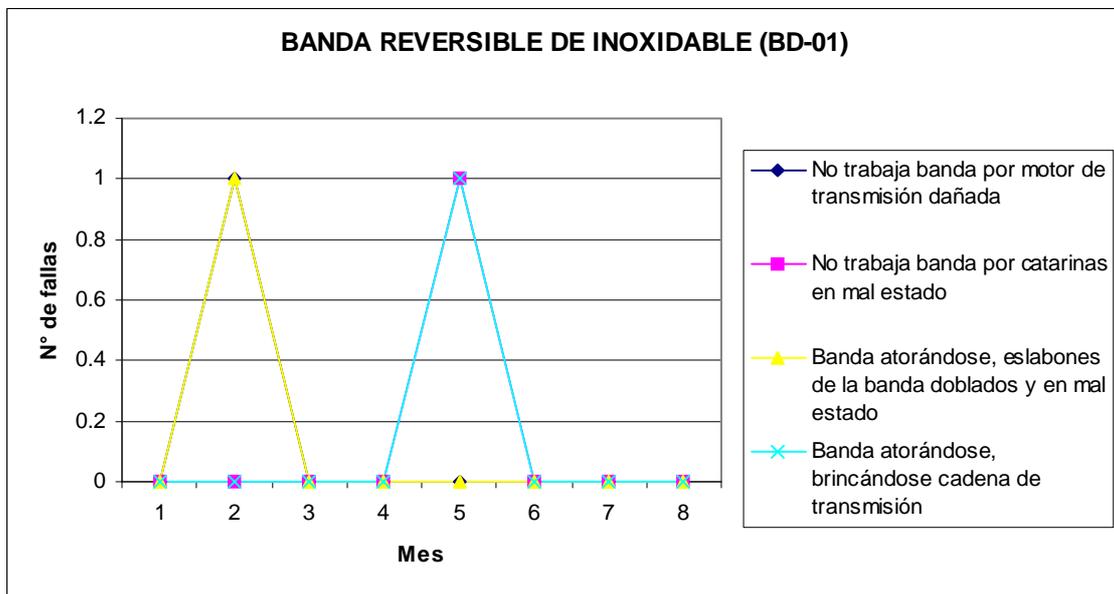


Figura 6.17 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de la banda reversible de inoxidable BD-01.

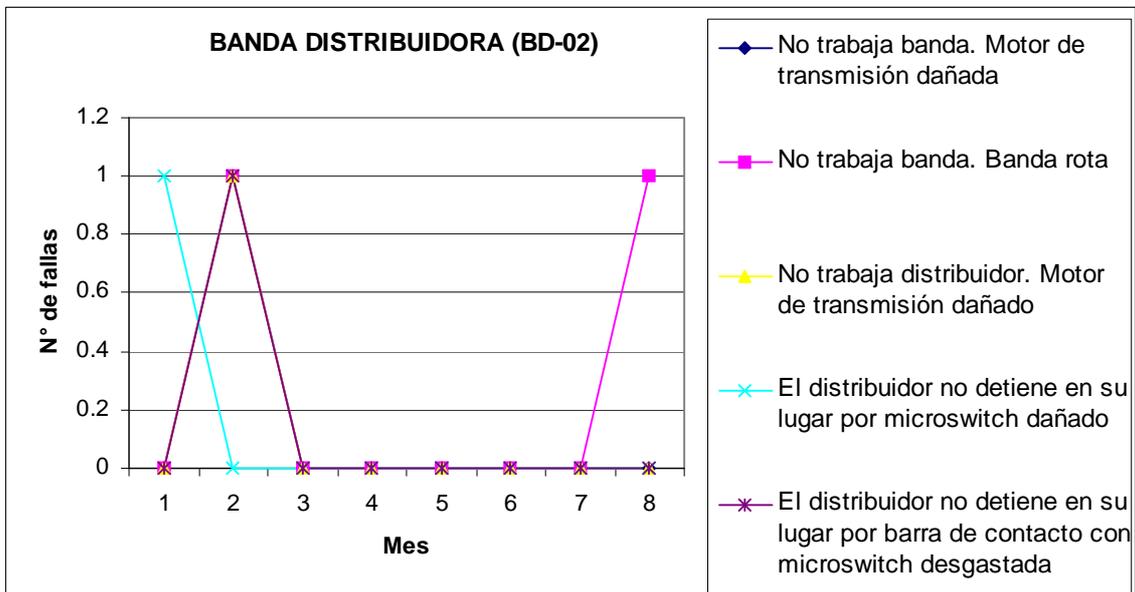


Figura 6.18 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de la banda distribuidora BD-02.

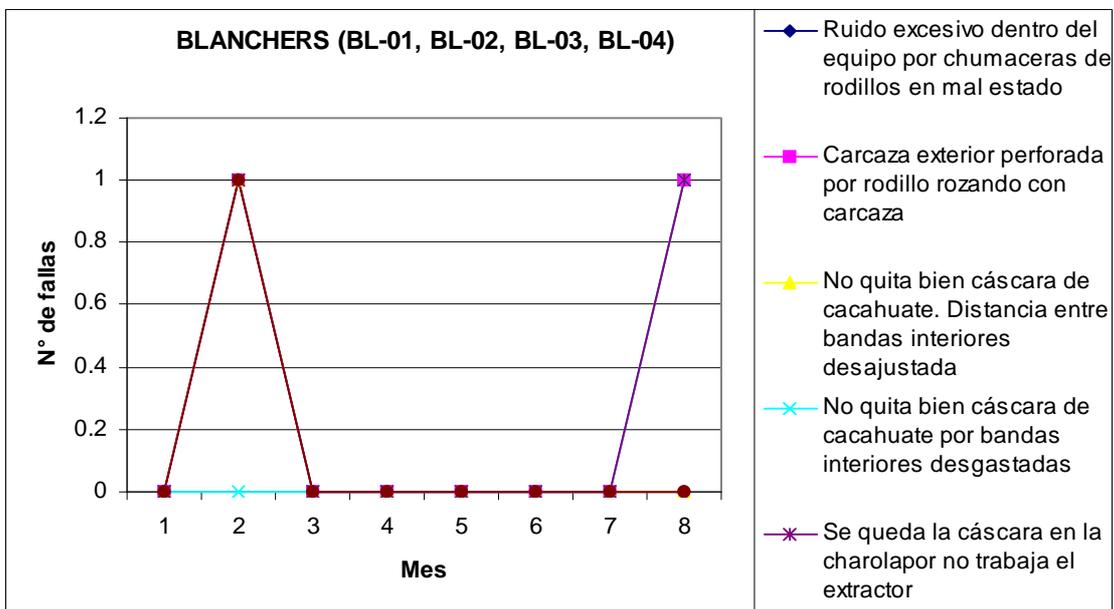


Figura 6.19 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de los blanchers.

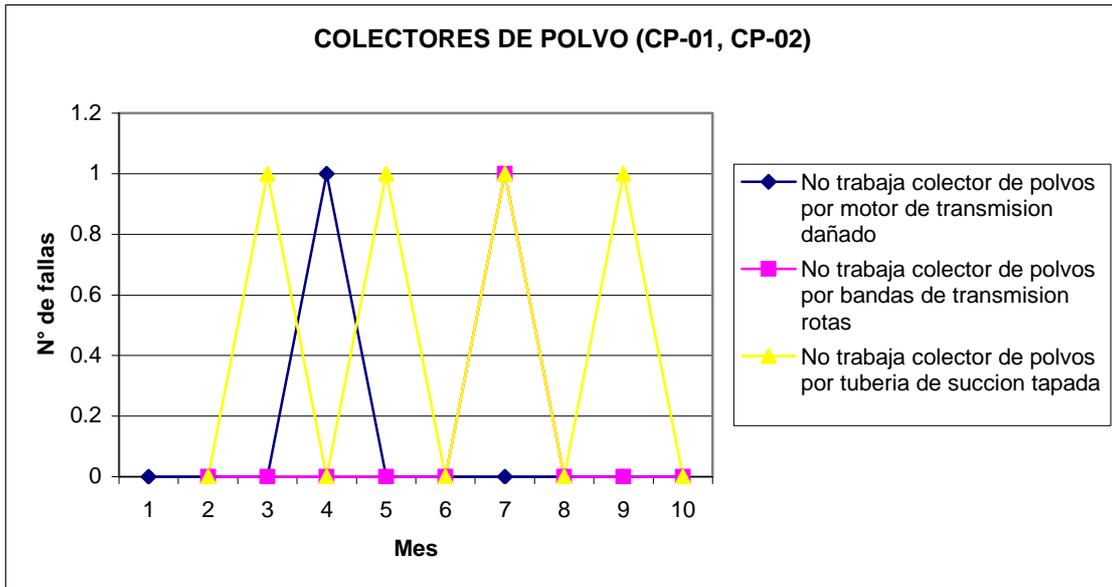


Figura 6.20 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de los colectores de polvo.

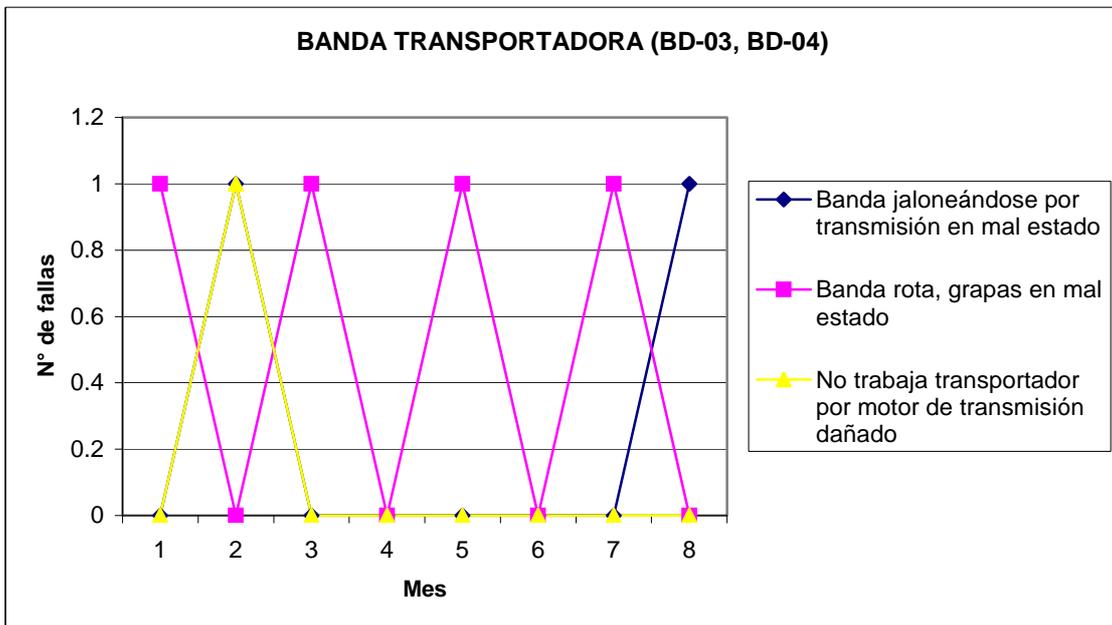


Figura 6.21 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de las bandas transportadoras BD-03 y BD-04.

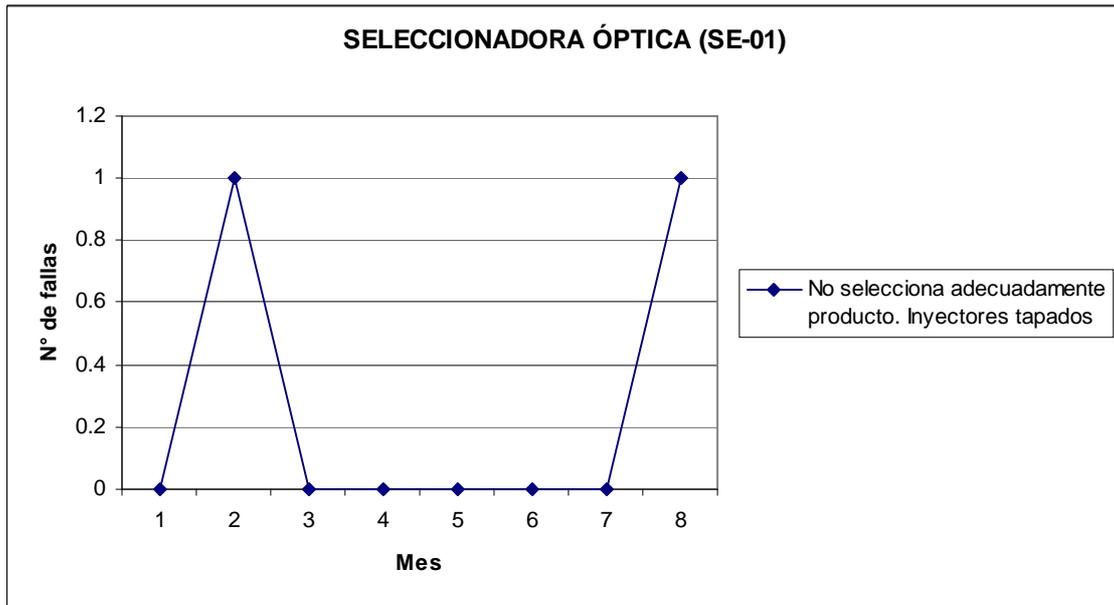


Figura 6.22 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de la seleccionadora óptica SE-01.

