



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN**

# **T e s i n a**

**PROGRAMA DE MEJORA CONTINUA**  
**PARA EL MANTENIMIENTO DE UNA EMPRESA FABRICANTE**  
**DE NUTRIENTES VEGETALES**

**Para obtener el grado de:**

**Especialista en Sistemas de Calidad**

**Presenta: Martha Valeria Carapia Muñoz**

**Tutor M. en I. Alberto Fuentes Maya**

Naucalpan, Estado de México

2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## Contenido

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I: SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA .....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD .....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS .....	3
1.4 OBJETIVOS .....	3
GENERAL.....	3
PARTICULARES.....	3
1.5 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	4
1.6 METODOLOGÍA .....	4
CAPITULO II: ANTECEDENTES.....	6
2.1 HISTORIA.....	6
2.2 LINEAS DE PRODUCCIÓN.....	6
2.3 DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA.....	7
2.4 DESCRIPCIÓN Y DIAGRAMAS DE PROCESO .....	8
2.5 LISTADO DE MAQUINARIA Y EQUIPO .....	14
2.6 USO DE MAQUINARIA EN CADA LINEA DE PRODUCCIÓN.....	15
2.7 PROBLEMÁTICAS DE LA MAQUINARIA .....	16
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO.....	17
3.1 CONCEPTO DE MANTENIMIENTO.....	17
3.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO .....	18
3.2.1MANTENIMEINTO CORRECTIVO .....	18
3.2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	18
3.2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	19
3.3 ALCANCE DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.....	20
3.4 HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS .....	20
3.4.1 DIAGRAMA CAUSA- EFECTO .....	20
3.4.2 DIAGRAMA DE PARETO.....	21
3.4.3 IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS .....	21
3.4.4 MÉTODO RCM.....	22

3.4.5 CURVA DE CONFIABILIDAD .....	23
3.4.6 RANGO DE MEDIANA DE BERNARD .....	25
3.5 NORMATIVIDAD .....	25
3.5.1 NORMAS INTERNACIONALES.....	25
3.5.2 NORMAS NACIONALES .....	26
3.6 NUTRIENTES VEGETALES.....	28
3.6.1 DEFINICION.....	29
3.6.2 PRINCIPALES COMPONENTES .....	29
3.6.3 CLASIFICACIÓN.....	29
3.6.4 FUNDAMENTO DE LA NECESIDAD DEL USO DE NUTRIENTES VEGETALES	31
CAPITULO IV ANALISIS .....	32
4.1 ANÁLISIS CAUSA- EFECTO .....	32
4.2 TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIOS .....	33
CAPITULO V PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	40
5.1 INVENTARIO DE EQUIPOS Y/O MAQUINARIA .....	40
5.2 CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS DE ACUERDO A SU CRITICIDAD .....	41
5.3 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD .....	41
5.4 RESULTADO DEL ANÁLISIS RCM.....	46
5.5 OTRAS CONSIDERACIONES .....	48
5.6 REGISTRO DE DATOS .....	48
5.6.1 FICHA DE ANÁLISIS DE FALLAS .....	48
5.6.2 FICHA DE PLAN DE ACCIÓN DE LAS FALLAS .....	49
5.6.3 FICHA DE EQUIPO .....	49
CONCLUSIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA .....	51
ANEXO 1.....	52
ANEXO 2.....	53
ANEXO 3.....	54

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se desarrolla en una pequeña empresa mexicana dedicada a la fabricación y venta de nutrientes vegetales, en la cual se presentan paros inesperados en la producción ocasionados por las fallas en los equipos, razón por la cual se establece como objetivo diseñar una guía para el programa de mantenimiento preventivo del equipo y maquinaria del área de producción que solucione dichos paros y en consecuencia reducir los costos de producción y los tiempos de entrega de los productos a los clientes.

Por la naturaleza de la problemática que presenta el área de producción se seleccionó la metodología que corresponde a problemas operacionales con enfoque de procesos de mejora, y con base en ella se realizaron los capítulos que integran la presente tesina.

En el primer capítulo se describe la situación de la empresa en estudio, se establecen la hipótesis y los objetivos, el tipo de investigación, la metodología empleada así como la justificación y viabilidad del proyecto.

El segundo capítulo corresponde a los antecedentes de la empresa, la descripción de los procesos que se llevan a cabo, incluyendo la maquinaria empleada en el mismo.

El capítulo tercero concierne al marco teórico, en este se interpreta el concepto de mantenimiento y su clasificación, las herramientas que se emplean en el análisis de la información, la definición de nutrientes vegetales, sus principales componentes, conteniendo su categorización y la normatividad que los rige.

En el cuarto capítulo se realiza el diagnóstico de la eficiencia del mantenimiento en la empresa estudiada, mediante de la aplicación de herramientas de calidad y toma de decisiones.

Finalmente, en el capítulo Quinto a partir de la problemática, la información teórica recopilada, la clasificación de los equipos y los análisis de confiabilidad y RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) se desarrolla la propuesta para la programación del mantenimiento.

Esta investigación busca demostrar que el mantenimiento preventivo del equipo y maquinaria en las organizaciones se traduce en la reducción de costos de operación, eficiente asignación de recursos, entregar la producción en el tiempo establecido, todo esto en conjunto, permite cumplir con las expectativas del cliente.

## CAPITULO I: SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

"Es un error pensar que si todo el mundo  
hace bien su trabajo todo estará bien;  
todo el sistema puede estar en problemas"  
E. Deming

### 1.1 PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

Gran parte de las empresas pequeñas de la rama industrial dedicada a la producción de nutrientes vegetales, se encuentran estancadas en cuanto a tecnología e implementación de sistemas y/o programas que mejoren su productividad debido a que la formulación de dichos productos se lleva a cabo por mezcla física, lo cual no requiere de grandes cambios en la maquinaria.

Lo anterior lleva a que muchos empresarios no tengan la visión para realizar cambios en su maquinaria con nueva tecnología, ni adecuaciones de programas de mantenimiento preventivo para disminuir costos en la producción por fallas en los equipos provocando paros durante los horarios de trabajo de la empresa. Este tipo de fallas en los equipos se debe entre otras cosas, al desconocimiento de la vida útil de las refacciones y equipos, situación que permita proporcionar un mantenimiento preventivo y no correctivo como sucede en la realidad.

### 1.2 JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD

Las ventajas de contar con programa preventivo de mantenimiento son:

- **Reduce las fallas y tiempos muertos**  
Incrementa la disponibilidad de equipos e instalaciones. Obviamente, si tiene muchas fallas que atender menos tiempo le dedica al mantenimiento programado y estará utilizando un mantenimiento reactivo mucho más caro por tratarse de un mantenimiento "apaga fuegos"
- **Incrementa la vida de los equipos e instalaciones.**  
Tener cuidado con los equipos ayuda a incrementar su vida útil. Sin embargo, se requiere involucrar a todos en la idea de la prioridad ineludible de realizar y cumplir fielmente con el programa.
- **Mejora la utilización de los recursos.**  
Cuando los trabajos se realizan con calidad y el programa se cumple fielmente. El mantenimiento preventivo incrementa la utilización de maquinaria, equipo e

instalaciones, esto tiene una relación directa con el programa de mantenimiento preventivo que se hace, lo que se puede hacer y, como debe hacerse.

- **Reduce los niveles del inventario.**  
Contar con mantenimiento planeado reduce los niveles de existencias del almacén.
- **Ahorro**  
Un peso ahorrado en mantenimiento son muchos pesos de utilidad para la compañía. Cuando los equipos trabajan más eficientemente el valor del ahorro es muy significativo.

Con base en lo anterior, se manifiesta la viabilidad de este proyecto, en virtud de que un programa de mantenimiento preventivo disminuiría en gran medida los costos de operación. Aunado al hecho de que, por tratarse de una empresa pequeña, los costos de adquirir nueva tecnología son mayores al costo de implementación del programa de mantenimiento que permitirá aumentar la vida útil de los equipos.

### 1.3 PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Con la implementación de un programa de mantenimiento preventivo, en el área de producción de la empresa dedicada a la fabricación y venta de nutrientes vegetales se disminuirán los paros inesperados a causa de fallas en los equipos y reducirá los costos de producción y los tiempos de entrega de los productos a los clientes.

### 1.4 OBJETIVOS

#### GENERAL

Diseñar un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria del área de producción de una empresa dedicada a la fabricación y venta de nutrientes vegetales, con el fin de evitar paros inesperados en la producción.

#### PARTICULARES

- Describir la situación problemática de la empresa en estudio para establecer las causas que originan los paros inesperados en el área de producción.
- Explicar los procesos clave y de apoyo de la empresa, incluyendo la maquinaria empleada en el mismo.
- Aplicar los conceptos de mantenimiento y su clasificación, las herramientas que se emplean en el análisis de la información, la definición de nutrientes vegetales, sus principales componentes y la normatividad que los rige.

- Analizar la eficiencia del mantenimiento en la empresa mediante la aplicación de herramientas de calidad y toma de decisiones para determinar los factores que influyen en el mantenimiento de cualquier equipo o maquinaria; a través de un análisis Ishikawa (causa-efecto) y un diagrama de Pareto con la finalidad de determinar el impacto que tiene en la producción, la falta de un programa de mantenimiento preventivo.

## 1.5 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación inicia como descriptiva al establecer la situación que prevalece con relación al mantenimiento de los equipos y la problemática que esto provoca y se convierte en correlacional, al analizar la correlación existente al contar e implementar un programa de mantenimiento preventivo en los equipos, la disminución de tiempos muertos, el incremento de la vida útil del equipo y la reducción de costos.

## 1.6 METODOLOGÍA

La metodología empleada en las diferentes etapas de la investigación para la llegar a la propuesta del programa de mantenimiento preventivo es la que corresponde a los problemas de tipo operacional con enfoque en procesos de mejora,<sup>1</sup> para la cual, se recomienda cuidar los siguientes puntos:

Primero, es necesario crear una cultura de mejora que atraiga una genuina atención de las personas, que lleve a reconocer que aún los problemas pequeños son importantes y siempre hay espacio para la mejora.

Segundo, instaurar un procedimiento de análisis amigable que favorezca la participación, con un lenguaje simple y pasos claros que todos capten de inmediato.

Tercero, estructurar un sistema que reúna y dé respuesta rápida a las propuestas de cambio, para su pronta puesta en marcha.

Continuando con la metodología general para los procesos de mejora los pasos a seguir son:

---

<sup>1</sup>Enfoques en la planeación, Fuentes Zenón Arturo, México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México ,2001, pp 69-129



**Detección de problemas:** la empresa tiene paros inesperados en la producción, debido a fallas en los equipos, existe gran desconocimiento de la vida útil de las refacciones y equipos; generando un aumento en los tiempos de entrega al cliente.

**Registro de problemas:** Se llevará a cabo el registro de los paros mediante un formato específico, el cual contenga la siguiente información:

- ¿Cuándo suceden los paros?
- ¿Qué está ocasionando el paro?
- ¿En qué parte de los equipos o en que equipos sucede?

**Elaboración de propuestas:** De acuerdo a la información recabada en los registros, se podrán identificar las refacciones que se deben cambiar, así como la frecuencia.

**Aprobación y puesta en marcha:** La propuesta debe ser revisada, aprobada y se pondrá en marcha siguiendo lo estipulado en la misma.

**Seguimiento:** vigilar los resultados que se van dando y realizar los ajustes que sean necesarios hasta que dicho programa se ajuste a lo esperado. En un programa de mantenimiento preventivo, es probable que los cambios sean continuos, ya que la vida del equipo interviene directamente en su mantenimiento.

## CAPITULO II: ANTECEDENTES

“Calidad significa hacer lo correcto  
cuando nadie está viendo”  
Henry Ford

En este capítulo se presenta de forma general la situación de la empresa, sus antecedentes, las líneas de producción que maneja, la maquinaria y equipo que se emplea.

### 2.1 HISTORIA

La empresa en estudio, es una empresa familiar que se fundó en 1967 dedicada a la producción y venta de nutrientes vegetales. Esta empresa familiar en sus inicios no contaba con gran infraestructura, comenzó sus operaciones con equipo y maquinaria fabricada por los ingenieros fundadores de la misma; quienes en su mayoría continúan colaborando hasta el momento.

Existe evidencia de que los ingenieros fundadores estaban interesados en implementar en la empresa un Sistema de Gestión de Calidad, razón por la cual se inició con el control de las operaciones, procesos y mantenimiento de los equipos; sin embargo, al cambiar la Dirección General, los avances logrados en dicho Sistema de Gestión perdieron importancia para la nueva Gerencia. El poco interés de la Dirección General por controlar su proceso e infraestructura, aunado con la escasa presión que existe en el entorno de la empresa, da como resultado que no incrementa los estándares de calidad de sus productos.

A pesar del escaso control en sus procesos y la deficiente infraestructura de la empresa, ésta exporta a Estados Unidos, Centro y Sudamérica, el Caribe y Asia.

Actualmente la empresa en cuestión, sólo realiza mantenimientos correctivos en sus equipos, es decir, exclusivamente se revisan los equipos cuando fallan, provocando que se detenga la producción, aumento en los tiempos de entrega de los productos a los clientes y sobre todo, genera un gran desgaste en el equipo.

### 2.2 LINEAS DE PRODUCCIÓN

Para establecer el proceso de la empresa y la importancia de contar con un Programa de Mantenimiento Preventivo de los equipos, a continuación se presentan las líneas de producción:

1. Nutrientes Vegetales. Fertilizantes, reguladores de crecimiento y mejoradores de suelo. Sólidos (granulados y en polvo).

2. Nutrientes Vegetales. Fertilizantes, reguladores de crecimiento y mejoradores de suelo. líquidos.
3. Nutrientes Vegetales. Fertilizantes, reguladores de crecimiento y mejoradores de suelo. De lenta liberación (módulos).
4. Nutrientes Vegetales. Fertilizantes, reguladores de crecimiento y mejoradores de suelo. En suspensión.

### 2.3 DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa maneja cuatro líneas de producción, sin embargo, el equipo y maquinaria se ocupa en más de una línea, de ahí que se considere importante exponer la distribución que tienen los mismos dentro de la organización. En la figura 2.1 se muestra el plano de distribución (Lay Out) de la empresa.

El hecho de que la maquinaria y equipo se ocupe en más de una línea, da como resultado que algunos de éstos tengan mayor importancia dentro de los procesos y en consecuencia su mantenimiento se torna más importante.

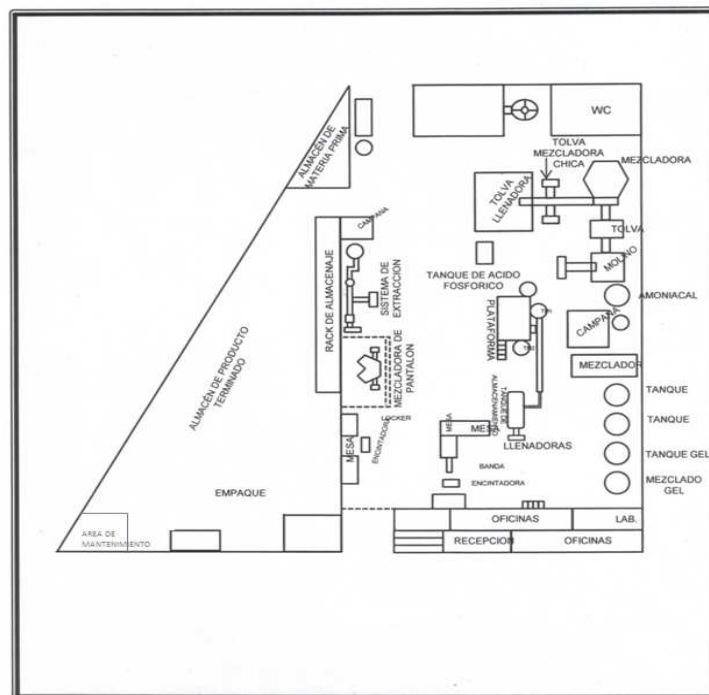


Figura 2.1. Plano (Lay Out) de la empresa

Fuente: del autor

## 2.4 DESCRIPCIÓN Y DIAGRAMAS DE PROCESO

A continuación se describen las distintas líneas de producción, con el fin de establecer las operaciones fundamentales y posteriormente realizar un análisis de los equipos que se ocupan en cada proceso.

### A. FORMULACIÓN DE NUTRIENTES VEGETALES: FERTILIZANTES, MEJORADORES DE SUELO Y REGULADORES DE CRECIMIENTO GRANULADOS

#### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

- 1) **Molienda:** de la materia prima estimada a utilizar. La molienda es para cada materia prima a ocupar.
- 2) **Pesaje de materia prima:** que se va a ocupar. Este procedimiento se efectúa después de la molienda para evitar pérdidas o errores de medición.
- 3) **Mezcla de sólidos:** de todos los componentes; tanto básicos como secundarios.
- 4) **Cernido de producto:** para garantizar el tamaño de partícula deseado.
- 5) **Llenado de bolsas:** de acuerdo a la presentación solicitada.
- 6) **Verificación de pesos:** para el control de calidad.
- 7) **Sellado de bolsas:** Las bolsas se pasan por una máquina selladora.
- 8) **Empacado:** de acuerdo a las presentaciones solicitadas.
- 9) **Almacén de producto terminado:** Una vez terminado el producto, se lleva al almacén general, dónde se encuentran separados el producto terminado, de la materia prima y el embalaje.

*Del paso 1 al 6, el trabajador está expuesto a los polvos que desprende la materia prima y en los pasos 1 y 3, el trabajador se encuentra expuesto al ruido que genera el equipo, proceso que se describe en la figura 2.2*

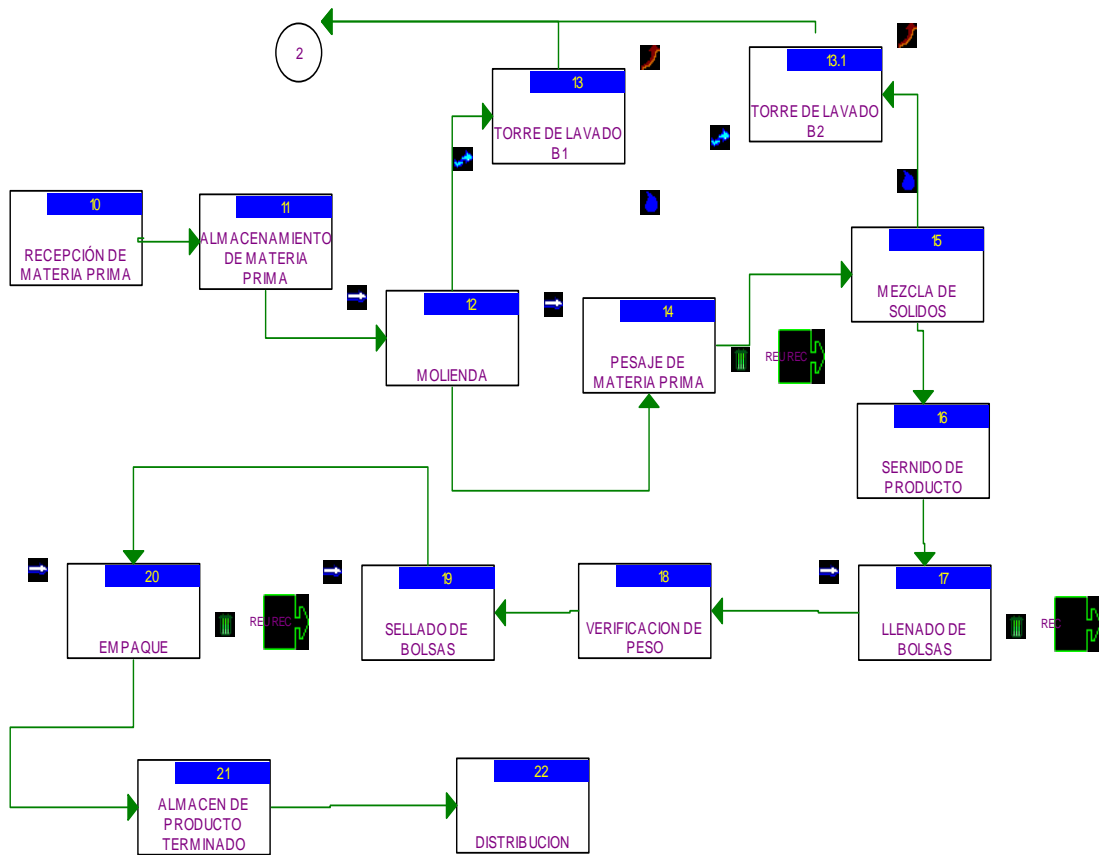


Figura 2.2. Diagrama de funcionamiento de la formulación de nutrientes vegetales: fertilizantes, mejoradores de suelo y reguladores de crecimiento granulados.

Fuente: del autor

## B. FORMULACIÓN DE NUTRIENTES VEGETALES: FERTILIZANTES, MEJORADORES DE SUELO Y REGULADORES DE CRECIMIENTO LÍQUIDOS

### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

- 1) **Mezcla de líquidos:** se efectúa en el tanque de mezclado de los líquidos a ocupar.  
*En este punto, el trabajador está expuesto a salpicaduras e inhalación de químicos y al ruido que genera el mezclador. Las sustancias químicas manejadas, con mayor riesgo son el amoniaco y ácido fosfórico, conducidas por tubería.*
- 2) **Pesaje de sólidos:** que se van a agregar al tanque de mezclado.  
*En este paso, el trabajador está expuesto a los polvos que desprende la materia prima sólida.*
- 3) **Mezcla de sólidos y líquidos:** en el mismo tanque de mezclado se adicionan los sólidos previamente pesados para ser mezclados hasta constituir una mezcla homogénea y pH neutro.  
*Al adicionar los sólidos, el trabajador es arriesgado a los polvos que se desprenden.*
- 4) **Tanque de llenado:** el producto se envía al tanque de llenado para su posterior envasado.
- 5) **Envasado:** del producto de acuerdo a la presentación en la que haya sido solicitado. Se realiza una inspección de peso, tapa y sello de inducción.  
*En el envasado, el trabajador se expone al contacto con el producto líquido.*
- 6) **Empacado:** de acuerdo a las presentaciones solicitadas.
- 7) **Almacén de producto terminado:** Una vez terminado el producto, se lleva al almacén general, dónde se encuentran separados el producto terminado, de la materia prima y el embalaje. Como se muestra en la figura 2.3.