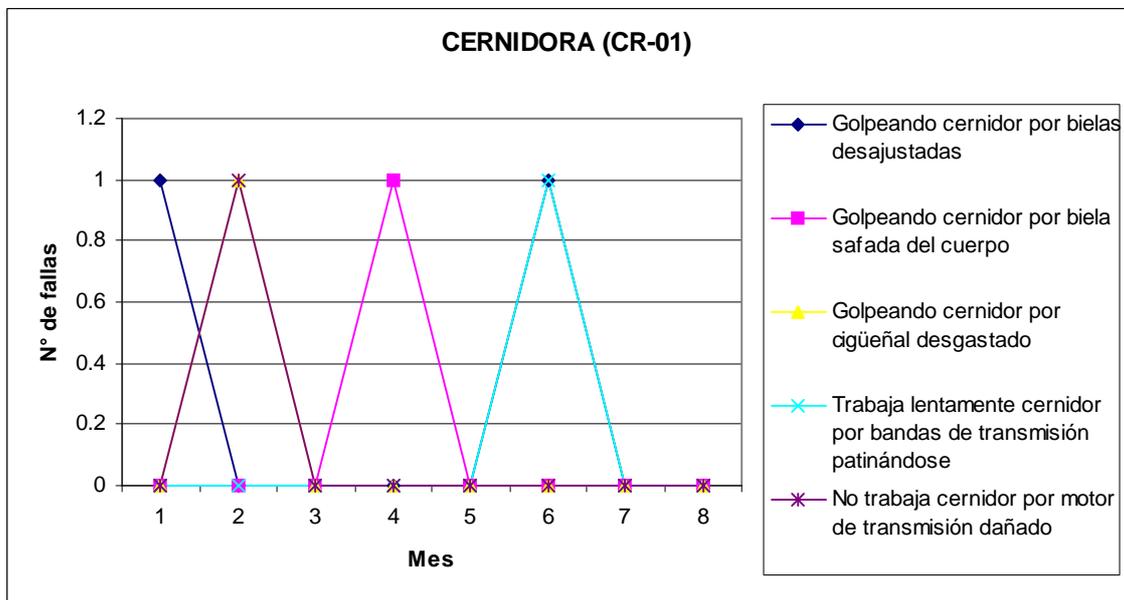


Figura 6.23 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de la cernidora CR-01.

En las figura 6.24 a la 6.31 se muestran las gráficas correspondientes a los equipos de confitados.

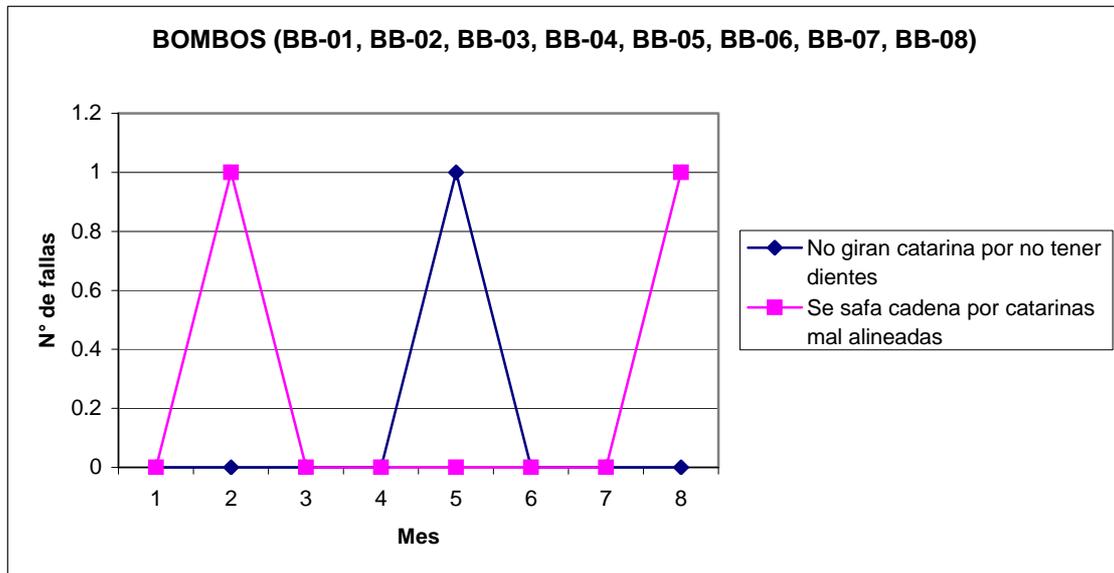


Figura 6.24 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de los bombos.

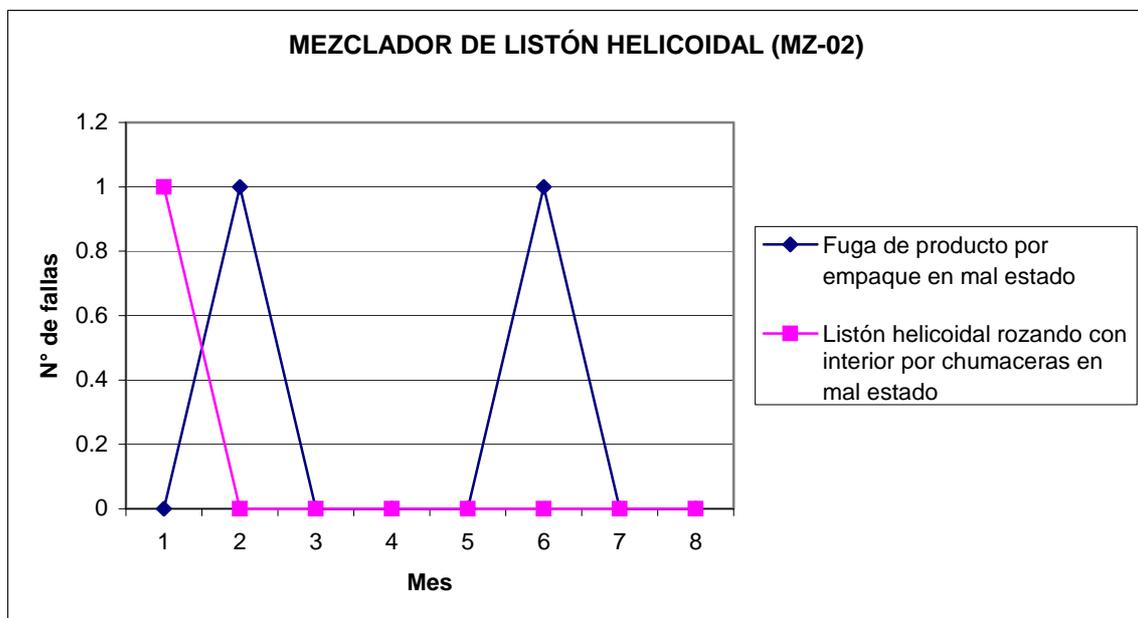


Figura 6.25 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del mezclador de listón helicoidal MZ-01.

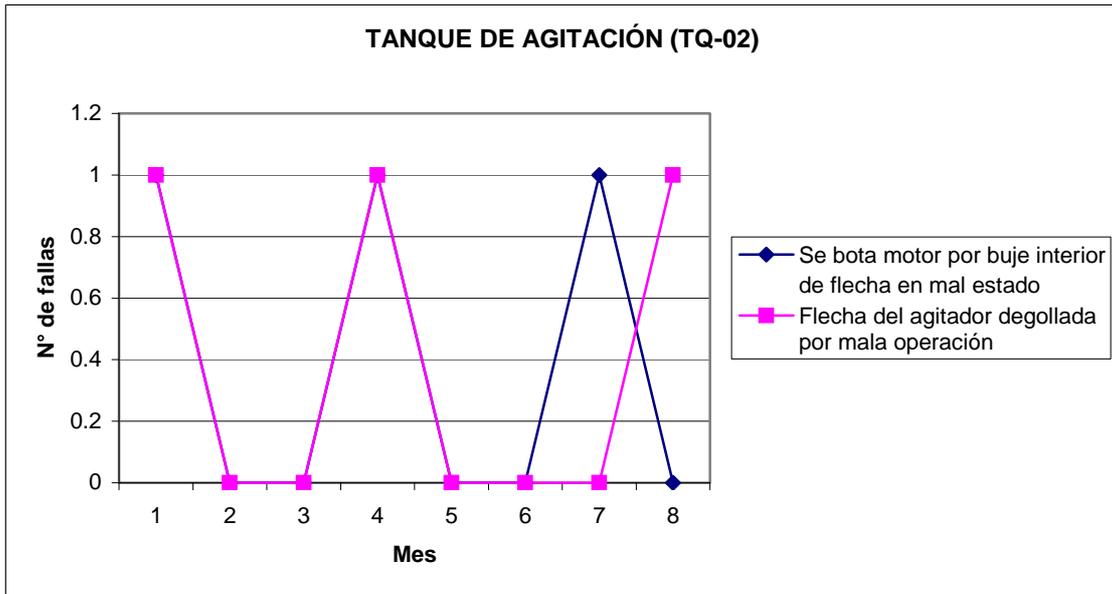


Figura 6.26 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del tanque de agitación TQ-02.

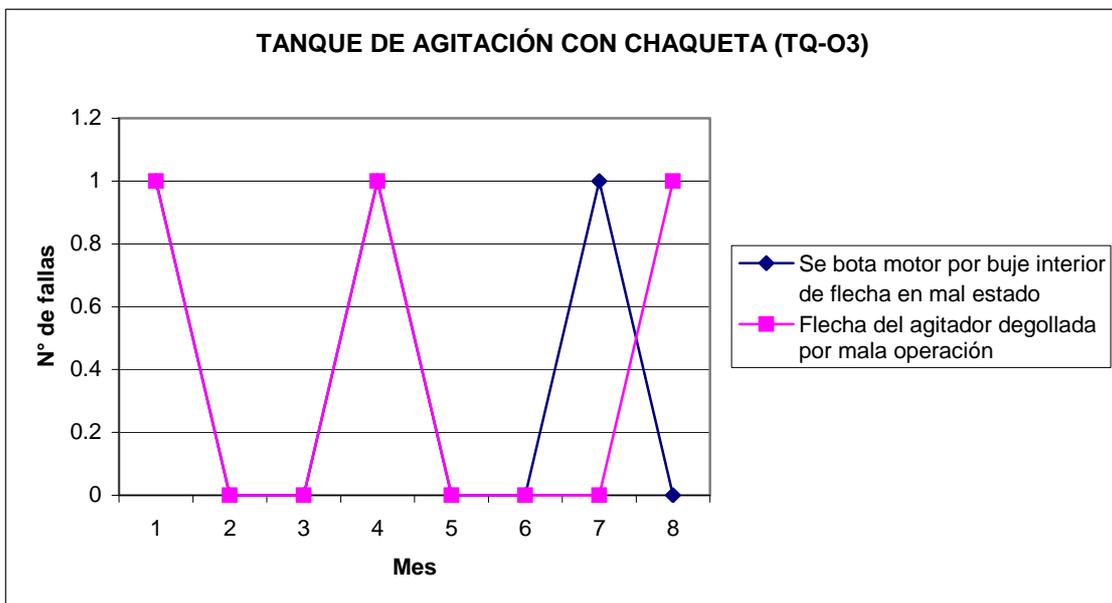


Figura 6.27 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del tanque de agitación con chaqueta TQ-03.

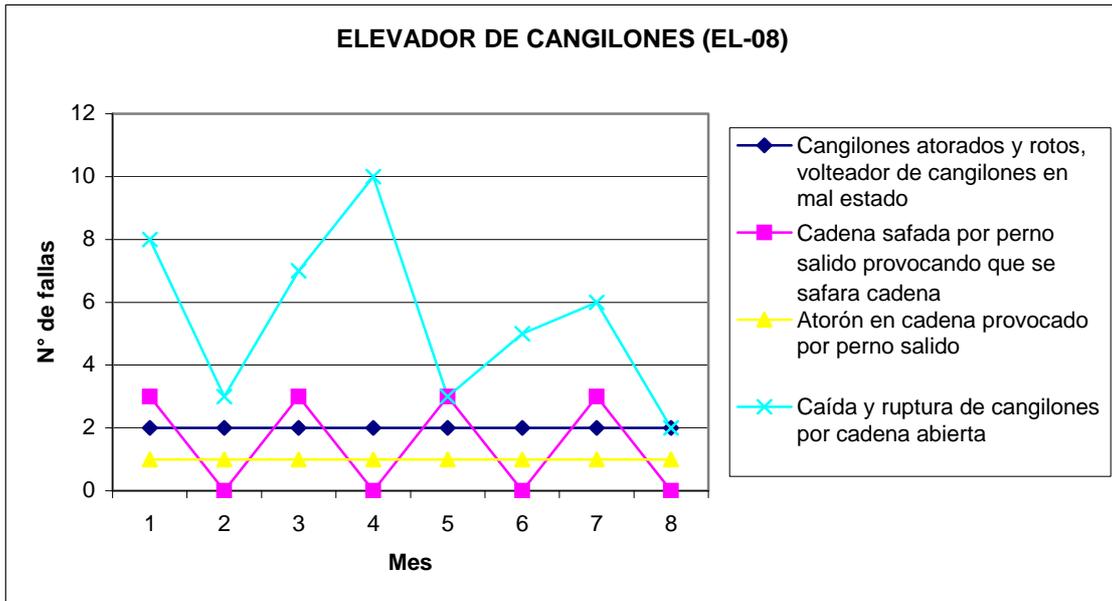


Figura 6.28 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del elevador de cangilones EL-08.

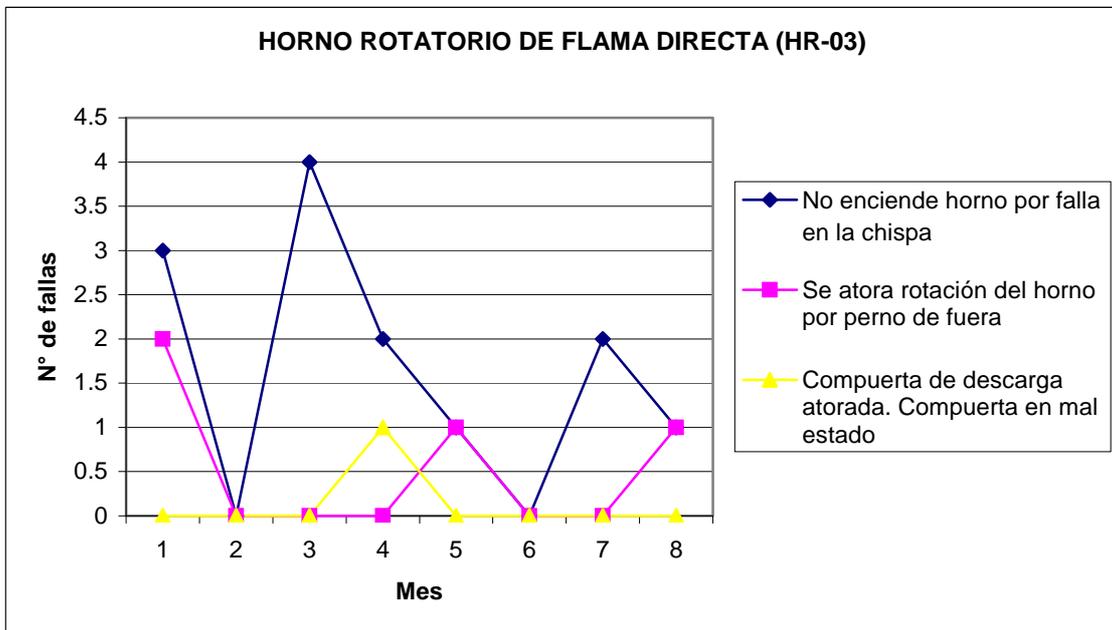


Figura 6.29 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del horno rotatorio de flama directa HR-03.

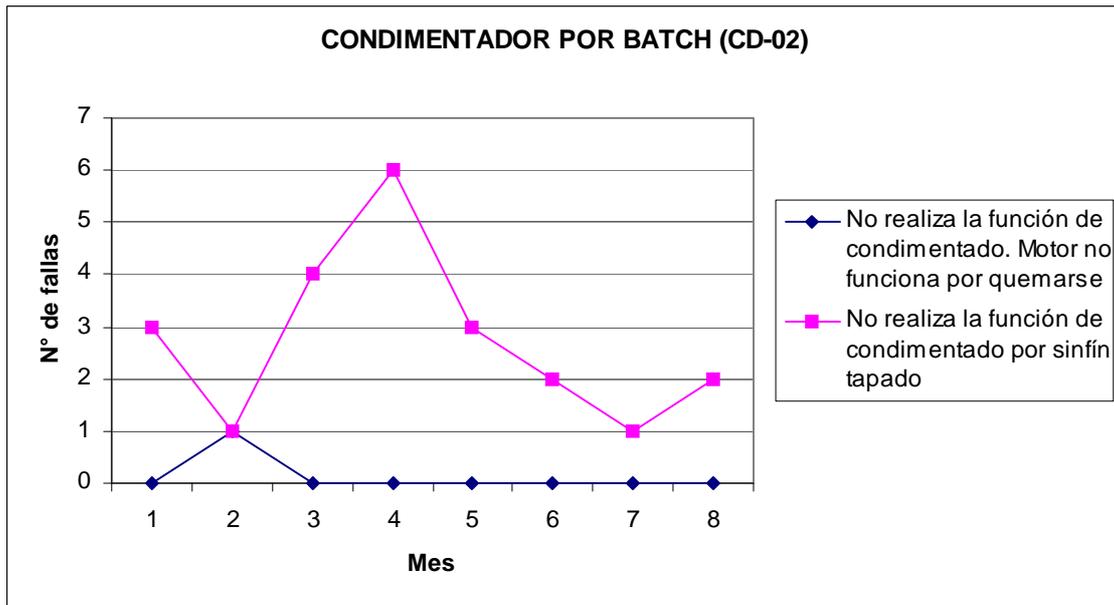


Figura 6.30 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del condimentador por batch CD-02.

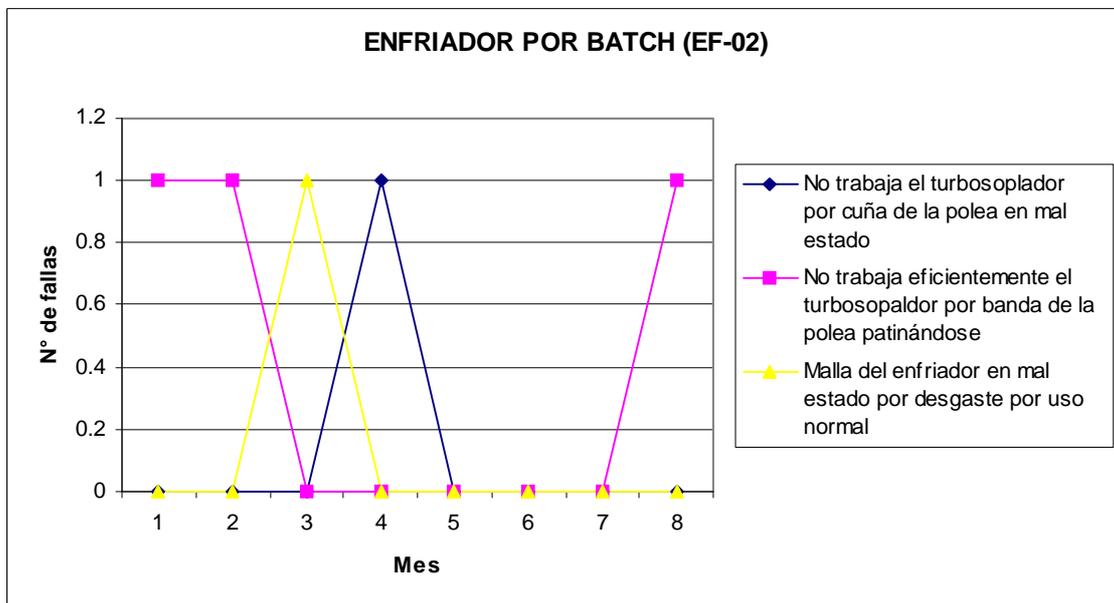


Figura 6.31 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del enfriador por batch EF-02.

En las figuras 6.32 a la 6.33 se muestran las gráficas correspondientes a los equipos de envasados.

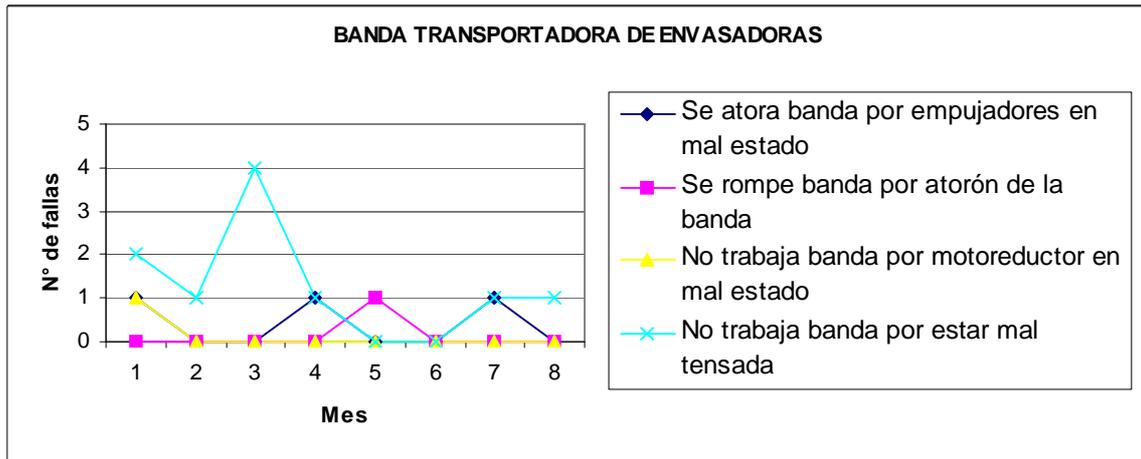


Figura 6.32 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de las bandas transportadoras de las envasadoras.

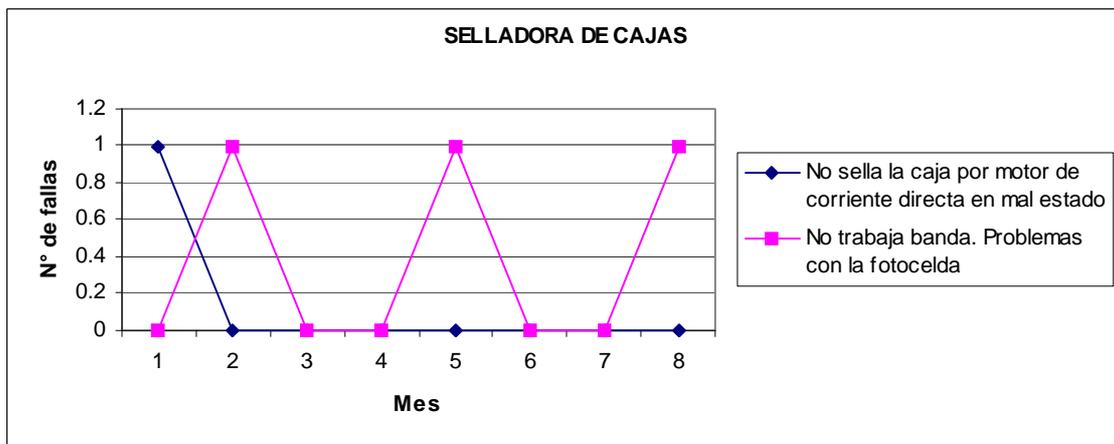


Figura 6.33 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de la selladora de cajas.

En las figura 6.34 a la 6.39 se muestran las gráficas correspondientes a los equipos de frituras.

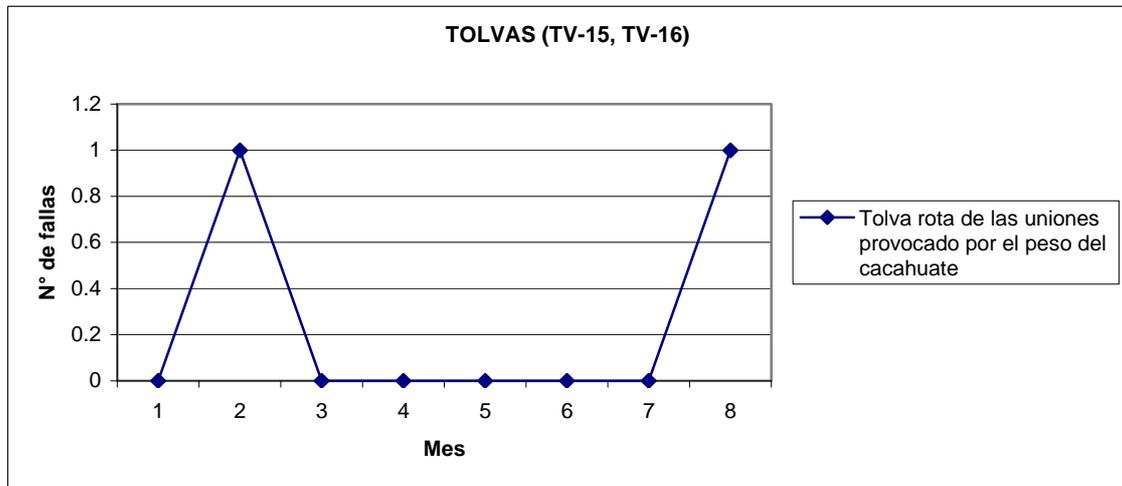


Figura 6.34 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de las tolvas.