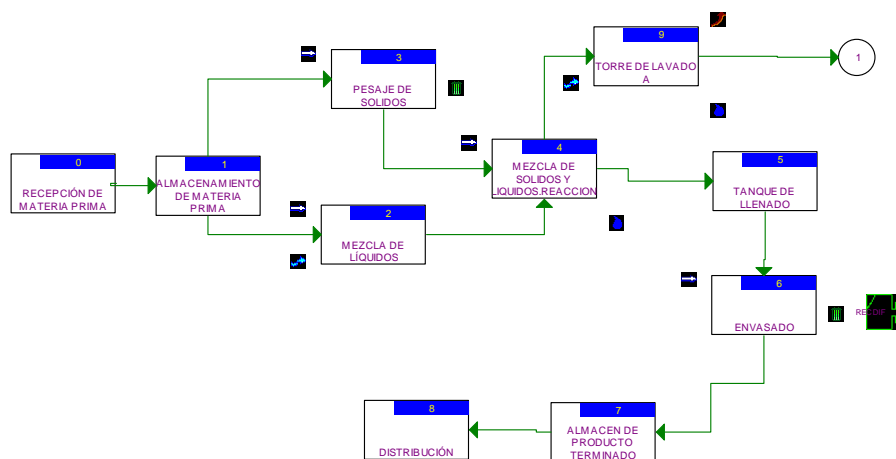


Figura 2.3. Diagrama de funcionamiento de la formulación e nutrientes vegetales: fertilizantes, mejoradores de suelo y reguladores de crecimiento, líquidos.

Fuente: del autor

## FORMULACIÓN DE NUTRIENTES VEGETALES: FERTILIZANTES DE LENTA LIBERACIÓN (MÓDULOS)

### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

- 1) **Secado de mayores:** de los componentes que lleva el producto en mayor cantidad en un secador rotatorio.  
*Al realizar el vaciado de las materias primas en el secador rotatorio, el trabajador se encuentra expuesto a los polvos generados.*
- 2) **Molienda:** de los componentes para lograr el tamaño de partícula deseada.  
*En ésta parte, el trabajador se encuentra expuesto a los polvos generados al vaciar y recuperar la materia prima y al ruido que genera el equipo.*
- 3) **Pesaje de sólido seco:** se secan los sólidos secos y molidos previamente.
- 4) **Pesaje de menores:** de los componentes que integran la menor cantidad para la mezcla de sólidos.
- 5) **Mezcla de sólidos:** de los componentes mayores y los menores.  
*En los pasos 3,4 y 5 el trabajador se encuentra expuesto a los polvos generados por la materia prima y al ruido generado por el equipo.*
- 6) **Tableteado:** se pasa la mezcla a una tableteadora para producir las pastillas o módulos.  
*Al hacer el vaciado de la mezcla en la tableteadora, el trabajador se encuentra expuesto a los polvos que se generan.*
- 7) **Verificación de peso:** para asegurar que el producto contenga el peso específico de acuerdo a la presentación solicitada.
- 8) **Empaque:** en cubetas, mismas que son selladas para evitar que se abran.
- 9) **Almacén de producto terminado:** Una vez terminado el producto, se lleva al almacén general, dónde se encuentran separados el producto terminado, de la materia prima y el embalaje.

La figura 2.4 permite visualizar el proceso de la línea de fertilizantes de lenta liberación.

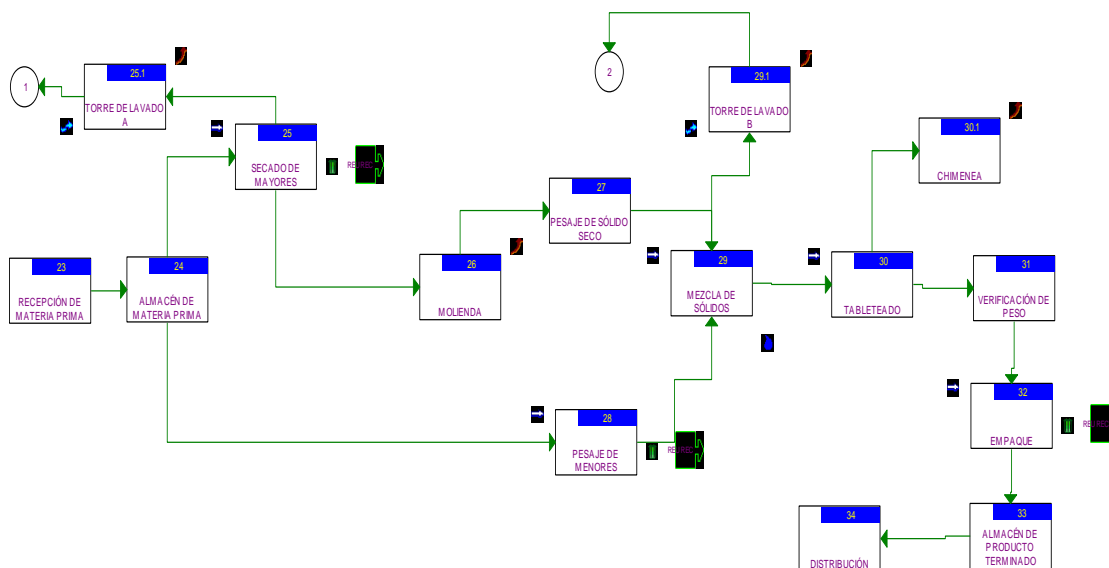


Figura 2.4. Diagrama de funcionamiento de la formulación de nutrientes vegetales: fertilizantes de lenta liberación (módulos).

Fuente: del autor.

## C. FORMULACIÓN DE NUTRIENTES VEGETALES: FERTILIZANTES EN SUSPENSIÓN

### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

- 1) **Pesaje de sólidos:** se pesan los componentes sólidos.
- 2) **Medición y mezcla de líquidos:** en el tanque de mezclado de los líquidos a ocupar. *En este punto, el trabajador se encuentra expuesto a salpicaduras e inhalación de químicos y al ruido que genera el mezclador. Las sustancias químicas manejadas, en este punto, con mayor riesgo son el amoníaco y ácido fosfórico, mismas que son conducidas por tubería.*
- 3) **Mezcla de sólidos y líquidos:** en el mismo tanque de mezclado se adicionan los sólidos previamente pesados para que se mezclen. *Al adicionar los sólidos, el trabajador se encuentra expuesto a los polvos que se desprenden y al ruido generado por los equipos.*
- 4) **Molienda de la mezcla:** la mezcla pasa por un molino para reducir el tamaño de partícula de los sólidos y empezar a formar la suspensión. A la salida del molino, se verifica el tamaño de partícula y pH neutro.
- 5) **Maduración de la mezcla:** la mezcla es transportada a un tanque de maduración con agitación, dónde nuevamente se le verifica tamaño de partícula y pH.
- 6) **Tanque de llenado:** el producto se envía al tanque de llenado para que posteriormente sea envasado.



- 7) **Envasado:** del producto de acuerdo a la presentación en la que haya sido solicitado el producto. Se hace una inspección de peso, tapa y sello de inducción.  
*En el envasado, el trabajador se encuentra expuesto al contacto con el producto en suspensión.*
- 8) **Empacado:** de acuerdo a las presentaciones solicitadas.
- 9) **Almacén de producto terminado:** Una vez terminado el producto, se lleva al almacén general, dónde se encuentran separados el producto terminado, de la materia prima y el embalaje.

En la figura 2.5 se muestra el diagrama de funcionamiento de la formulación de fertilizantes en suspensión.

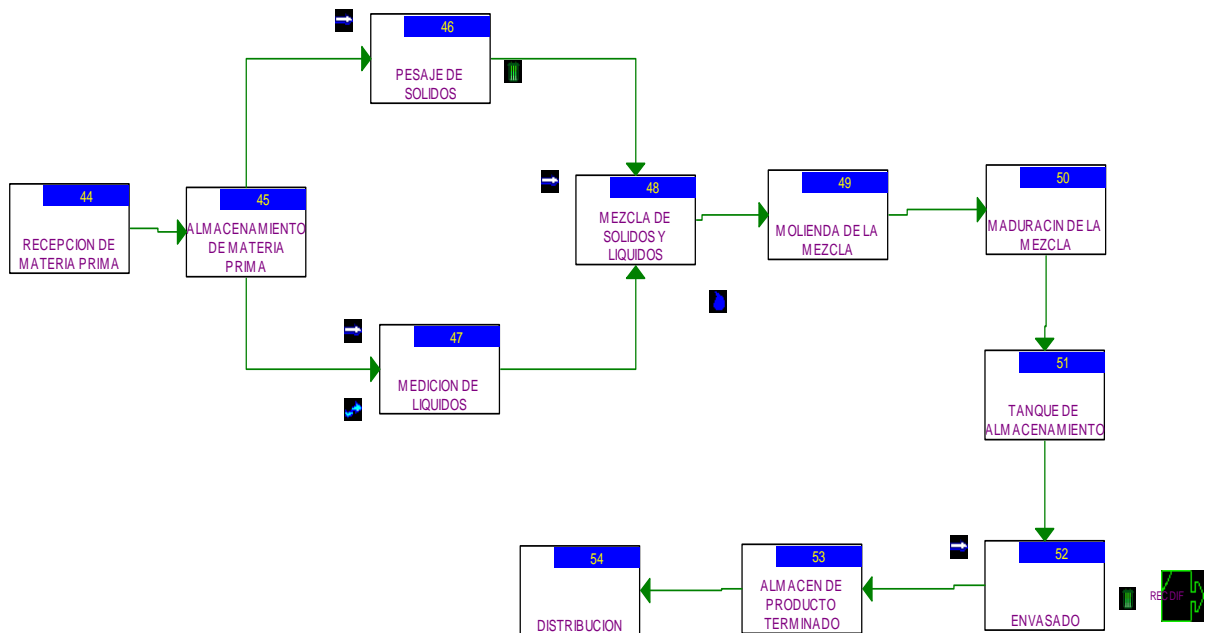


Figura 2.5. Diagrama de funcionamiento de la formulación de nutrientes vegetales: fertilizantes en suspensión.

Fuente: del autor

## 2.5 LISTADO DE MAQUINARIA Y EQUIPO

A continuación se muestra un listado de la maquinaria y equipo con la que se cuenta en la empresa; es de suma importancia conocer éste listado para el desarrollo del programa de mantenimiento preventivo.

Cabe recordar que los equipos se ocupan en más de una línea de producción, lo cual se detallará más adelante.

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CAPACIDAD</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>Mezcladora de pantalón</b>	1 ton	Acero al carbón
<b>Molino de martillo 1</b>	400kg/hr	Acero al carbón
<b>Molino de martillo 2</b>	200kg/hr	Acero al carbón
<b>Mezclador de listón</b>	2500kg	Acero al carbón
<b>Tableteadora</b>	55kg	Acero inoxidable
<b>Mezcladora Doyle</b>	2500 kg	Acero al carbón
<b>Molino Doyle</b>	20 HP	Acero al carbón
<b>Tolva de almacenamiento Doyle</b>	5000 kg	Acero al carbón
<b>Tanque de mezclado</b>	2500 l	Acero inoxidable
<b>Tanque de mezclado</b>	1500 l	Acero inoxidable
<b>Llenadora de 1 l</b>	N.A.	Acero inoxidable, acero al carbón y acrílico.
<b>Llenadora de 4 l</b>	N.A.	Acero inoxidable, acero al carbón y acrílico.
<b>Banda transportadora</b>	N.A.	Acero inoxidable y lona
<b>Tanque de maduración 1 (suspensión)</b>	400 l	Polietileno de alta densidad
<b>Tanque de maduración 2 (suspensión)</b>	400 l	Polietileno de alta densidad
<b>Mezclador (suspensión)</b>	2500 l	Acero inoxidable
<b>Molino coloidal (Suspensión)</b>	N.A.	Acero inoxidable
<b>Bomba Waukesha 1</b>	2 HP	Acero inoxidable
<b>Bomba Waukesha 2</b>	2 HP	Acero inoxidable
<b>Etiquetadora 1</b>	N.A.	Acero inoxidable
<b>Etiquetadora 2</b>	N.A.	Acero al carbón
<b>Etiquetadora 3</b>	N.A.	Acero al carbón
<b>Selladora de inducción</b>	N.A.	Acero al carbón
<b>Codificadora</b>	N.A.	Acero al carbón y otros
<b>Encintadora de caja 1</b>	N.A.	Acero al carbón y otros
<b>Encintadora de caja 2</b>	N.A.	Acero al carbón y otros
<b>Cernidor</b>	N.A.	Acero al carbón
<b>Selladora neumática</b>	N.A.	Acero al carbón y otros
<b>Selladora de pie</b>	N.A.	Acero al carbón y otros
<b>Tanque de almacenamiento de producto terminado</b>	5000 l	Acero inoxidable

<b>Bomba de líquidos 1</b>	2.5 HP	Acero inoxidable
<b>Bomba de líquidos 2</b>	2.5 HP	Acero inoxidable
<b>Bomba de líquidos 3</b>	5 HP	Acero inoxidable
<b>Filtro de platos</b>	120 l	Acero inoxidable
<b>Secador rotatorio</b>	90 kg	Acero al carbón
<b>Compresor</b>	2.5 HP	Acero inoxidable
<b>Tanque de almacenamiento de ácido fosfórico</b>	5000 kg	Acero inoxidable
<b>Tanque de almacenamiento de amoníaco 1</b>	500 kg	Acero inoxidable
<b>Tanque de almacenamiento de amoníaco 2</b>	500 kg	Acero inoxidable
<b>Tanque de almacenamiento de amoníaco 3</b>	500 kg	Acero inoxidable

## 2.6 USO DE MAQUINARIA EN CADA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

En este apartado se detalla la maquinaria ocupada en cada línea de producción, con el fin de que se observe cual maquinaria se vuelve crítica, debido a que al descomponerse afecta a más de una línea de producción.

### 1.- **Formulación de Nutrientes Vegetales. Fertilizantes, mejoradores de suelo y reguladores de crecimiento granulados:**

Mezcladora Doyle, báscula Doyle, molino Doyle, tolva de almacenamiento Doyle, tolva de sacos Doyle, selladora neumática, selladoras de pie, banda transportadora, codificadora, encintadoras de caja, mezcladora de pantalón, molinos de martillo.

### 2.- **Formulación de Nutrientes Vegetales. Fertilizantes, mejoradores de suelo y reguladores de crecimiento líquidos:**

Mezcladora de pantalón, mezcladora de listón, bombas de líquidos, tanque de almacenamiento de producción, llenadoras, selladora de inducción, filtro de platos, etiquetadoras, codificadora, encintadoras de caja, banda transportadora.

### 3.- **Formulación de Nutrientes Vegetales. Fertilizantes de lenta liberación (módulos):**

Molinos de martillo, mezcladora de pantalón, tableteadora.

### 4.- **Formulación de Nutrientes Vegetales. Fertilizantes en suspensión:**

Mezclador de suspensiones, tanques de maduración (suspensión), molino coloidal (suspensión), bombas Waukesha, etiquetadora, codificadora, tanque de almacenamiento, banda transportadora, encintadora, selladora de inducción.

## 2.7 PROBLEMÁTICAS DE LA MAQUINARIA

Para desarrollar el programa de mantenimiento preventivo es necesario registrar las problemáticas que se presentan en cada equipo y maquinaria, así como la frecuencia con la que se despliegan y de ser posible, el tiempo que tardó la reparación. Por tal motivo, a continuación se muestran las problemáticas que se presentaron en el último año.

<b>EQUIPO/MAQUINARIA</b>	<b>PROBLEMÁTICA</b>	<b>FRECUENCIA (al año)</b>	<b>TIEMPO APROX. DE REPARACIÓN</b>
<b>Mezcladora de pantalón</b>	1. Fallo en los controles 2. Fallo en motor	1. 2 veces 2. 1 vez	1. 8 horas 2. 2 días
<b>Molino de martillo 1</b>	1. Fallo en baleros 2. Banda rota	1. 2 veces 2. 2 veces	1. 5 horas 2. 3horas
<b>Molino de martillo 2</b>	1. Banda rota	1. 1 vez	1. 3 horas
<b>Mezclador de listón</b>	1. Fallo en los controles 2. Banda rota	1. 1 vez 2. 1 vez	1. 8 horas 2. 3 horas
<b>Tableteadora</b>	1. Fallo poleas y banda rota 2. Falla en motor 3. Fallo en los controles	1. 1 vez 2. 1 vez 3. 1 vez	1. 2 días 2. 2 días 3. 6 horas
<b>Mezcladora Doyle</b>	1. Falla en bandas	1. 1 vez	1. 1 día
<b>Llenadora de 1 l</b>	1. Falla en timers y relevadores	1. 6 veces	1. 4 horas
<b>Llenadora de 4 l</b>	1. Falla en timers y relevadores	1. 1 vez	1. 4 horas
<b>Banda transportadora</b>	1. Banda rota	1. 1 vez	1. 3 semanas
<b>Bomba de líquidos 5HP</b>	1. Falla en la succión	1. 1 vez	2. 1 día

## CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

"La calidad nunca es un accidente,  
siempre resulta de cuatro cosas:  
intención, esfuerzo sincero,  
dirección inteligente y ejecutoria con talento"  
W. Foster

El mantenimiento industrial ha evolucionado debido a la presión de llegar a ser una industria competitiva y el obtener la máxima disponibilidad de los equipos de producción y contar con métodos en los cuales se espera que la avería suceda con métodos en los cuales se pretende predecir las averías y los casos en que se cuenta con programas maduros de mantenimiento, incluso se realizan análisis para determinar la causa del problema con el fin de erradicarla.

Existen varias formas de definir el concepto de mantenimiento, dependiendo del enfoque que se le dé. Sin embargo, resulta evidente que la finalidad es mantener el correcto estado funcional de los equipos e instalaciones.

Llevar a cabo la mejora de las condiciones de funcionamiento en los equipos, ayuda enormemente en la seguridad de las instalaciones y, por tanto disminuye los riesgos laborales. Además, tener maquinaria funcionando adecuadamente permite una disminución en los niveles de contaminación de ruido y vibración dentro del ambiente laboral.

### 3.1 CONCEPTO DE MANTENIMIENTO

Existe gran variedad de definiciones de mantenimiento, sin embargo para efectos de éste trabajo, se empleará el siguiente concepto:

“Mantenimiento es el conjunto de actividades que hay que ejecutar para conservar en óptimas condiciones la maquinaria, equipo e instalaciones de una empresa, para que ésta opere con la mayor eficiencia, seguridad y economía.”<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para una planta de café soluble, Walter Reynaldo Fabián Grijalva, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2003, consultado en <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/87.pdf> , el 28 de Mayo de 2012

## 3.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

De manera general, el mantenimiento se divide en 3 tipos:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

En la industria, generalmente no se emplea un solo tipo de mantenimiento, sino una combinación de dos o más de ellos de acuerdo a las necesidades de la empresa.

### 3.2.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

En este tipo de mantenimiento, sólo se interviene en los equipos cuando la avería o fallo ya se ha producido, en la mayoría de las industrias es el único que se practica.

El uso de este tipo de mantenimiento se justifica únicamente en los casos en los que existe un bajo costo de los componentes afectados y donde los equipos son auxiliares y no afectan directamente a la producción. En estos casos, el costo derivado del fallo imprevisto en el equipo es inferior a la inversión requerida para otro tipo de mantenimiento más complejo.

Es así, que incluso en industrias que disponen de sofisticados planes de mantenimiento, existen equipos en los que se realiza exclusivamente un mantenimiento correctivo.

### 3.2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Como su nombre lo indica el mantenimiento preventivo se diseñó con el fin de prever y anticiparse a los fallos de las máquinas y equipos, utilizando para ello una serie de datos sobre los distintos sistemas y sub-sistemas e inclusive partes.

Bajo esa premisa se diseña el programa con frecuencias calendario o uso del equipo, para realizar cambios de sub-ensambles, cambio de partes, reparaciones, ajustes, cambios de aceite y lubricantes, etc. a maquinaria, equipos e instalaciones, se considera importante realizar para evitar fallos.

Es significativo trazar la estructura del diseño incluyendo en ello los componentes de Conservación, Confiabilidad, Mantenibilidad y un plan que fortalezca la capacidad de gestión de cada uno de los diversos estratos organizativos y empleados sin importar su localización geográfica, ubicando las responsabilidades para asegurar el cumplimiento.

El mantenimiento preventivo se refiere a las acciones como; reemplazos, adaptaciones, restauraciones, inspecciones, evaluaciones, etc. hechas en períodos de tiempos por calendario o uso de los equipos (Tiempos dirigidos).

El mantenimiento preventivo podrá en un futuro ser potencialmente mejorado por medio de la incorporación de un programa de mantenimiento predictivo.

Un gran inconveniente de este tipo de mantenimiento es el costo que representan las inspecciones, el desmontaje y revisión de una máquina que se encuentra funcionando correctamente o la sustitución de elementos tales como lubricantes y rodamientos que no se encuentran en mal estado. Además, independientemente del período que se fije para las inspecciones no se elimina por completo la posibilidad de que aparezca un fallo imprevisto.

### 3.2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Este tipo de mantenimiento también recibe el nombre de *mantenimiento según estado o según condición*, surge como respuesta a la necesidad de reducir los costos de los métodos correctivo y preventivo. Básicamente se trata de conocer el estado de los equipos, lo cual hace posible reemplazar los elementos cuando no se encuentren en buenas condiciones operativas, eliminando las paradas por inspección innecesarias y, por otro lado, evitar los fallos imprevistos, mediante la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de los equipos y el seguimiento de su posible evolución.