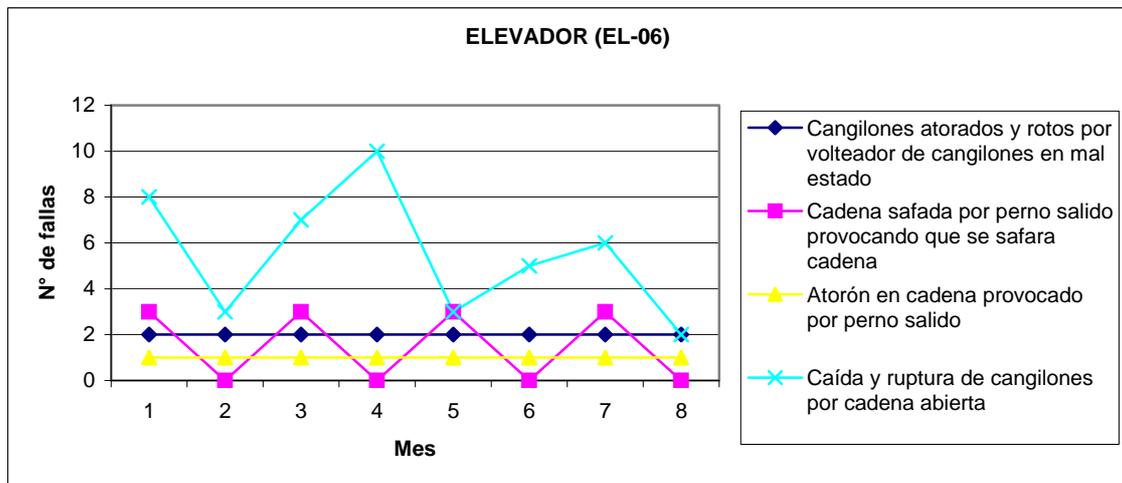


Figura 6.35 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del elevador de cangilones EL-06.

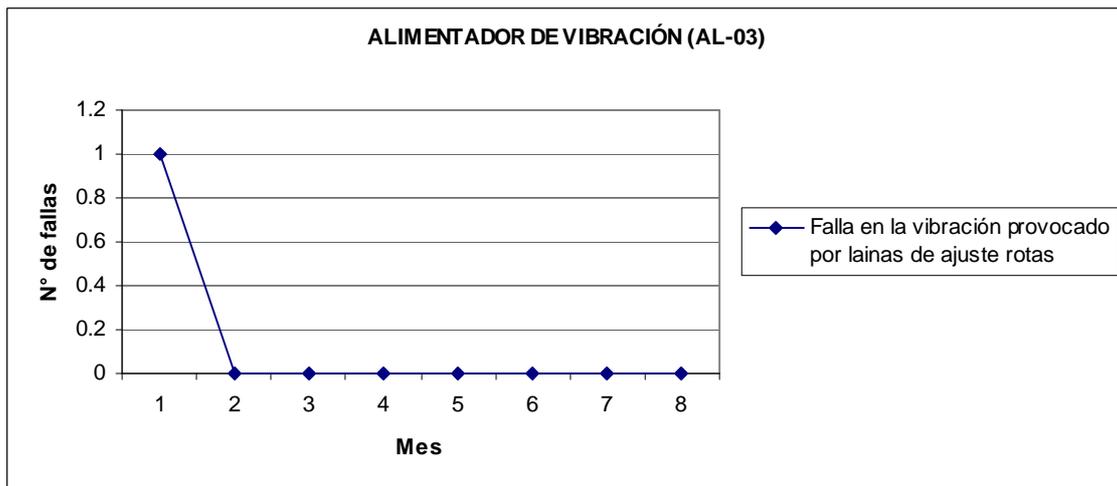


Figura 6.36 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del alimentador de vibración AL-03.

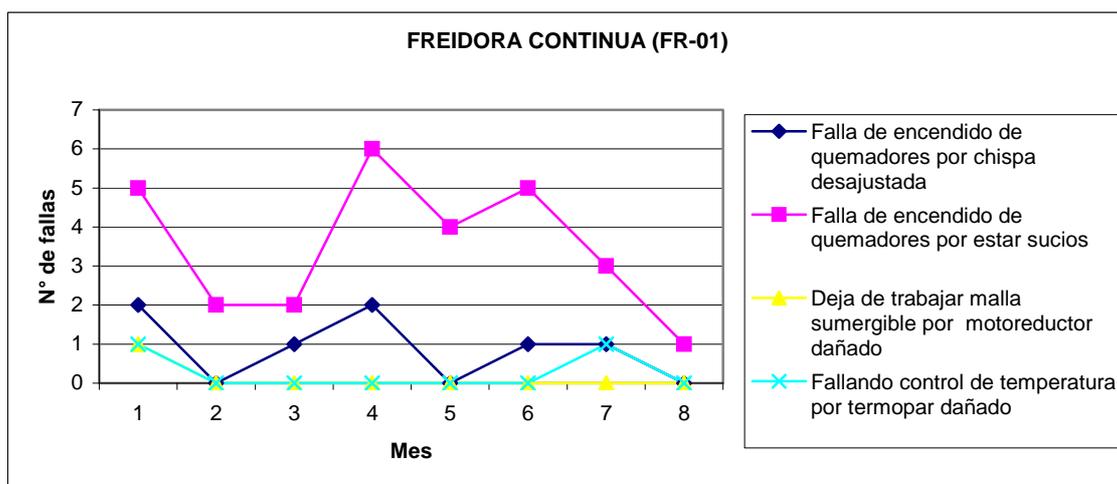


Figura 6.37 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) de la Freidora continua FR-01.

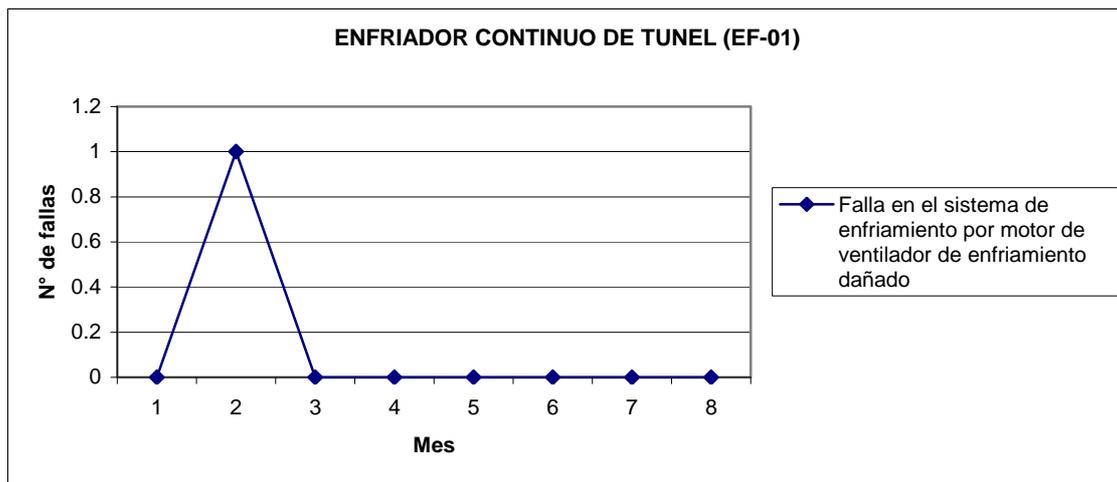


Figura 6.32 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del enfriador continuo de túnel EF-01.

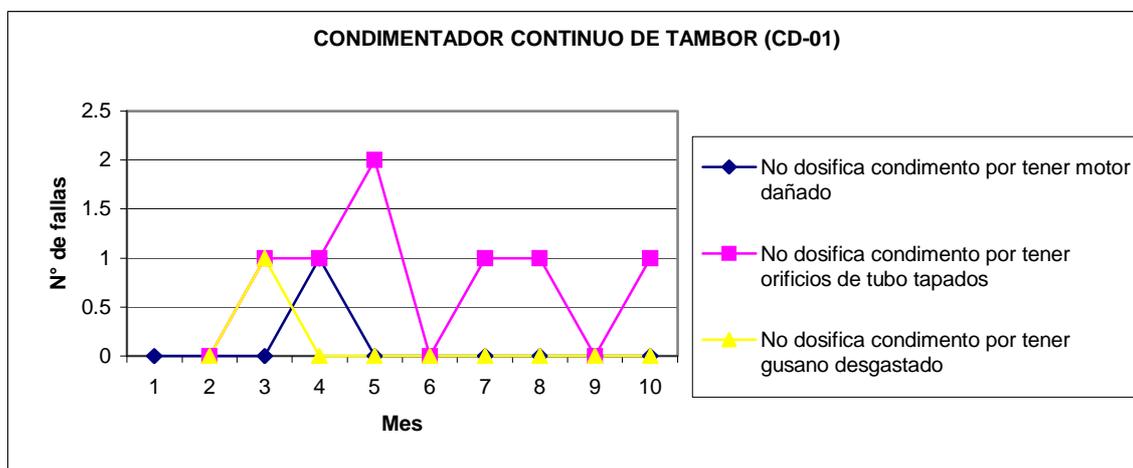


Figura 6.33 Gráfica del número de fallas contra tiempo (meses) del condimentador de tambor CD-01.

Una vez realizadas las gráficas se comienza a hacer el programa de mantenimiento preventivo en base a las fallas que se tuvieron en los meses analizados, obteniendo así una frecuencia de los servicios a realizar y los equipos a intervenir por mes. El método completo se mostró a partir de la página 123. Estos programas se muestran en las tablas 6.14, 6.15, 6.16 y 6.17.

TOSTADOS																		
EQUIPO	CLAVE	ACTIVIDAD	MESES												FRECUENCIA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	PERSONAL	
			E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D				
Tolva a EL-01	TV-01	revisión de tolva y refuerzo de soldadura														6 MESES	1 HR	SOLDADOR
Elevador a tolva 2	EL-01	revisión y/o cambio de volteamador														1 AÑO	30 MIN	MEC 2a
		revisión y puntear pernos de cadena														6 MESES	3 HRS	SOLDADOR
		revisión y ajuste de distancias de catarinas														1 MES	30 MIN	MEC 2a
Tolva SG-01	TV-02	revisión de tolva y refuerzo de soldadura														6 MESES	1 HR	SOLDADOR
		revisión de electroválvula de compuerta														6 MESES	30 MIN	MEC 1a
Separador de gravedad	SG-01	cambio de manta protectora														1 MES	1 HR	MEC 2a
Elevador a TV-03	EL-02	revisión y/o cambio de volteamador														1 MES	30 MIN	MEC 2a
		revisión y puntear pernos de cadena														6 MESES	3 HRS	SOLDADOR
		revisión y ajuste de distancias de catarinas														1 MES	30 MIN	MEC 2a
Tolva del Homo Proctor	TV-03	revisión de tolva y refuerzo de soldadura														6 MESES	1 HR	SOLDADOR
Homo Proctor 01	HR-01	Balaceo dinámico y manto a vent. De circulación 1														1 AÑO	4 HR	EXTERNO
		Balaceo dinámico y manto a vent. De circulación 2														1 AÑO	4 HR	EXTERNO
		Calibración y/o cambio de bujía de ignición 1														1 MES	30 MIN	MEC 2a
		Calibración y/o cambio de bujía de ignición 1														6 MESES	30 MIN	MEC 2a
		revisión y cabeceo de orillas de malla														6 MESES	4 HR	SOLDADOR
Banda reversible de inoxidable	BD-01	revisión de motor														1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
		revisión y/o cambio de catarinas y cadena														1 AÑO	1 HR	MEC 1a
		revisión y/o cambio de eslabones de banda														1 AÑO	1 HR	MEC 2a
Elevador a Banda distribuidora	EL-03	revisión y/o cambio de volteamador														1 MES	30 MIN	MEC 2a
		revisión y puntear pernos de cadena														6 MESES	3 HRS	SOLDADOR
		revisión y ajuste de distancias de catarinas														1 MES	30 MIN	MEC 2a
Banda Distribuidora	BD-02	revisión de motor de banda														1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
		revisión de motor de distribuidor														1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
		revisión y/o cambio de catarinas y cadena														1 AÑO	1 HR	MEC 1a
		revisión y/o cambio de grapas de banda														6 MESES	1 HR	MEC 2a
		revisión y/o cambio de barra de contacto														1 AÑO	30 MIN	MEC 2a
		revisión y/o cambio de microswitch de paro													6 MESES	30 MIN	ELECTRICISTA	
Tolva a Blancher 1	TV-04	revisión de tolva y refuerzo de soldadura														6 MESES	1 HR	SOLDADOR
Tolva a Blancher 2	TV-05	revisión de tolva y refuerzo de soldadura														6 MESES	1 HR	SOLDADOR
Tolva a Blancher 3	TV-06	revisión de tolva y refuerzo de soldadura														6 MESES	1 HR	SOLDADOR
Tolva a Blancher 4	TV-07	revisión de tolva y refuerzo de soldadura														6 MESES	1 HR	SOLDADOR
Blancher 1	BL-01	revisión y/o cambio de chumaceras														1 AÑO	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
		Alineación de rodillos														1 AÑO	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
		revisión, ajuste y/o cambio de banda de fricción														1 AÑO	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
		revisión de extractor														6 MESES	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
Blancher 2	BL-02	revisión y/o cambio de chumaceras														1 AÑO	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
		Alineación de rodillos														1 AÑO	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
		revisión, ajuste y/o cambio de banda de fricción														1 AÑO	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
		revisión de extractor														6 MESES	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
Blancher 3	BL-03	revisión y/o cambio de chumaceras														1 AÑO	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
		Alineación de rodillos														1 AÑO	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
		revisión, ajuste y/o cambio de banda de fricción														1 AÑO	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
		revisión de extractor														6 MESES	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
Blancher 4	BL-04	revisión y/o cambio de chumaceras														1 AÑO	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
		Alineación de rodillos														1 AÑO	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
		revisión, ajuste y/o cambio de banda de fricción														1 AÑO	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
		revisión de extractor														6 MESES	2 HR	MEC 1a Y MEC 2a
Colector de polvos 1	CP-01	revisión de motor de transmisión														1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
		Cambio de bandas de transmisión														1 AÑO	1 HR	MEC 2a
		Limpieza de tubería														2 MESES	2 HR	MEC 2a
Colector de polvos 2	CP-02	revisión de motor de transmisión														1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
		Cambio de bandas de transmisión														1 AÑO	1 HR	MEC 2a
		Limpieza de tubería														2 MESES	2 HR	MEC 2a
Banda Transportadora a EL-04	BD-03	revisión de motor de transmisión														1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
		revisión y/o cambio de catarinas y cadena														1 AÑO	1 HR	MEC 1a
		revisión y/o cambio de grapas de banda														6 MESES	1 HR	MEC 2a
Elevador a Tolva de seleccionadora	EL-04	revisión y/o cambio de volteamador														1 MES	30 MIN	MEC 2a
		revisión y puntear pernos de cadena														6 MESES	3 HRS	SOLDADOR
		revisión y ajuste de distancias de catarinas														1 MES	30 MIN	MEC 2a
Tolva a Seleccionadora	TV-08	revisión de tolva y refuerzo de soldadura														6 MESES	1 HR	SOLDADOR
Seleccionadora óptica	SE-01	Limpieza y manto de inyectores														6 MESES	12 HR	EXTERNO
Banda Transportadora a cernidora	BD-04	revisión de motor de transmisión														1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
		revisión y/o cambio de catarinas y cadena														1 AÑO	1 HR	MEC 1a
		revisión y/o cambio de grapas de banda														6 MESES	1 HR	MEC 2a
Cernidora	CR-01	revisión y ajuste de bielas														6 MESES	1 HR	MEC 1a
		revisión de cigüeñal														6 MESES	1 HR	MEC 1a
		revisión y/o cambio de bandas de transmisión														6 MESES	1 HR	MEC 2a
		revisión de motor													1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA	