“La aplicación del mantenimiento predictivo se apoya en dos pilares fundamentales:

- I. La existencia de parámetros funcionales indicadores del estado del equipo.
- II. La vigilancia continua de los equipos.”<sup>3</sup>

El éxito de éste tipo de mantenimiento se basa en el análisis de los equipos, ya que la mayoría de las veces, los componentes de las máquinas avisan de alguna forma un fallo antes de que ocurra. Al conjunto de técnicas que se ocupan del seguimiento y examen de estos parámetros característicos de la máquina se les conoce como Técnicas de Verificación Mecánica.

Las ventajas más importantes de este tipo de mantenimiento son:

- Detectar e identificar con anticipación los defectos que pudieran aparecer sin necesidad de parar y/o desmontar la máquina;
- Observar aquellos defectos que sólo se manifiestan sobre la máquina en funcionamiento;
- Programar el paro, para realizar la corrección del defecto detectado, haciendo que coincida con un tiempo muerto o una parada rutinaria del proceso de producción;
- Programar el suministro de repuestos y mano de obra;

---

<sup>3</sup>Cesáreo Gómez de León Félix, Tecnología del mantenimiento industrial, Murcia. España, Universidad de Murcia, 1998, p.28, consultado en <http://books.google.com.mx/books?>, el 27 de Mayo de 2012

- Reducción en el tiempo de reparación, debido a que el origen del fallo y los elementos afectados han sido identificados previamente;
- Aislar las causas de las posibles fallas repetitivas y procurar su erradicación

Debido a sus características este tipo de mantenimiento es recomendado para industrias que han implementado un programa de mantenimiento robusto por el tiempo necesario para conocer a profundidad los equipos y su comportamiento.

### 3.3 ALCANCE DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Para definir el alcance del programa de mantenimiento, generalmente se priorizan los equipos críticos, la línea o departamento. En el mejor de los casos, se recomienda tomar toda la planta.

Para efectos de éste trabajo, el alcance va dirigido únicamente al diseño del programa de mantenimiento preventivo para los equipos críticos de las líneas principales de producción de una empresa de fabricación y venta de Nutrientes Vegetales, ya que como se indicó anteriormente, la empresa en la que se piensa implementar este programa, sólo llevan a cabo el mantenimiento correctivo y se requiere evitar los paros inesperados en los equipos de producción.

### 3.4 HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS

A continuación se presentan las herramientas que se emplearan en el análisis del área de producción de la empresa en estudio.

#### 3.4.1 DIAGRAMA CAUSA- EFECTO

El resultado de un proceso puede atribuirse a una multitud de factores, aun cuando es posible encontrar la relación causa-efecto de estos. Es factible determinar la estructura o la relación múltiple de causa-efecto observándola sistemáticamente, sin embargo, es difícil solucionar problemas complicados sin tener en cuenta dicha estructura, la cual consta de una cadena de causas y efectos, y el método empleado para expresar en forma sencilla y fácil un diagrama de causa-efecto<sup>4</sup>, es el diagrama Ishikawa o también llamado diagrama de pescado.

Con el empleo del diagrama de causa-efecto se analizaran las causas que afectan al mantenimiento de los equipos, posteriormente mediante este diagrama y con la ayuda del software Expert-choice (Proceso de Análisis Jerárquico) se identificara las priorización de

---

<sup>4</sup> Kume Hitoshi, Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad, Bogotá, Editorial Norma, 2002, 27pp.



alternativas de solución con dos criterios la Calidad y el Costo y de manera natural se obtendrá un diagrama de Pareto.

### 3.4.2 DIAGRAMA DE PARETO

Los problemas de calidad se presentan como pérdidas (productos defectuosos y su costo). Es muy importante aclarar el patrón de la distribución de la pérdida. La mayoría de las pérdidas se deberán a algunos tipos de defectos, y éstos pueden atribuirse a un número muy pequeño de causas. Si se identifican todas las pérdidas, concentrándose en esas causas particulares y dejando de lado por el momento otros defectos triviales. El diagrama de Pareto permite solucionar ese tipo de problema con eficiencia<sup>5</sup>.

Dicho diagrama permite identificar cuáles son las causas que están ocasionando el 80% de los problemas del mantenimiento y con base en éstas diseñar el programa de mantenimiento.

### 3.4.3 IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS

Normalmente, quien realiza un programa de mantenimiento conoce los equipos críticos de la planta, sin embargo, lo más conveniente es realizar una ponderación de la significación funcional de los mismos atendiendo a su importancia en el proceso productivo. Para facilitar dicha ponderación se emplean distintos criterios de clasificación, en los que intervienen factores como la fiabilidad de los equipos, su impacto en la producción, las particularidades de su mantenimiento, la seguridad y cualquier otro aspecto que se considere relevante en cada caso.

“En primer lugar puede establecerse una clasificación entre los diferentes equipos de la planta en estudio, atendiendo a su efecto sobre el proceso productivo, de la siguiente manera:

- I. Equipos cuyo fallo provoca la parada del proceso productivo o afectan negativamente a la capacidad normal de producción.
- II. Equipos cuyo fallo no provoca efectos inmediatos sobre el proceso productivo.”<sup>6</sup>

Otra forma de realizar la ponderación, es utilizando la clasificación ABC de los equipos como se muestra en la tabla 3.1. Dicha tabla ayuda a identificar los equipos que se analicen, es decir, si se cuenta con un equipo que al tener una falla, afecta a la producción, pero que es recuperable, debido a que su compostura y puesta en marcha es rápida, entonces ese trata de un equipo tipo B o importante.

---

<sup>5</sup> Ibídem, p. 19.

<sup>6</sup> Cesáreo Gómez de León Félix, Tecnología del mantenimiento industrial, Murcia. España, Universidad de Murcia, 1998, p.32, consultado en <http://books.google.com.mx/books?>, el 27 de Mayo de 2012.

Tipo de equipo o zona	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
<b>A Crítico</b>	La posibilidad de originar un accidente grave es alta.		Es clave para la calidad del producto.	Alto costo de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas muy frecuentes (mensuales) por razones de seguridad.	Su parada afecta al plan de producción y/o clientes.	Es el causante de un alto porcentaje de rechazos	Consumen una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales)
	Ha producido accidentes en el pasado, en esta planta o en plantas similares.			Averías muy frecuentes.
<b>B Importante</b>	Necesita revisiones periódicas (anuales) Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Costo medio en mantenimiento.
<b>C Prescindible</b>	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo costo de mantenimiento.

Tabla 3.1 Análisis de las zonas/equipos  
Fuente: Plaza Tovar Santiago, 2009<sup>7</sup>

### 3.4.4 MÉTODO RCM

RCM son las siglas en inglés del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), el cual fue desarrollado por la industria de la aviación civil, en específico por la United Airlines de Estados Unidos; dadas sus ventajas, esta metodología puede ser aplicada en cualquier tipo de industria.

<sup>7</sup> Plaza Tovar Santiago, Apuntes teóricos y ejercicios de aplicación de gestión del mantenimiento industrial, s.l., s.e., 2009, p.17, consultado en <http://books.google.com.mx/books?>, el 29 de Mayo de 2012

El método RCM permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuado para diversas maquinarias o equipos, analizar cómo pueden fallar funcionalmente, analizar y clasificar los efectos de cada fallo de acuerdo al impacto que tienen en la seguridad, operación y costo que implica para la planta.

En la norma SAE JA1011 se especifican los requerimientos mínimos que debe cumplir un proceso para ser denominado como RCM, de acuerdo a esta norma, las preguntas básicas que debe responder un proceso RCM son:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

“El proceso de análisis global del RCM se resume como sigue:

- a) Análisis de fallos funcionales. Define el funcionamiento del componente en un equipo, su fallo funcional, y sus efectos de fallo.
- b) Selección de ítems críticos. Determina y analiza que componentes, sistemas se caracterizan como funcionalmente significativos.
- c) Decisión lógica del RCM. Incluye el análisis de los ítems funcionalmente significativos (IS), para determinar la consecuencia del fallo.
- d) Análisis de inspección. La inspección determina qué datos son necesarios para el apoyo del análisis RCM.
- e) Resumen de los requisitos de mantenimiento. Determina la agrupación de los requisitos óptimos del nivel de mantenimiento que se practica.”<sup>8</sup>

### 3.4.5 CURVA DE CONFIABILIDAD

La estimación de la confiabilidad de un equipo se refiere a la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. En teoría, se tendría por entendido que un equipo con muy buen diseño, con un montaje excelente y un mantenimiento apropiado, nunca debería fallar, sin embargo, se conoce que esto no es cierto, por tal motivo es de gran ayuda el ocupar la curva

---

<sup>8</sup> García Torres Luis, Vista general del mantenimiento preventivo, s.l, s.e, s.f, pp.6

de confiabilidad, en la cual se observa que tan confiable es que un equipo opere en condiciones óptimas durante un intervalo de tiempo.

La probabilidad de ocurrencia de un evento se define mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{n}{N}$$

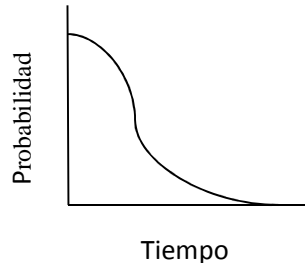
Dónde:

n: son los eventos por estudiar

N: es el número total de eventos posibles

“La curva de confiabilidad es la representación gráfica del funcionamiento después de que transcurre un tiempo t en un período T total. Se puede entender de dos maneras: la primera consiste en la representación de la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene un elemento, máquina o sistema después de que transcurre un determinado tiempo t; la otra forma de interpretarla es cuando se analizan varios o múltiples elementos (no reparables, normalmente) similares que tienen la misma distribución de vida útil; en este caso expresa el porcentaje de ellos que aún funcionan después de un tiempo t.”<sup>9</sup>

La representación gráfica de una curva de confiabilidad, de manera general, es la siguiente:



Las expresiones matemáticas que definen la confiabilidad  $C(t)$  que significa la probabilidad de funcionar eficientemente a un tiempo t y la probabilidad de falla  $F(t)$  que significa la probabilidad de fallar antes del tiempo  $t_1$  son<sup>10</sup>:

$$C(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right]$$

$$F(t) = 1 - C(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right]$$

<sup>9</sup> Mora Luis Alberto, Mantenimiento. Planeación, ejecución y control, México, Alfaomega, 2011, pp. 98

<sup>10</sup> Gutiérrez Pulido Humberto, de la Vara Salazar Román, Control estadístico de la Calidad y Seis Sigma, México, Mc Graw Hill, 2004, p.454.

Donde:

t= tiempo en que se desea saber la confiabilidad.

$\theta$ = parámetro de escala ( que tan aguda o plana es la distribución).

$\beta$ = parámetro de forma (la pendiente de la recta).