Tabla 6.14 Programa de mantenimiento preventivo por mes de los equipos de tostados

CONFITADOS																			
EQUIPO	CLAVE	ACTIVIDAD	MESES												FRECUENCIA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	PERSONAL		
			E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D					
Bombo 1	BB-01	Revisión y/o cambio de catarinas y cadena														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de chumaceras															6 MESES	2 HRS	MEC 1a
		Revisión de motor de transmisión															1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
Bombo 2	BB-02	Revisión y/o cambio de catarinas y cadena														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de chumaceras														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de motor de transmisión															1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
Bombo 3	BB-03	Revisión y/o cambio de catarinas y cadena														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de chumaceras														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de motor de transmisión															1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
Bombo 4	BB-04	Revisión y/o cambio de catarinas y cadena														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de chumaceras														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de motor de transmisión															1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
Bombo 5	BB-05	Revisión y/o cambio de catarinas y cadena														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de chumaceras														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de motor de transmisión															1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
Bombo 6	BB-06	Revisión y/o cambio de catarinas y cadena														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de chumaceras														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de motor de transmisión															1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
Bombo 7	BB-07	Revisión y/o cambio de catarinas y cadena														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de chumaceras														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de motor de transmisión															1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
Bombo 8	BB-08	Revisión y/o cambio de catarinas y cadena														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de chumaceras														6 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión de motor de transmisión															1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA
Mezclador de listón helicoidal	MZ-02	Cambio de empaque cuadrado de teflón														4 MESES	2 HRS	MEC 1a	
		Revisión y/o cambio de chumaceras															1 AÑO	2 HRS	MEC 1a
Tanque de agitación	TQ-02	Cambio de buje interior de teflón														6 MESES	6 HRS	MEC 1a y MEC 2a	
		Revisión de flecha														4 MESES	1 HR	MEC 1a	
Tanque de agitación con chaqueta	TQ-03	Cambio de buje interior de teflón														6 MESES	6 HRS	MEC 1a y MEC 2a	
		Revisión de flecha														4 MESES	1 HR	MEC 1a	
Elevador de cangilones a HR-03	EL-08	revisión y/o cambio de volteador														1 MES	30 MIN	MEC 2a	
		revisión y puntear pernos de cadena														6 MESES	3 HRS	SOLDADOR	
		revisión y ajuste de distancias de catarinas														1 MES	30 MIN	MEC 2a	
Horno rotatorio de flama directa	HR-03	Revisión y punteo de pernos														4 MESES	2 HRS	SOLDADOR	
		Revisión de compuerta de descarga														6 MESES	2 HRS	MEC 2a	
		Ajuste de bujía de encendido														1 MES	1 HR	MEC 1a	
Condimentador por batch	CD-02	Revisión de motor de transmisión														1 AÑO	1 HR	ELECTRICISTA	
		Revisión de bandas														6 MESES	1 HR	MEC 2a	
Enfriador por batch	EF-02	Revisión de transmisión de turbosoplador														6 MESES	1 HR	MEC 2a	
		Revisión de malla														1 AÑO	3 HRS	MEC 1a	

Tabla 6.15 Programa de mantenimiento preventivo por mes de los equipos de confitados

ENVASADOS																			
EQUIPO	CLAVE	ACTIVIDAD	MESES												FRECUENCIA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	PERSONAL		
			E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D					
Envasadora 1	EP-01	Cambio de resistencia de fecha de caducidad													1 MES	30 MIN	electricista		
		Cambio de empaque de teflón de fecha de caducidad														3 MESES	10 MIN	mec 3a	
		Mantenimiento a electroválvula de fecha de caducidad														1 AÑO	30 MIN	mec 1a	
		Mantenimiento a pistón de fecha de caducidad														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Cambio de resistencia de sello vertical														3 MESES	30 MIN	electricista	
		Cambio de goma de tubo formador														1 MES	10 MIN	mec 3a	
		Cambio de fotocelda														1 AÑO	30 MIN	electricista	
		Cambio de bujes de carro														3 MESES	2 HRS	mec 1a y 2a	
		Cambio de cuchilla														1 MES	10 MIN	mec 2a	
		Mantenimiento a electroválvula de cuchilla														1 AÑO	30 MIN	mec 1a	
		Mantenimiento a pistón de cuchilla														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Cambio de mordazas														1 AÑO	1 HR	mec 2a	
		Mantenimiento a electroválvulas de mordazas														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Mantenimiento a pistones de mordazas														1 AÑO	2 HRS	mec 1a	
		Cambio de punch														1 MES	10 MIN	mec 3a	
		Revisión de motor de transmisión														1 AÑO	1 HR	electricista	
		Revisión de reductor														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Banda transportadora de EP-01	BD-13	Reparación de empujadores de banda													3 MESES	1 HR	mec 2a
				Engrapado y tensado de banda													6 MESES	1 HR	mec 2a
Revisión y/o cambio de motorreductor															1 AÑO	1 HR	mec 1a		
Envasadora 2	EP-02	Cambio de resistencia de fecha de caducidad													1 MES	30 MIN	electricista		
		Cambio de empaque de teflón de fecha de caducidad														3 MESES	10 MIN	mec 3a	
		Mantenimiento a electroválvula de fecha de caducidad														1 AÑO	30 MIN	mec 1a	
		Mantenimiento a pistón de fecha de caducidad														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Cambio de resistencia de sello vertical														3 MESES	30 MIN	electricista	
		Cambio de goma de tubo formador														1 MES	10 MIN	mec 3a	
		Cambio de fotocelda														1 AÑO	30 MIN	electricista	
		Cambio de bujes de carro														3 MESES	2 HRS	mec 1a y 2a	
		Cambio de cuchilla														1 MES	10 MIN	mec 2a	
		Mantenimiento a electroválvula de cuchilla														1 AÑO	30 MIN	mec 1a	
		Mantenimiento a pistón de cuchilla														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Cambio de mordazas														1 AÑO	1 HR	mec 2a	
		Mantenimiento a electroválvulas de mordazas														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Mantenimiento a pistones de mordazas														1 AÑO	2 HRS	mec 1a	
		Cambio de punch														1 MES	10 MIN	mec 3a	
		Revisión de motor de transmisión														1 AÑO	1 HR	electricista	
		Revisión de reductor														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Banda transportadora de EP-02	BD-14	Reparación de empujadores de banda													3 MESES	1 HR	mec 2a
				Engrapado y tensado de banda													6 MESES	1 HR	mec 2a
Revisión y/o cambio de motorreductor															1 AÑO	1 HR	mec 1a		
Envasadora 3	EP-03	Cambio de resistencia de fecha de caducidad													1 MES	30 MIN	electricista		
		Cambio de empaque de teflón de fecha de caducidad														3 MESES	10 MIN	mec 3a	
		Mantenimiento a electroválvula de fecha de caducidad														1 AÑO	30 MIN	mec 1a	
		Mantenimiento a pistón de fecha de caducidad														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Cambio de resistencia de sello vertical														3 MESES	30 MIN	electricista	
		Cambio de goma de tubo formador														1 MES	10 MIN	mec 3a	
		Cambio de fotocelda														1 AÑO	30 MIN	electricista	
		Cambio de bujes de carro														3 MESES	2 HRS	mec 1a y 2a	
		Cambio de cuchilla														1 MES	10 MIN	mec 2a	
		Mantenimiento a electroválvula de cuchilla														1 AÑO	30 MIN	mec 1a	
		Mantenimiento a pistón de cuchilla														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Cambio de mordazas														1 AÑO	1 HR	mec 2a	
		Mantenimiento a electroválvulas de mordazas														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Mantenimiento a pistones de mordazas														1 AÑO	2 HRS	mec 1a	
		Cambio de punch														1 MES	10 MIN	mec 3a	
		Revisión de motor de transmisión														1 AÑO	1 HR	electricista	
		Revisión de reductor														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Banda transportadora de EP-03	BD-15	Reparación de empujadores de banda													3 MESES	1 HR	mec 2a
				Engrapado y tensado de banda													6 MESES	1 HR	mec 2a
Revisión y/o cambio de motorreductor															1 AÑO	1 HR	mec 1a		
Envasadora 4	EP-04	Cambio de resistencia de fecha de caducidad													1 MES	30 MIN	electricista		
		Cambio de empaque de teflón de fecha de caducidad														3 MESES	10 MIN	mec 3a	
		Mantenimiento a electroválvula de fecha de caducidad														1 AÑO	30 MIN	mec 1a	
		Mantenimiento a pistón de fecha de caducidad														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Cambio de resistencia de sello vertical														3 MESES	30 MIN	electricista	
		Cambio de goma de tubo formador														1 MES	10 MIN	mec 3a	
		Cambio de fotocelda														1 AÑO	30 MIN	electricista	
		Cambio de bujes de carro														3 MESES	2 HRS	mec 1a y 2a	
		Cambio de cuchilla														1 MES	10 MIN	mec 2a	
		Mantenimiento a electroválvula de cuchilla														1 AÑO	30 MIN	mec 1a	
		Mantenimiento a pistón de cuchilla														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Cambio de mordazas														1 AÑO	1 HR	mec 2a	
		Mantenimiento a electroválvulas de mordazas														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Mantenimiento a pistones de mordazas														1 AÑO	2 HRS	mec 1a	
		Cambio de punch														1 MES	10 MIN	mec 3a	
		Revisión de motor de transmisión														1 AÑO	1 HR	electricista	
		Revisión de reductor														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Banda transportadora de EP-04	BD-16	Reparación de empujadores de banda													3 MESES	1 HR	mec 2a
				Engrapado y tensado de banda													6 MESES	1 HR	mec 2a
Revisión y/o cambio de motorreductor															1 AÑO	1 HR	mec 1a		
Envasadora 5	EP-05	Cambio de resistencia de fecha de caducidad													1 MES	30 MIN	electricista		
		Cambio de empaque de teflón de fecha de caducidad														3 MESES	10 MIN	mec 3a	
		Mantenimiento a electroválvula de fecha de caducidad														1 AÑO	30 MIN	mec 1a	
		Mantenimiento a pistón de fecha de caducidad														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Cambio de resistencia de sello vertical														3 MESES	30 MIN	electricista	
		Cambio de goma de tubo formador														1 MES	10 MIN	mec 3a	
		Cambio de fotocelda														1 AÑO	30 MIN	electricista	
		Cambio de bujes de carro														3 MESES	2 HRS	mec 1a y 2a	
		Cambio de cuchilla														1 MES	10 MIN	mec 2a	
		Mantenimiento a electroválvula de cuchilla														1 AÑO	30 MIN	mec 1a	
		Mantenimiento a pistón de cuchilla														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Cambio de mordazas														1 AÑO	1 HR	mec 2a	
		Mantenimiento a electroválvulas de mordazas														1 AÑO	1 HR	mec 1a	
		Mantenimiento a pistones de mordazas														1 AÑO	2 HRS	mec 1a	
		Cambio de punch														1 MES	10 MIN	mec 3a	
		Revisión de motor de transmisión														1 AÑO	1 HR	electricista	
		Revisión de reductor														1 AÑO	1 HR	mec 1a	

Tabla 6.16 Programa de mantenimiento preventivo por mes de los equipos de envasados



FRITURAS																	
EQUIPO	CLAVE	ACTIVIDAD	MESES												FRECUENCIA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	PERSONAL
			E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D			
Tolva de recepción de cacahuate Elevador de cangilones a TV-16	TV-15 EL-06	revisión de tolva y refuerzo de soldadura													6 MESES	1 HR	SOLDADOR
		revisión y/o cambio de volteador													1 MES	30 MIN	MECÁNICO 2a
		revisión y puntear pernos de cadena													6 MESES	3 HRS	SOLDADOR
Tolva de alimentación a FR-01	TV-16	revisión y ajuste de distancias de catarinas													1 MES	30 MIN	MECÁNICO 2a
		revisión de tolva y refuerzo de soldadura													6 MESES	1 HR	SOLDADOR
		mantenimiento general de alimentador													1 AÑO	4 HRS	mec 1a y 2a
Alimentador de vibración a FR-01 Freidora continua	AL-03 FR-01	Calibración y/o cambio de bujía de ignición 1													1 MES	30 MIN	MECÁNICO 2a
		Limpieza de quemadores													1 MES	1 HR	MECÁNICO 2a
		revisión y/o cambio de motorreductor													1 AÑO	1 HR	mecanico 1A
		revisión y/o cambio de termopar													6 MESES	1 HR	electricista
Enfriador continuo de túnel	EF-01	revisión y/o cambio de motor de ventiladores de enfriamiento													1 AÑO	1 HR	electricista
		revisión y/o cambio de motor del sistema de dosificación													1 AÑO	1 HR	electricista
Condimentador continuo de tambor	CD-01	Limpieza de orificios de tubo dosificador													1 MES	1 HR	mec 3a
		revisión y/o cambio de gusano del dosificador													1 AÑO	2 HR	mec 1a

Tabla 6.17 Programa de mantenimiento preventivo por mes de los equipos de frituras

Una vez teniendo estas tablas, se distribuyeron los mantenimientos preventivos por semana de acuerdo a la frecuencia que se le asignó a cada equipo, obteniéndose así el programa anual de mantenimiento preventivo por semana de cada uno de los equipos.

Este programa se muestra en las tablas 6.18, 6.19, 6.20 y 6.21. En estas tablas también se muestra el costo anual por servicio el cual se sacó de acuerdo al tiempo programado para dicho mantenimiento y el salario por hora del personal asignado.







## 6.4. ANÁLISIS DE DATOS

Una vez teniendo todos los datos se muestra en las tablas 6.22, 6.23, 6.24 y 6.25 un comparativo por área, en el que se enlista equipo, clave y se hace la comparación de lo que se gasta en cada equipo por mantenimiento correctivo y por mantenimiento preventivo para demostrar que se ahorra dinero cuando se emplea el mantenimiento preventivo:

TOSTADOS				
EQUIPO	CLAVE	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN OCHO MESES	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN UN AÑO	CANTIDAD AHORRADA POR MANO DE OBRA
Tolva a EL-01	TV-01	\$125.00	\$62.50	\$62.50
Elevador a tolva 2	EL-01	\$3,000.00	\$512.50	\$2,487.50
Tolva SG-01	TV-02	\$156.25	\$93.75	\$62.50
Separador de gravedad	SG-01	\$200.00	\$325.00	-\$125.00
Elevador a TV-03	EL-02	\$3,000.00	\$512.50	\$2,487.50
Tolva del Horno Proctor	TV-03	\$62.50	\$62.50	\$0.00
HORNO PROCOTOR 01	HR-01	\$93.75		\$93.75
Banda transportadora HR-01		\$93.75	\$250.00	-\$156.25
Ventilador de circulacion 1		\$1,800.00	\$1,200.00	\$600.00
Ventilador de circulacion 2		\$1,800.00	\$1,200.00	\$600.00
Quemador seccion 1		\$156.25	\$162.50	-\$6.25
Quemador seccion 2		\$31.25	\$25.00	\$6.25
Sistema de control		\$62.50		\$62.50
Banda reversible de inoxidable	BD-01	\$132.50	\$87.50	\$45.00
Elevadora Banda distribuidora	EL-03	\$1,712.50	\$512.50	\$1,200.00
Banda Distribuidora	BD-02	\$165.63	\$187.50	-\$21.88
Tolva a Blancher 1	TV-04	\$62.50	\$62.50	\$0.00
Tolva a Blancher 2	TV-05	\$62.50	\$62.50	\$0.00
Tolva a Blancher 3	TV-06	\$62.50	\$62.50	\$0.00
Tolva a Blancher 4	TV-07	\$62.50	\$62.50	\$0.00
Blancher 1	BL-01	\$743.75	\$562.50	\$181.25
Blancher2	BL-02	\$743.75	\$562.50	\$181.25
Blancher3	BL-03	\$743.75	\$562.50	\$181.25
Blancher4	BL-04	\$743.75	\$562.50	\$181.25
Colector de polvos 1	CP-01	\$216.25	\$356.25	-\$140.00
Colector de polvos 2	CP-02	\$216.25	\$350.00	-\$133.75
Banda Transportadora a EL-04	BD-03	\$336.25	\$112.50	\$223.75
Elevador a Tolva de seleccionadora	EL-04	\$1,812.50	\$212.50	\$1,600.00
Tolva a Seleccionadora	TV-08	\$62.50	\$62.50	\$0.00
Seleccionadora óptica	SE-01	\$4,500.00	\$3,000.00	\$1,500.00
Banda Transportadora a cernidora	BD-04	\$336.25	\$112.50	\$223.75
Cernidora	CR-01	\$368.75	\$206.25	\$162.50

Tabla 6.22 Comparativo del costo por mantenimiento correctivo y el costo por mantenimiento preventivo en el área de Tostados.

CONFITADOS				
EQUIPO	CLAVE	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN OCHO MESES	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN UN AÑO	CANTIDAD AHORRADA POR MANO DE OBRA
Bombo 1	BB-01	\$93.75	\$281.25	-\$187.50
Bombo 2	BB-02	\$93.75	\$281.25	-\$187.50
Bombo 3	BB-03	\$93.75	\$281.25	-\$187.50
Bombo 4	BB-04	\$93.75	\$281.25	-\$187.50
Bombo 5	BB-05	\$93.75	\$281.25	-\$187.50
Bombo 6	BB-06	\$93.75	\$281.25	-\$187.50
Bombo 7	BB-07	\$93.75	\$281.25	-\$187.50
Bombo 8	BB-08	\$93.75	\$281.25	-\$187.50
Mezclador de listón helicoidal	MZ-02	\$287.50	\$437.50	-\$150.00
Tanque de agitación	TQ-02	\$2,362.50	\$800.00	\$1,562.50
Tanque de agitación con chaqueta	TQ-03	\$2,362.50	\$800.00	\$1,562.50
Elevador de cangilones a HR-03	EL-08	\$1,812.50	\$512.50	\$1,300.00
Horno rotatorio de flama directa	HR-03	\$756.25	\$693.75	\$62.50
Condimentador por batch	CD-02	\$251.25	\$81.25	\$170.00
Enfriador por batch	EF-02	\$242.50	\$143.75	\$98.75

Tabla 6.23 Comparativo del costo por mantenimiento correctivo y el costo por mantenimiento preventivo en el área de Confitados.

ENVASADOS				
EQUIPO	CLAVE	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN OCHO MESES	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN UN AÑO	CANTIDAD AHORRADA POR MANO DE OBRA
Envasadora 1	EP-01	\$2,091.25	\$1,285.58	\$805.68
Banda transportadora de EP-01	BD-13	\$400.00	\$231.25	\$168.75
Envasadora 2	EP-02	\$2,091.25	\$1,285.58	\$805.67
Banda transportadora de EP-02	BD-14	\$400.00	\$231.25	\$168.75
Envasadora 3	EP-03	\$2,091.25	\$1,285.58	\$805.67
Banda transportadora de EP-03	BD-15	\$400.00	\$231.25	\$168.75
Envasadora 4	EP-04	\$2,091.25	\$1,285.58	\$805.67
Banda transportadora de EP-04	BD-16	\$400.00	\$231.25	\$168.75
Envasadora 5	EP-05	\$2,091.25	\$1,285.25	\$806.00
Banda transportadora de EP-05	BD-17	\$400.00	\$231.25	\$168.75
Envasadora 6	EP-06	\$2,091.25	\$1,285.58	\$805.67
Banda transportadora de EP-06	BD-18	\$400.00	\$231.25	\$168.75
Envasadora 7	EP-07	\$2,091.25	\$1,285.58	\$805.67
Banda transportadora de EP-07	BD-19	\$400.00	\$231.25	\$168.75
Envasadora 8	EP-08	\$2,091.25	\$1,285.58	\$805.67
Banda transportadora de EP-08	BD-20	\$400.00	\$231.25	\$168.75
Envasadora 9	EP-09	\$2,091.25	\$1,285.58	\$805.67
Banda transportadora de EP-09	BD-21	\$400.00	\$200.00	\$200.00
Selladora de cajas	SC-01	\$171.88	\$62.50	\$109.38

Tabla 6.24 Comparativo del costo por mantenimiento correctivo y el costo por mantenimiento preventivo en el área de Envasados.

FRITURAS				
EQUIPO	CLAVE	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN OCHO MESES	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN UN AÑO	CANTIDAD AHORRADA POR MANO DE OBRA
Tolva de recepción de cacahuete	TV-15	\$62.50	\$62.50	\$0.00
Elevador de cangilones a TV-16	EL-06	\$1,812.50	\$512.50	\$1,300.00
Tolva de alimentación a FR-01	TV-16	\$62.50	\$62.50	\$0.00
Alimentador de vibración a FR-01	AL-03	\$62.50	\$225.00	-\$162.50
Freidora continua	FR-01	\$856.88	\$418.75	\$438.13
Enfriador continuo de túnel	EF-01	\$31.25	\$31.25	\$0.00
Condimentador continuo de tambor	CD-01	\$233.75	\$353.75	-\$120.00

Tabla 6.25 Comparativo del costo por mantenimiento correctivo y el costo por mantenimiento preventivo en el área de Frituras.

Cantidad ahorrada:

Tostados \$ 11,559.37

Confitados \$ 3,106.25

Envasados \$ 8,910.74

Frituras \$ 1,455.62

Cantidad total ahorrada en toda la planta en mano de obra por mantenimiento

**\$ 25,031.98**

Cabe mencionar que esta cantidad es lo que se ahorra en mano de obra al implantar y trabajar con un programa de mantenimiento preventivo, en vez de trabajar siempre con el mantenimiento correctivo. Sin embargo, el ahorro aumenta ya que aquí no se está considerando el costo de las refacciones utilizadas, para las cuales, en el caso del mantenimiento correctivo, se incurre en gastos mayores ya que las refacciones pedidas de emergencia suelen aumentar de precio debido a stocks y disponibilidad que tienen los proveedores, así como la entrega inmediata, a diferencia con el mantenimiento preventivo en el cual se sabe cuando se va a dar mantenimiento al equipo, así como las refacciones a utilizar y en el

que se puede hacer las compras de las refacciones programadas lo que disminuye el costo de éstas.

Tampoco está considerado el paro imprevisto de la producción cuando se usa únicamente el mantenimiento correctivo a diferencia del mantenimiento preventivo en el cual el equipo es programado para su paro.

Estos últimos dos conceptos mencionados (refacciones y producción) aumentan aún mas el costo por mantenimiento correctivo aumentando de esta manera la cantidad total ahorrada por el mantenimiento preventivo.

## **CAPITULO VII**

# **EL FUTURO DEL MANTENIMIENTO**

## **7. EL FUTURO DEL MANTENIMIENTO**

La administración del mantenimiento ha tenido que cambiar para estar al día con el cambiante lugar de trabajo. La escala del cambio va desde un solo trabajador vigilando un sencillo y robusto molino de agua, hasta los ingenieros de confiabilidad desarrollando programas de mantenimiento predictivo, eficaces en costos, para un grupo de robots soldadores. Varias metodologías han sido desarrolladas para ayudar al ingeniero de mantenimiento en estos cambios.

### **7.1. DISEÑO DE LA FACTIBILIDAD DEL MANTENIMIENTO**

La factibilidad del mantenimiento se define como la probabilidad de realizar el mantenimiento de un equipo en un tiempo específico. Este período podría ser el tiempo medio para la reparación (MTTR).

El tiempo muerto por reparación es el tiempo total desde la falla o pérdida de la función hasta la aceptación por parte del "cliente" del restablecimiento de la función, a fin de que pueda comenzar la producción plena. Hay varias fases entre estos dos puntos, los cuales son:

- Identificación de la falla
- Notificación a mantenimiento
- Inspección del sitio
- Preparación de recursos
- Viaje al sitio
- Reparación
- Prueba
- Puesta en servicio

El diseño para mantenibilidad tiene como objetivo reducir la frecuencia de las reparaciones requeridas, la duración del tiempo de reparación y el tiempo total de intervención de mantenimiento, incluyendo las tareas de mantenimiento preventivo.

El diseño con vistas a evitar el mantenimiento comienza cuando se formulan las necesidades presentes y futuras de equipo por parte del cliente. Durante este tiempo, se debe recopilar y organizar la información de los usuarios actuales del diseño existente sobre problemas encontrados y darle solución a éstos, así como información acerca de las mejoras hechas al equipo durante su operación y mantenimiento de rutina.