### 3.4.6 RANGO DE MEDIANA DE BERNARD

El rango de mediana de Bernard se emplea para realizar los cálculos de la curva de confiabilidad, a continuación se muestra la expresión matemática para obtener dicho rango<sup>11</sup>.

$$R - M = \frac{j - 0.3}{N + 0.4}$$

Donde:

j= posición del dato ordenado de menor a mayor

N= número total de datos

## 3.5 NORMATIVIDAD

Además de los beneficios ya mencionados, un programa de mantenimiento debe existir debido a que forma parte de los requisitos de normas nacionales e internacionales, a continuación se indica en que normas y puntos de las mismas se solicita un mantenimiento de la maquinaria y equipo.

### 3.5.1 NORMAS INTERNACIONALES

Dentro de la legislación internacional, se establece que parte de los requisitos importantes para cumplir con la misma es el contar con un programa de mantenimiento de los equipos, ya que éste tipo de programas se encuentran íntimamente ligados con la calidad y la prevención de riesgos laborales, tal como fue mencionado en el capítulo anterior. Sin embargo, para efectos de éste trabajo, se considera únicamente la norma ISO 9001:2008 “Sistema de Gestión de la Calidad-Requisitos”. Como su nombre lo indica, marca todos los requisitos que se deben cumplir cuando se quiere implementar un Sistema de Gestión de Calidad; la versión nacional es NMX-CC-9001-IMNC-2008, la cual es una traducción de la

---

<sup>11</sup> Mora Luis Alberto, Mantenimiento. Planeación, ejecución y control, o.p.c.cit., p.126.

norma internacional. La traducción la lleva a cabo el Comité Técnico de Normalización Nacional de Sistemas de Gestión de la Calidad y Evaluación de Conformidad.

Está norma, en el punto 4.1 Requisitos generales indica:

“La organización debe establecer, implementar y mantener un sistema de gestión de la calidad y mejorar continuamente su eficacia de acuerdo a los requisitos de esta norma.

La organización debe:

- a) Determinar los procesos necesarios para el sistema de gestión de la calidad y su aplicación a través de la organización.”

Además, en el punto 4.2.1, indica lo siguiente:

“La documentación del sistema de gestión de calidad debe incluir:

- c) Un manual de calidad,
- d) Los procedimientos documentados y los registros requeridos por esta norma,”

Se observa que en los puntos mencionados, en general, solicitan tener procedimientos que establezcan la forma de operar de la organización dentro del marco de un sistema de gestión de calidad y la manera de mantener dicho sistema.

Cabe mencionar que contar con un programa de mantenimiento preventivo, no asegura que se tendrá la maquinaria en óptimas condiciones cuando requiera ser ocupada.

### **3.5.2 NORMAS NACIONALES**

Dentro de la legislación mexicana, se encuentran las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las cuales son de uso obligatorio. En éste capítulo se presentan algunas NOM's aplicables al tema de éste trabajo.

#### **3.5.2.1 NOM-004-STPS-1999**

Una de las normas que aplican es la NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo, la cual solicita un programa de mantenimiento de la maquinaria y equipo.

La NOM-004-STPS-1999 en el punto 5.3 indica que el patrón está obligado a elaborar el Programa Específico de Seguridad e Higiene para la Operación y Mantenimiento de la Maquinaria y Equipo, darlo a conocer a los trabajadores y asegurarse de su cumplimiento.

La norma ya citada, en el punto 7.2 indica que la información mínima que debe contener el Programa Específico de Seguridad e Higiene para la Operación y Mantenimiento de la Maquinaria y Equipo es la siguiente:

- La capacitación que se debe otorgar a los trabajadores que realicen las actividades de mantenimiento.
- La periodicidad y el procedimiento para realizar el mantenimiento preventivo y, en su caso, el correctivo, a fin de garantizar que todos los componentes de la maquinaria y equipo estén en condiciones seguras de operación, y se debe cumplir, al menos, con las siguientes condiciones:
  - ✓ al concluir el mantenimiento, los protectores y dispositivos deben estar en su lugar y en condiciones de funcionamiento;
  - ✓ cuando se modifique o reconstruya una maquinaria o equipo, se deben preservar las condiciones de seguridad;

### *3.5.2.2 NOM-020-STPS-2011*

El nombre de ésta norma es “Recipientes Sujetos a Presión y Calderas – Funcionamiento – Condiciones de Seguridad”, misma que establece los requisitos mínimos de seguridad para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión y calderas en los centros de trabajo, para la prevención de riesgos a los trabajadores y daños en las instalaciones.

Dentro de ésta norma, se menciona que las obligaciones (de manera general) del patrón son:

- Presentar toda la documentación e información para obtener la autorización de funcionamiento y mantenerla vigente. Dicha autorización la otorga la STPS<sup>12</sup>.
- Tener un listado de todos los equipos que se encuentren instalados en el centro de trabajo, no importando si requieren o no de la autorización de funcionamiento.
- Demostrar la seguridad de los equipos; que las pruebas que se le practiquen, sean bajo las medidas de seguridad necesarias.
- Contar con personal capacitado para la operación, mantenimiento o reparación de los equipos.

---

<sup>12</sup> Secretaría del Trabajo y Previsión Social

También indica las condiciones mínimas de seguridad, las cuales, de manera general, son las siguientes:

- Los equipos (RSP) deben estar resguardados contra golpes o impactos.
- Se debe disponer de los espacios libres necesarios para las actividades de operación, mantenimiento y revisión.
- Los equipos deben contar con equipos auxiliares, instrumentos de medición de presión y dispositivos de seguridad.
- El desahogo de los fluidos de las válvulas de seguridad en los equipos, debe dirigirse a un lugar donde no dañe a trabajadores ni al centro de trabajo.
- Además debe contar con procedimientos impresos que incluyan al menos las medidas de seguridad y los datos e información documental de:
  - I. De operación.
  - II. De mantenimiento, dentro del cual se debe definir:
    - Periodicidad y alcance del mantenimiento preventivo.
    - Capacitación y adiestramiento requerido del personal designado para efectuarlo.
    - Implementar las medidas de seguridad de las actividades de reparación y mantenimiento
  - III. De revisión.

También muestra los requisitos necesarios para obtener la autorización de funcionamiento.

Como se observa, estas condiciones aplican en la presente investigación debido a que dentro de la empresa se tienen RSP, los cuales tienen que cumplir con ciertas especificaciones normativas, independientes del programa de mantenimiento que tiene la empresa. Los RSP con los que se cuenta son: un compresor, 3 tanques de almacenamiento de amoníaco y un tanque de almacenamiento de ácido fosfórico.

Para mayor información, consultar la norma antes mencionada.

### **3.6 NUTRIENTES VEGETALES**

En este apartado se inicia por diferenciar entre nutrientes vegetales y abonos; los abonos son aquellos nutrientes creados por la naturaleza, los cuales pueden ser de origen animal o vegetal, mientras que los nutrientes vegetales son fabricados por el ser humano.



### 3.6.1 DEFINICION

Un nutriente vegetal es una sustancia o mezcla física, natural o sintética que contiene elementos químicos, denominados nutrientes, para mantener y/o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo.

Los nutrientes vegetales deben presentarse en una forma en la cual la planta los pueda absorber.

Con los nutrientes vegetales se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobreexplotados<sup>13</sup>

### 3.6.2 PRINCIPALES COMPONENTES

Los requerimientos de las plantas son distintos en sus procesos de nutrición, por lo cual las fórmulas de los Nutrientes Vegetales son diversas, sin embargo de manera general se clasifica a los Nutrientes Vegetales en dos grandes grupos:

- **Simples:** están compuestos principalmente de 3 elementos, Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) ya que son éstos los elementos básicos que requiere la planta. Generalmente se indica la composición de la siguiente forma 20-30-10, lo cual implica que contiene el 20% de N, 30% de P y el 10% de K.
- **Compuestos:** son aquellos que se encuentran enriquecidos con elementos secundarios y normalmente en menor cantidad que los componentes básicos. Los elementos secundarios pueden ser, metales, hormonas, ácidos fúlvicos, etc.

### 3.6.3 CLASIFICACIÓN

Existen diversas formas de clasificar a los Nutrientes Vegetales, sin embargo para efectos de este trabajo, se emplea la clasificación que ocupa la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), organismo encargado de la regulación de éste tipo de productos en México, con apoyo de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

La COFEPRIS clasifica en 2 grandes grupos a los productos agroquímicos<sup>14</sup>:

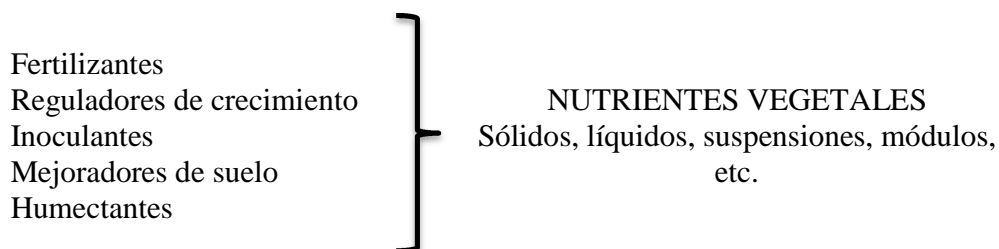
---

<sup>13</sup> (FAO e IFA, 2002).

<sup>14</sup> Clasificación y definiciones extraídas del Reglamento en Materia de Registros, Autorizaciones de Importación y Exportación y Certificados de Exportación de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y Sustancias y Materiales Tóxicos o Peligrosos que emite la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

- **Plaguicidas:** Cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destine a controlar cualquier plaga, incluidos los vectores que transmiten las enfermedades humanas y de animales, las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria y forestal, así como las sustancias defoliantes o desecantes.
- **Nutrientes Vegetales:** Cualquier sustancia o mezcla de sustancias que contenga elementos útiles para la nutrición y desarrollo de las plantas.
  - **Fertilizantes**
    - Orgánicos
    - Inorgánicos
  - **Reguladores de crecimiento:** insumo de nutrición vegetal que favorece o inhibe los procesos celulares en las plantas, con base en moléculas orgánicas.
    - Sintéticos
    - No sintéticos
  - **Inoculantes:** insumo de nutrición vegetal elaborado con base en microorganismos que al aplicarse, favorece el aprovechamiento de los nutrimentos en asociación con la planta o su rizósfera.
  - **Mejoradores de suelo:** insumo de nutrición vegetal que modifica favorablemente las condiciones físicas, químicas o biológicas del suelo para mejorar el desarrollo de las plantas.
    - Orgánicos
    - Inorgánicos
    - Biológicos
  - **Humectantes:** sustancia o mezcla que, aplicada al suelo, favorece la retención del agua.

A partir de lo anterior se les clasificó de la siguiente manera:



### 3.6.4 FUNDAMENTO DE LA NECESIDAD DEL USO DE NUTRIENTES VEGETALES

De acuerdo con las proyecciones del Banco Mundial, la población mundial aumentará de seis mil millones de personas en 1999 a siete mil millones en 2020. Posiblemente, usted está viviendo en un país con las tasas de crecimiento mayores o el más elevado aumento absoluto del número de personas. En ese caso, las consecuencias de un aumento de la población le serán familiares: toda esta gente deberá contar con vivienda, vestirse y, sobre todo, ser alimentada. El 90 por ciento de este aumento necesario de la producción de alimentos será suministrado por los campos ya cultivados. De acuerdo con datos de la FAO durante el período 1995–97, alrededor de 790 millones de personas en el mundo en desarrollo no tenía suficiente para alimentarse. El número ha decaído en los años recientes en un promedio de alrededor de ocho millones de personas por año. En el año 2015, si el ritmo no se incrementa, habrá aún 600 millones de personas hambrientas.