El plan del nuevo producto se establece tomando en cuenta todo el costo del ciclo de vida, incluyendo los costos de la adquisición original, su instalación, prueba, operaciones, mantenimiento y eliminación. Durante la etapa de diseño, se incorporan nuevos estándares sobre la base de tecnologías recientemente desarrolladas, análisis de fallas y causas fundamentales del modelo actual, y pruebas de contabilidad.

Durante la fase del desarrollo del prototipo se identifican los problemas de manufactura y especificaciones, tanto por fenómeno como por componentes de la máquina. Esta información se retroalimenta al plan de mercadotecnia y del producto, así como a través de una revisión detallada del diseño, antes de proceder a la producción real. Una vez producido e instalado en la planta del cliente, se estudian nuevamente los aspectos de confiabilidad y mantenibilidad y se incorporan en los modelos futuros mejorados.

Los clientes actualmente están buscando un valor global en el equipo. ¿Les permitirá elaborar productos con alta calidad y bajo costo durante ciclos cortos? ¿Proporcionará un buen servicio con un mínimo de riesgo para el negocio, la seguridad y el ambiente?

El diseño con miras a la prevención del mantenimiento deberá tener las siguientes características:

- Elementos incorporados de diagnóstico en búsqueda de anomalías. Causas fundamentales de fallas y procedimiento de restablecimiento.
- Facilidad para desarmarse y armarse
- Facilidad y rapidez en las preparaciones y en los cambios.
- Incorporación de sistemas expertos

- Facilidad de limpieza, inspección, lubricación, ajuste y reemplazo de componentes
- Operación limpia, sin excesivo esparcimiento de aceite y desperdicios.
- Protección contra el polvo y suciedad en mecanismos sensibles
- Consumo eficiente de energía, amable con el ambiente y seguro.
- Adaptable a varias ubicaciones de la planta y ambientes.
- A prueba de impericia, de manera que sea más fácil seguir los procedimientos correctos que los incorrectos.
- Alta contabilidad y precisión.
- Facilidad en el arranque inicial.

## **7.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)**

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) fue desarrollado por la industria de la aviación civil en Estados Unidos. La "Federal Aviation Administration (FAA) de Estados Unidos comisionó a la empresa United Airlines para emprender un estudio de la eficacia de las reparaciones generales, basadas en el tiempo, de componentes complejos en los sistemas de los equipos de las aeronaves civiles. Existía la creencia de que estas reparaciones generales basadas en el tiempo no contribuían mucho para reducir la frecuencia de las fallas y no eran económicas. Este estudio se llevó a cabo en el momento en que se estaban diseñando aeronaves de cuerpo amplio, y la complejidad de los sistemas de los equipos y sus componentes había crecido dramáticamente con respecto a los diseños anteriores. La conclusión clave fue que las reparaciones generales, basadas en el tiempo, de equipos complejos no afectaban de manera significativa, ni positiva ni negativamente, la frecuencia de las fallas. En algunos equipos en realidad la frecuencia de las fallas era mayor inmediatamente después de una reparación general. Este estudio demostró que la probabilidad condicional de falla, denominada "de la tina de baño", contra la curva de la edad era sólo uno de los seis principales patrones de fallas. El patrón de fallas más común en los equipos complejos es aquel que muestra una elevada "mortalidad infantil"; es decir, la máxima probabilidad condicional de falla ocurre en los primeros

períodos de la edad del equipo, luego disminuye hasta una tasa constante de fallas, como se describe en la figura 7.1

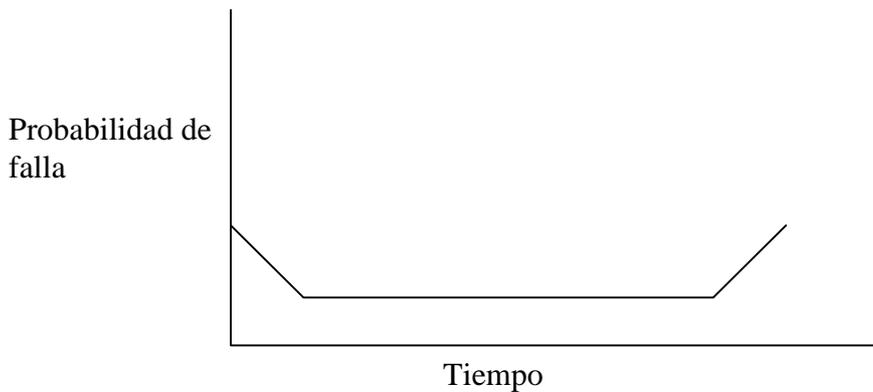


Figura 7.1 Probabilidad condicional de la falla contra la edad del tiempo

Las reparaciones generales programadas, basadas en el tiempo, "restablecen" la edad de nuevo a 0, incrementando de esta forma la probabilidad de falla. Durante la mayor parte de la vida del equipo complejo, las fallas están relacionadas con eventos aleatorios, como cargas de choque, sobrevoltaje, prácticas incorrectas de lubricación, operación inadecuada, etc. Estos eventos aleatorios provocan un deterioro acelerado del funcionamiento del equipo, el cual a menudo puede monitorearse empleando técnicas de mantenimiento preventivo basado en las condiciones.

El mantenimiento centrado en la contabilidad es una metodología lógica derivada de esta investigación en el sector de la aviación, y hace uso de la herramienta del análisis de modo de falla, efecto y grado crítico (FMECA). La metodología sigue los pasos dados a continuación:

1. Seleccione los sistemas del equipo que sean más importantes para la planta, la instalación, la flotilla o algún otro activo.
2. Defina el rendimiento o función esperada de este equipo y, por lo tanto, lo que constituye una falla funcional.
3. Identifique las causas fundamentales de la falla funcional.

4. Determine el efecto, para estas causas, en una secuencia de eventos en términos de seguridad, ambiente, producción, o si es un efecto oculto (por ejemplo, el mecanismo del botón de emergencia de un elevador podría fallar, aunque la falla no se conocería hasta que se necesitara la función, a menos que se probara).
5. Calcular el grado crítico del efecto de dicha falla.
6. Emplear un diagrama lógico, (se presenta ejemplo en figura 7.2), para seleccionar la táctica de mantenimiento más apropiada para prevenir la falla.
7. Determinar la acción específica que prevenga la falla funcional y su frecuencia de programación, con base en un análisis de la historia del equipo o mediante la experiencia de expertos apropiados.
8. Si no existe una tarea preventiva que sea apropiada, determine si puede operarse hasta que se presente la falla, si se justifica un rediseño, o si existe una prueba que pueda realizarse para determinar la falla.

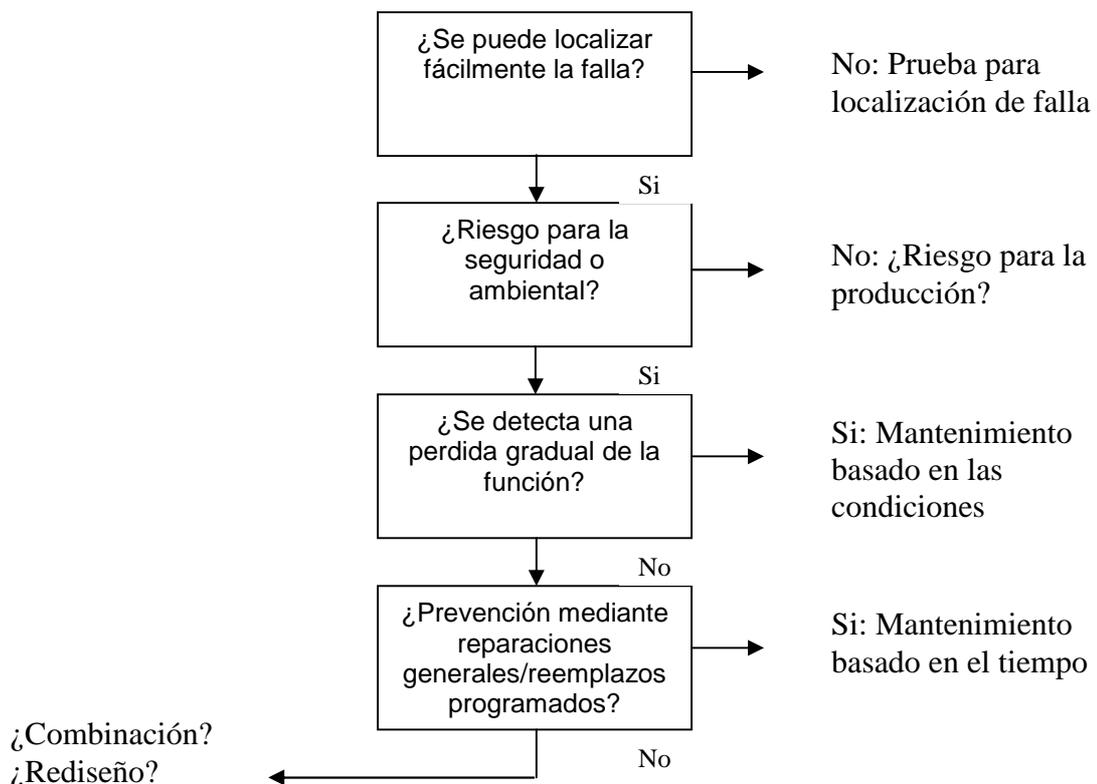


Figura 7.2 Diagrama de árbol lógico simplificado para MCC

El mantenimiento centrado en la contabilidad (MCC) asegura que se emprendan las acciones correctas de mantenimiento preventivo o predictivo y elimina aquellas tareas que no producen ningún impacto en la frecuencia de fallas. Debido al enfoque riguroso para definir funciones, normas, mecanismo de falla, efectos y grado crítico, el sistema del equipo que está bajo revisión se entiende mucho mejor que antes de la revisión. El resultado de cada estudio del MCC del sistema de un equipo es una lista de acciones de mantenimiento, programas y responsabilidades. Éstas, a su vez, dan por resultado una mejor disponibilidad, confiabilidad y rendimiento operativo del equipo, y eficacia en costos. Aun cuando el MCC favorece las tácticas del mantenimiento centrado en las condiciones, si la falla no da motivo a una preocupación en cuanto a la seguridad y no tiene un impacto económicamente significativo en la producción, una de las opciones presentadas en el árbol lógico del MCC es operar el equipo hasta que falle (es decir, no hay mantenimiento programado).

### **7.3. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)**

El mantenimiento productivo total (TPM) es un enfoque gerencial para el mantenimiento que se centra en la participación de todos los empleados de una organización en la mejora del equipo. Este método se desarrolló en el sector manufacturero japonés, comenzando con la aplicación del mantenimiento preventivo al estilo norteamericano y europeo y avanzando hasta la aplicación de los conceptos de la administración de la calidad total y la manufactura justo a tiempo al campo del mantenimiento de los equipos.

El Instituto Japonés de Ingenieros de Planta definió el TPM en 1971 con cinco metas claves:

1. Maximizar la eficacia global del equipo, que incluye disponibilidad, eficiencia en el proceso y calidad del producto.
2. Aplicar un enfoque sistemático para la contabilidad, la factibilidad del mantenimiento y los costos del ciclo de vida.
3. Hacer participar a operaciones, administración de materiales, mantenimiento, ingeniería y administración en el control del equipo.
4. Involucrar a todos los niveles gerenciales y a los trabajadores.

5. Mejorar el rendimiento del equipo mediante actividades de grupos pequeños y el desempeño del equipo de trabajadores.

Los operadores del equipo son el punto central de las actividades del TPM. Aunque la mayoría de los operadores entienden lo que hace su equipo, pocos comprenden los mecanismos fundamentales sobre cómo funciona. El término "mantenimiento autónomo" se utiliza para describir las actividades de los operadores que se relacionan con el mantenimiento del equipo y con la naturaleza de estudio independiente de otras acciones de mejora del equipo. Los operadores realizarán tareas de limpieza, inspección, lubricación, ajustes, cambios de componentes menores y otras tareas de mantenimiento ligero que requieren cierta capacitación e instrucción, pero no destrezas completas de mantenimiento. El operador gradualmente aprende cómo diagnosticar los problemas del equipo antes de que se vuelvan serios.

En el TPM, siempre que un equipo funciona por debajo del nivel requerido, la pérdida de funcionamiento se registra y se monitorea. Estas pérdidas pueden agruparse en seis categorías:

1. Descomposturas.
2. Preparación y ajustes.
3. Trabajo en vacío y paros menores.
4. Reducción en la velocidad.
5. Defectos.
6. Pérdidas de rendimiento.

Las descomposturas y las preparaciones ocasionan tiempo muerto y producen un impacto en la disponibilidad; la reducción en la velocidad tiene un impacto en el tiempo del ciclo, y los defectos y pérdidas de rendimiento tienen un impacto en la calidad. La eficacia global del equipo, definida como el producto de disponibilidad, tiempo del ciclo y tasa de calidad, es la medida clave de eficacia del TPM. El operador y el trabajador de mantenimiento son capacitados para identificar problemas relacionados con la eficacia global del equipo y para realizar conjuntamente análisis de causas fundamentales para investigar las pérdidas.