En los países en desarrollo, la mayoría de los agricultores activos del sector de producción de alimentos son agricultores de pequeña escala que forman parte de la pobreza rural. La introducción de nuevos sistemas agrícolas y de tecnologías mejoradas es muy importante para ellos, dado que el incremento de la productividad resulta no sólo en más alimentos sino también en más ingreso.

En consecuencia, las actividades agrícolas tienen dos objetivos principales:

1. Suministrar a la población creciente de su país (o también a la de otros países) con las cantidades crecientes de alimentos y de fibras necesarias; y
2. Proveer un ingreso satisfactorio para el agricultor y su familia<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> (FAO e IFA, 2002).

## CAPITULO IV ANALISIS

"Cuando los problemas de calidad se resuelven,  
los problemas de costo y tiempo,  
son grandemente reducidos"  
Anónimo

“El factor más relevante para hacer factible la implantación del sistema es un concepto racional de gestión del mantenimiento en el contexto de la empresa, seguido por la adecuada preparación tecnológica del personal. Mientras se prefiera destinar los presupuestos de mantenimiento a la cobertura de gastos, en detrimento de las inversiones en mantenimiento de la instalación, será difícil implantar el sistema en cuestión con pleno éxito.”<sup>16</sup>

### 4.1 ANÁLISIS CAUSA- EFECTO

Para poder tener un diagnóstico en el cual se identifiquen los principales factores que generan las fallas en el mantenimiento, se realizó un diagrama de causa-efecto. Para el desarrollo de dicho diagrama se realizó una lluvia de ideas para identificar las principales causas y se obtuvo el diagrama que se muestra en la figura 4.1.

El diagrama de causa- efecto, se realizó empleando el método de las 6M's, el cual consiste en tener en cuenta los siguientes parámetros:

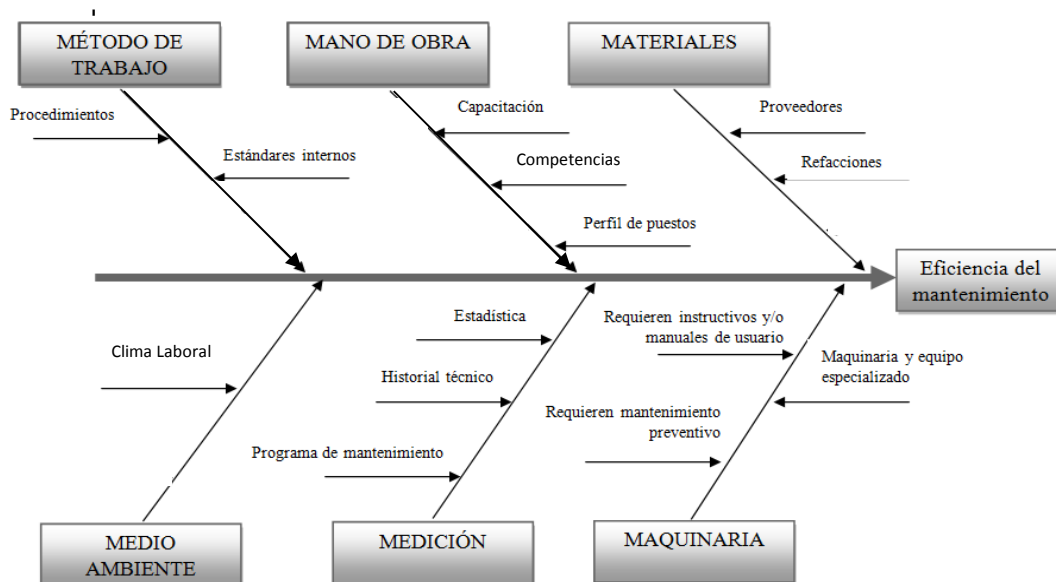


Figura 4.1 Diagrama Ishikawa  
Fuente: el autor

<sup>16</sup>Cesáreo Gómez de León Félix, Tecnología del mantenimiento industrial, o.p.c.cit., p.31

## 4.2 TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIOS

De acuerdo al análisis de causa y efecto, se obtuvieron 14 posibles causas que pueden influir en la eficiencia del mantenimiento, mismas que fueron analizadas con el programa de cómputo de análisis de decisiones “Expert-Choice”.

En el programa Expert-Choice, se dan valores a cada uno de los niveles, considerando la escala de Saaty que se muestra en la tabla 4.1. Utilizando dos criterios de evaluación para la toma de decisiones “Calidad” y “Costo”.

Intensidad de importancia	Definición
1	Igual importancia de ambos elementos.
3	Débil importancia de un elemento sobre otro.
5	Esencial o importancia fuerte de un elemento sobre otro.
7	Importancia demostrada de un elemento sobre otro.
9	Absoluta importancia de un elemento sobre otro.

NOTA: 2, 4,6 y 8 son valores intermedios entre los juicios adyacentes

Tabla 4.1 Tabla de Valores de Saaty

La Técnica para Proceso para el Análisis Jerárquico con Expert-Choice se muestra en la figura 4.2:

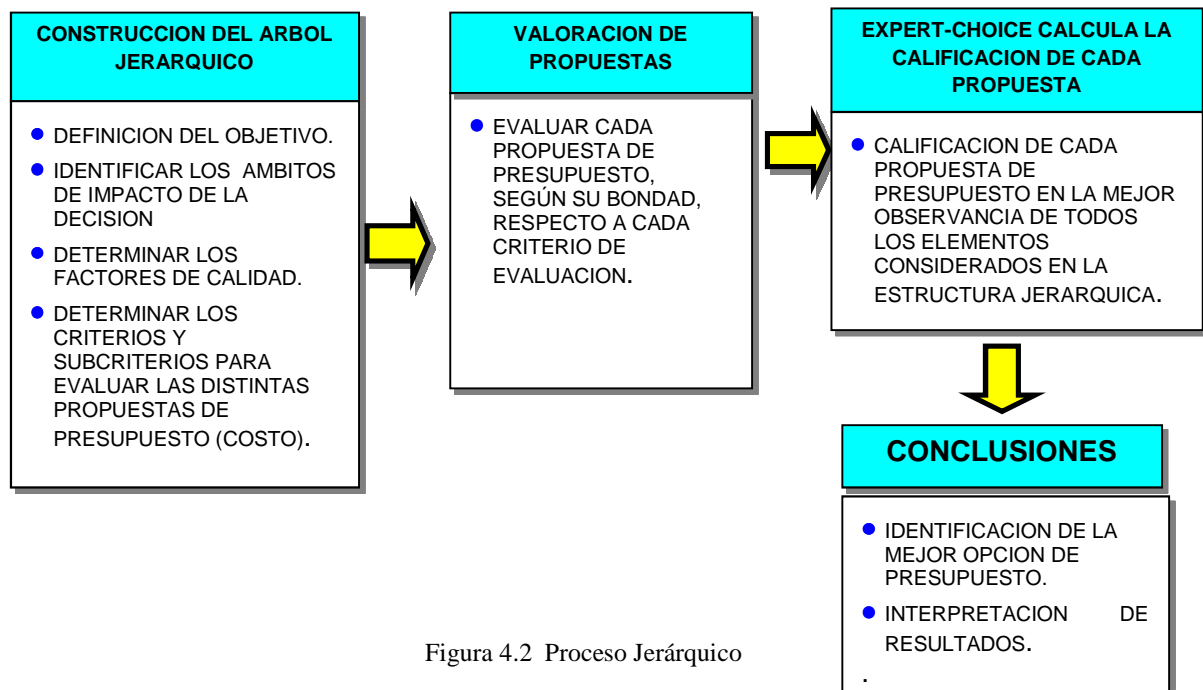


Figura 4.2 Proceso Jerárquico

En base al diagrama causa efecto se construye el árbol jerárquico que se utilizara en el Expert-Choice figura 4.3.

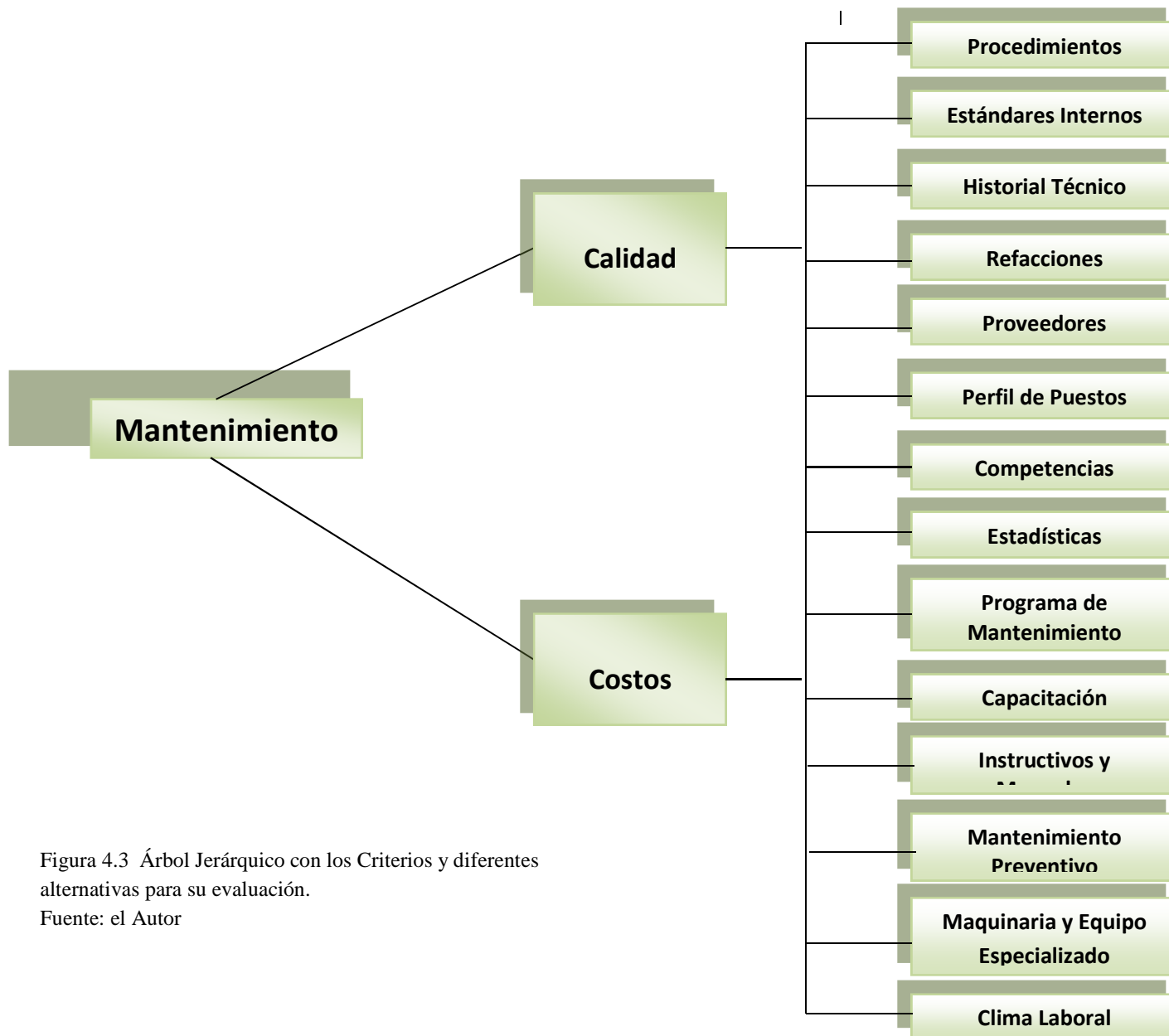


Figura 4.3 Árbol Jerárquico con los Criterios y diferentes alternativas para su evaluación.