Dentro del departamento de mantenimiento, la metodología del TPM fomenta el desarrollo de la planeación sistemática y el control del mantenimiento preventivo y correctivo, y apoya plenamente las actividades autónomas realizadas por el operador. En las plantas en donde el entorno de operación y mantenimiento ha sido mejorado hasta el punto de disminuir las devoluciones, se emprenden actividades para una prevención activa del mantenimiento. En todo momento deberá ponerse mucho énfasis en mejorar las habilidades del operador y del trabajador de mantenimiento. Los gastos en la capacitación son normalmente del orden del 5% al 8% del presupuesto para mano de obra.

### **7.3.1. Otorgamiento de facultades a los empleados**

No es necesario recalcar los beneficios de hacer participar a los operadores en el éxito del TPM. Una forma pragmática de lograr esto es empleando un método sistemático, basado en datos, para la transferencia de destrezas. La transferencia de destrezas es el proceso de sacar las tareas que requieren destrezas bajas del dominio exclusivo de un grupo y llevarlas a una zona de tareas compartidas. Bajo esta política, un operador que haya sido capacitado y certificado adecuadamente puede realizar la tarea de un mecánico y viceversa. Esta sociedad entre la función de operaciones y la de mantenimiento tiene muchos beneficios que incluyen los siguientes:

- Los operadores y los mecánicos se convierten en personal con habilidades múltiples, lo cual conduce a un enriquecimiento del trabajo y a una mayor flexibilidad de los trabajadores.
- La participación de los operadores en el mantenimiento de rutina crea un sentido de responsabilidad, orgullo y propiedad.
- Los tiempos de demora se reducen y se incrementa la productividad.
- Se promueve el trabajo en equipo entre las funciones de operaciones y mantenimiento.

### 7.3.2. Administración del equipo

La meta fundamental del TPM con respecto al equipo es aumentar su eficacia hasta su máximo potencial y mantenerlo en dicho nivel. Esto puede lograrse entendiendo las siguientes seis pérdidas y diseñando medios para eliminarlas.

El equipo es el punto focal del TPM. Este esfuerzo comienza identificando las pérdidas importantes del equipo. Las siguientes seis pérdidas limitan la eficacia del equipo:

1. *Fallas del equipo.* Las descomposturas representan un gran porcentaje de las pérdidas totales. Deben hacerse todos los intentos por evitarlas. Para maximizar la eficacia del equipo, las descomposturas deben reducirse a 0 cambiando la actitud de que las descomposturas son inevitables.
2. *Tiempo muerto por preparación y ajustes.* Cuando termina la producción de un tipo dado de producto y el equipo se ajusta para estar listo a producir otro tipo de producto, se presentan pérdidas debido al tiempo muerto de preparación y a productos defectuosos. Estas pérdidas pueden disminuirse reduciendo el tiempo de preparación. Muchas compañías están trabajando para lograr preparaciones de un solo minuto.
3. *Trabajo en vacío y paros menores.* La producción puede verse interrumpida debido a un mal funcionamiento o a que una máquina esté ociosa entre la elaboración de dos productos. Las fuentes de estas pérdidas deben identificarse y eliminarse. La eliminación de los paros menores es una condición previa y esencial para la producción automatizada.
4. *Reducción de la velocidad.* Estas pérdidas corresponden a la diferencia entre la velocidad de diseño del equipo y la velocidad de operación real. La reducción de la velocidad puede deberse a problemas mecánicos y a una calidad defectuosa, o puede ser impuesta por el operador por temor de abusar del equipo. En otros casos, tal vez ni siquiera se conozca la velocidad óptima. El aumento de la velocidad da por resultado una mejora clara de la productividad

si se identifican y se eliminan las razones de trabajar a una velocidad reducida.

5. *Defectos del proceso.* Éstos constituyen pérdidas en calidad ocasionadas por el proceso. Las condiciones que ocasionan el defecto deben identificarse y eliminarse.
6. *Rendimiento reducido.* Consiste en las pérdidas de arranque que ocurren durante las primeras etapas de la producción, desde el principio hasta su estabilización.

La mejora de la eficacia del equipo requiere la medición de estas pérdidas. Las seis pérdidas anteriores afectan la disponibilidad del equipo, su eficiencia y la calidad del producto de la siguiente forma:

1. La disponibilidad del equipo se ve afectada por la preparación y los ajustes y por las fallas del equipo.
2. La eficiencia del equipo se ve afectada por trabajar en vacío y paros menores y la reducción de la velocidad.
3. El rendimiento reducido y los defectos del proceso afectan la calidad del producto.

### **7.3.3. Implantación del TPM**

Nakajima sugiere los siguientes doce pasos para implantar el TPM:

1. Anunciar la decisión de la alta dirección de introducir el TPM.
2. Lanzar una campaña educativa para introducir el TPM.
3. Crear organizaciones para promover el TPM.
4. Establecer políticas básicas de TPM.
5. Formular un plan maestro para el desarrollo del TPM.
6. Mantener el impulso del TPM.
7. Mejorar la eficacia de cada equipo.
8. Desarrollar un programa autónomo de mantenimiento.
9. Desarrollar un programa de mantenimiento programado para el departamento de mantenimiento.

10. Llevar a cabo una capacitación para mejorar las destrezas en operaciones y mantenimiento.
11. Desarrollar un programa eficaz de administración.
12. Perfeccionar la implantación del TPM y elevar sus niveles.

El TPM permite obtener mejoras fundamentales dentro de la organización mejorando la utilización de los trabajadores y del equipo. La mejora en la eficacia del equipo y en las actitudes de los empleados son elementos clave en la mejora global dentro de la organización.

#### **7.4. BENCHMARKING Y MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL**

Aunque el benchmarking o comparación por patrones de referencia como enfoque gerencial hacia la mejora continua comenzó en la década de 1980, sus raíces se remontan a los tiempos en que los artesanos ponían una marca permanente en sus bancos de trabajo para asegurar que el avance de su trabajo se midiera contra un estándar adecuado y consistente. El benchmarking actual tiene sus raíces en la administración de la calidad total, cuando las corporaciones que buscaban obtener reconocimiento como compañías de calidad total, mediante premios como el Malcolm Baldrige National Quality Award de Estados Unidos o el Premio PM del Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta, hacían recorridos en otras compañías que habían ganado estos premios para ver cómo lo habían logrado. La corporación Xerox fue pionera en el benchmarking competitivo, y en la actualidad se acepta de manera general una definición completa basada en su trabajo original: "El benchmarking es un proceso sistemático continuo para evaluar productos, servicios y el proceso del trabajo de las organizaciones de las que se reconoce que representan las mejores prácticas con fines de mejora de la organización".

La selección de los socios en el benchmarking puede provenir de otros departamentos o plantas dentro de la organización (internamente), competidores directos, el sector industrial en general, o de cualquier empresa independiente del sector, que realiza la función o proceso que está bajo revisión mejor que la mayoría. Por tanto, una planta para el estampado de partes automotrices que desee aplicar el benchmarking al mantenimiento

predictivo podría observar plantas hermanas en los otros lugares de la compañía, en otras plantas para estampado de partes automotrices de la competencia, en fabricantes metálicos en general de la industria, o en una refinería petroquímica, una planta de energía nuclear o una línea aérea, cada una con razones precisas para ser muy buena en el mantenimiento predictivo.

El benchmarking, como una metodología para mejora continua, busca tanto los parámetros como los procesos para alcanzar estos parámetros. La metodología comienza con una comprensión total del desempeño de la planta anfitriona y aquellos procesos que son elementales para el éxito de la planta. Esto representará el alcance de lo que debe fijarse como referencia. En la administración del mantenimiento se hace una evaluación de diez áreas, y tres o cuatro de las áreas más críticas son candidatas para el ejercicio de benchmarking. Un equipo de trabajo formado por personal de mantenimiento, ingeniería, materiales y operaciones examina lo siguiente:

1. Planeación a largo plazo e iniciativas de mejora.
2. Organización y planeación de la fuerza laboral.
3. Planeación, programación y control del trabajo.
4. Compras, almacenes y control de inventarios.
5. Mantenimiento preventivo y predictivo.
6. Medidas y estadística de desempeño.
7. Administración y sistemas de información.
8. Ingeniería de confiabilidad.
9. Interfaz y comunicación de mantenimiento/producción.
10. Administración y procesos administrativos.

Las medidas de desempeño para la administración del mantenimiento están disponibles desde hace algún tiempo en varios sectores industriales (por ejemplo, aerolíneas, generación de energía, refinación de petróleo/gas/petroquímica y procesamiento de pulpa/papel); sin embargo, la documentación de las actividades en los diez procesos anteriores para determinar cómo se han alcanzado estas medidas de desempeño debe hacerse mediante un benchmarking competitivo.

La aplicación del benchmarking a un proceso para desarrollar un programa de mantenimiento preventivo y predictivo (MP) eficaz en costos, implica entender la relación causal entre este proceso y otros y sus estadísticas de desempeño. Un programa de MP de clase mundial hace uso de las siguientes técnicas analíticas:

- Análisis de modo de falla y efecto (AMEF). Esta técnica se vio en el capítulo 5 sección 5.1.8
- Análisis de causas fundamentales.
- Métodos rutinarios para el monitoreo del funcionamiento del equipo, como monitoreo de vibraciones, análisis de lubricantes, termografía, análisis de tendencias mediante historia del equipo y sistemas expertos para diagnóstico. Estos métodos se vieron a detalle en el capítulo 1 en la sección 1.2.4

#### ***7.4.1. Análisis de causas fundamentales***

Para desarrollar un programa de mejora, es necesario corregir los factores deficientes identificados en el análisis ABC. El análisis de causas fundamentales es una herramienta adecuada para identificar las causas y remediar los factores deficientes.

El análisis de causas fundamentales se refiere al proceso de identificar la causa más básica de una condición no deseable o problema. La herramienta mas poderosa para el análisis de causas fundamentales es el diagrama de causa y efecto visto en el capítulo 5 en el punto 5.1.4

Todas estas técnicas vistas en este capítulo son las técnicas mas avanzadas que existen para en la actualidad para el mantenimiento. Es de esperarse que en algunos años la mayoría de las empresas ya no van a tener mantenimientos correctivos ni preventivos como tal, sino que ahora se basen en el mantenimiento predictivo y el TPM debido a las grandes ventajas que se tienen con estas técnicas.

El futuro del mantenimiento es incierto, pero de lo que si se esta seguro es que día con día se harán mas estudios y se descubrirán otras técnicas de mantenimiento que aumenten en mucho las ventajas que se tienen con las actuales técnicas.

## CONCLUSIONES

En muchas industrias utilizan el mantenimiento correctivo como principal método para mantener los equipos en condiciones de operación, sin embargo esto en la actualidad ya no es viable, ya que se generan gastos excesivos e innecesarios.

Por tal motivo se debe llevar a cabo un plan para la implementación del mantenimiento preventivo, mediante la programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario cumplen su propósito el cual es prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.

Esto se logró al inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno.

Al implementar un programa de mantenimiento preventivo obtuvimos las siguientes ventajas:

- Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
- Mayor duración, de los equipos e instalaciones.
- Disminución de existencias en Almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones.

Por consiguiente, la implementación del mantenimiento preventivo se puede considerar una inversión a mediano plazo ya que disminuye los costos de

mantenimiento, aumenta la productividad de la planta al tener en optimas condiciones los equipos, disminuye el costo de refaccionamiento así como de urgencias de refacciones que aumentan considerablemente su costo, aprovecha mejor el recurso humano al tener actividades previamente programadas, se ahorran cargos extras por servicios externos de emergencia los cuales suelen aumentar de precio cuando se les requiere de urgencia.

Es cierto que para la implementación del mantenimiento preventivo se necesita un tiempo determinado y poder realizar varios análisis para poder llegar a un buen programa de mantenimiento, pero haciendo un análisis costo-beneficio, este trabajo de implementación vale la pena a mediano plazo. Se aconseja que se use como una estrategia para gestionar adecuadamente cualquier tipo de industria y de esta forma poder disminuir gastos diversos.

## BIBLIOGRAFÍA

DUFFUAA, Salih, RAOUF, A. y CAMPBELL, John. *Sistemas de mantenimiento planeación y control*. México: Limusa Wiley, 2000.

TAJIRI, Masaji y GOTOH, Fumio. *TPM implementation a japanese approach*. México: McGraw-Hill.

KELLY, Anthony. *Maintenance management auditing, in search of maintenance management excellence*. España: Industrial Press.

LEVITT, Joel. *Complete guide to preventive and predictive maintenance*. España: Industrial Press.

LEVITT, Joel. *Managing factory maintenance*. España: Industrial Press.

BALDIN, Asturio. et al. *Manual de mantenimiento de instalaciones industriales*. Barcelona: Gustavo Gill, S.A., 1982.

NAVARRO E., Luis, PASTOR T., Ana Clara y MUGABURU L., Jaime Miguel. *Gestión integral de mantenimiento*. México: Marcombo.

PEIDRÓ B., Jorge, TORMOS M., Bernardo y OLMEDA, G., Pablo. *Problemas de ingeniería del mantenimiento*. España: Universidad Politécnica de Valencia (U.P.V.)

WIREMAN, Terry. *Benchmarking best practicies in maintenance management*. España: Industrial Press.

PEREZ J., Carlos Mario. *El futuro de la función de mantenimiento*. [en línea].

MOLINA, Jose. *Mantenimiento y seguridad industrial*. [en línea].  
<<http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>>