Fuente: el Autor

Utilizando el software de E-CH se evalúa para cada criterio y posteriormente se obtiene la evaluación general con la ponderación de ambos criterios.

Al ponderar el criterio Costo con las 14 alternativas se obtuvieron los resultados que se presentan en la figuras 4.4 y 4.5:

	Procedimie	Estándares	Historial T	Refaccione	Proveedori	Perfil de pu	Competenc	Estadística	Programa	Capacitaci	Instructivo	Mantenimi	Maquinaria	Clima Labc
Procedimientos	1.0													
Estándares Internos		3.0												
Historial Técnico			3.0											
Refacciones				8.0										
Proveedores					1.5									
Perfil de puestos						1.6								
Competencias							2.0							
Estadística								2.0						
Programa de Mantenimiento									1.0					
Capacitación										1.0				
Instructivos y Manuales											4.0			
Mantenimiento preventivo												4.0		
Maquinaria y Equipo Espec													1.0	
Clima Laboral														2.0

Figura 4.4 Matriz Criterio Costo y alternativas

Una vez ponderadas las actividades de acuerdo al criterio Costo, se procede a jerarquizarlas como se observa en la figura 4.5

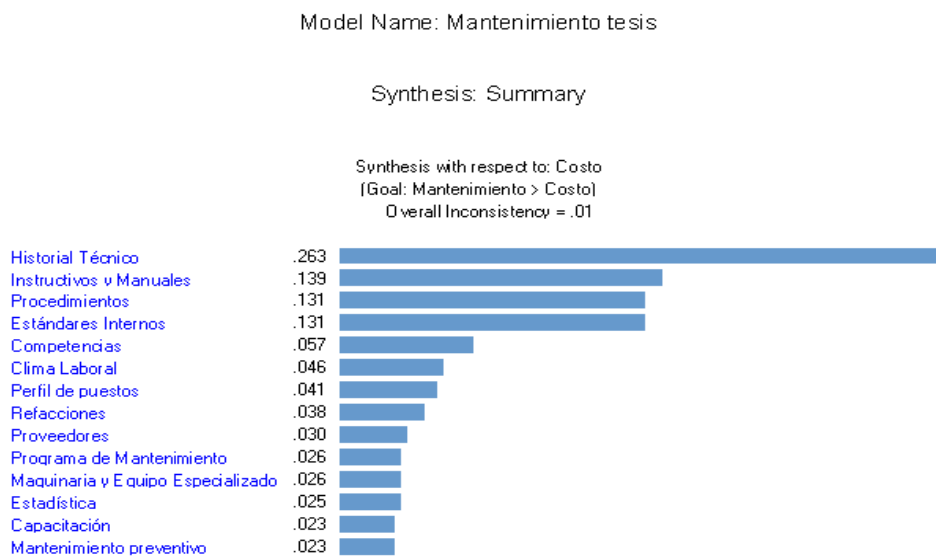


Figura 4.5 Jerarquización de las alternativas con base en el Criterio Costo

De igual forma, se realizan los cálculos para el Criterio Calidad con las 14 alternativas obteniéndose los resultados mostrados en las figuras 4.6 y 4.7

	Procedimie	Estándares	Historial Té	Refaccione	Proveedore	Perfil de pu	Competenc	Estadística	Programa	Capacitaci	Instructivos	Mantenimi	Maquinaria	Clima Labc
Procedimientos		1.0	1.0	5.0	5.0	5.0	5.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
Estándares Internos			1.0	5.0	5.0	5.0	5.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
Historial Técnico				5.0	5.0	5.0	5.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
Refacciones					1.0	1.0	1.0	9.0	9.0	9.0	5.0	9.0	5.0	5.0
Proveedores						1.0	1.0	9.0	9.0	9.0	5.0	9.0	5.0	5.0
Perfil de puestos							1.0	9.0	9.0	9.0	5.0	9.0	5.0	5.0
Competencias								9.0	9.0	9.0	5.0	9.0	5.0	5.0
Estadística									1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0
Programa de Mantenimiento										1.0	2.0	1.0	2.0	2.0
Capacitación											2.0	1.0	2.0	2.0
Instructivos y Manuales												2.0	1.0	1.0
Mantenimiento preventivo													1.0	1.0
Maquinaria y Equipo Especiali														1.0
Clima Laboral														
Incon: 0.00														

Figura 4.6 Matriz Criterio Calidad y alternativas

Después de ponderar las actividades de acuerdo al Criterio Calidad, se procede a jerarquizarlas como se muestra en la figura 4.7

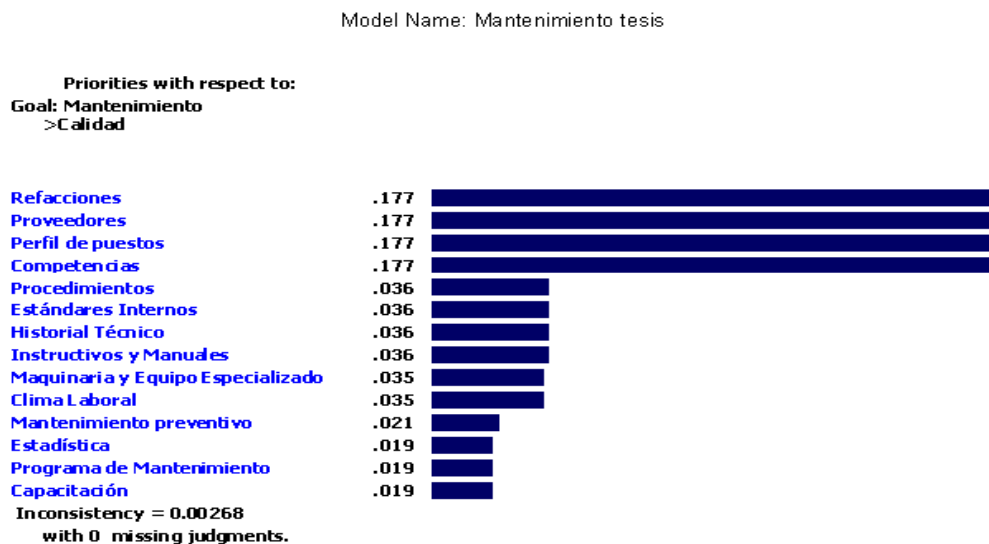


Figura 4.7 Jerarquización de las alternativas con base en el Criterio Calidad



Finalmente, se procede a ponderar los dos criterios “CALIDAD” y “COSTO” para obtener la jerarquización general que corresponde a la meta “**Mantenimiento**”, en la figura 4.8 se presentan las alternativas que tienen mayor impacto en el logro del objetivo.

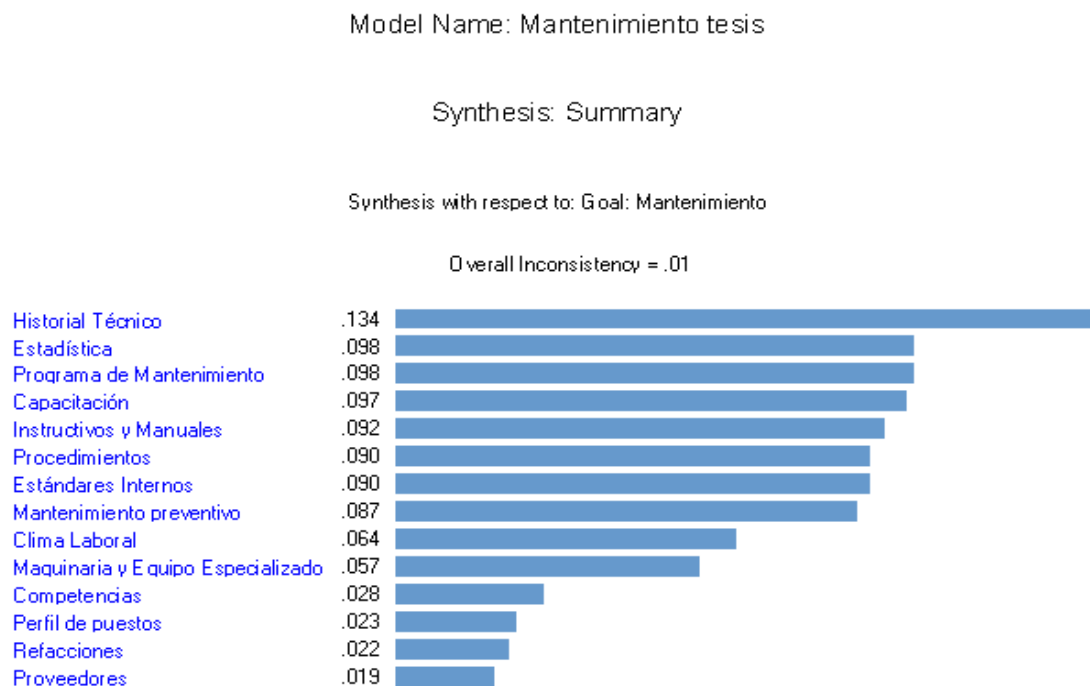


Figura 4.8 Jerarquía General de las alternativas con base en los Criterios “Calidad” y “Costo”

Posteriormente los resultados del Expert-Choice se ordenan en forma descendente para generar una tabla de frecuencias acumuladas, ver tabla 4.2, a partir de la cual se realizará un Diagrama de Pareto, figura 4.9, indicando las acciones que mayor impacto tendrán en el programa de mantenimiento.

	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	%	% ACUMULADO
1	Historial técnico	0.134	13.4	13.4
2	Estadística	0.098	9.8	23.2
3	Programa de Mantenimiento	0.098	9.8	33
4	Capacitación	0.097	9.7	42.7
5	Instructivos y Manuales	0.092	9.2	51.9
6	Procedimientos	0.09	9	60.9
7	Estándares Internos	0.09	9	69.9
8	Mantenimiento Preventivo	0.087	8.7	78.6
9	Clima Laboral	0.064	6.4	85
10	Maquinaria y Equipo Especializado	0.057	5.7	90.7
11	Competencia	0.028	2.8	93.5
12	Perfil de Puestos	0.023	2.3	95.8
13	Refacciones	0.022	2.2	98
14	Proveedores	0.019	1.9	100

Tabla 4.2 Tabla de frecuencia acumulada  
Fuente: el autor

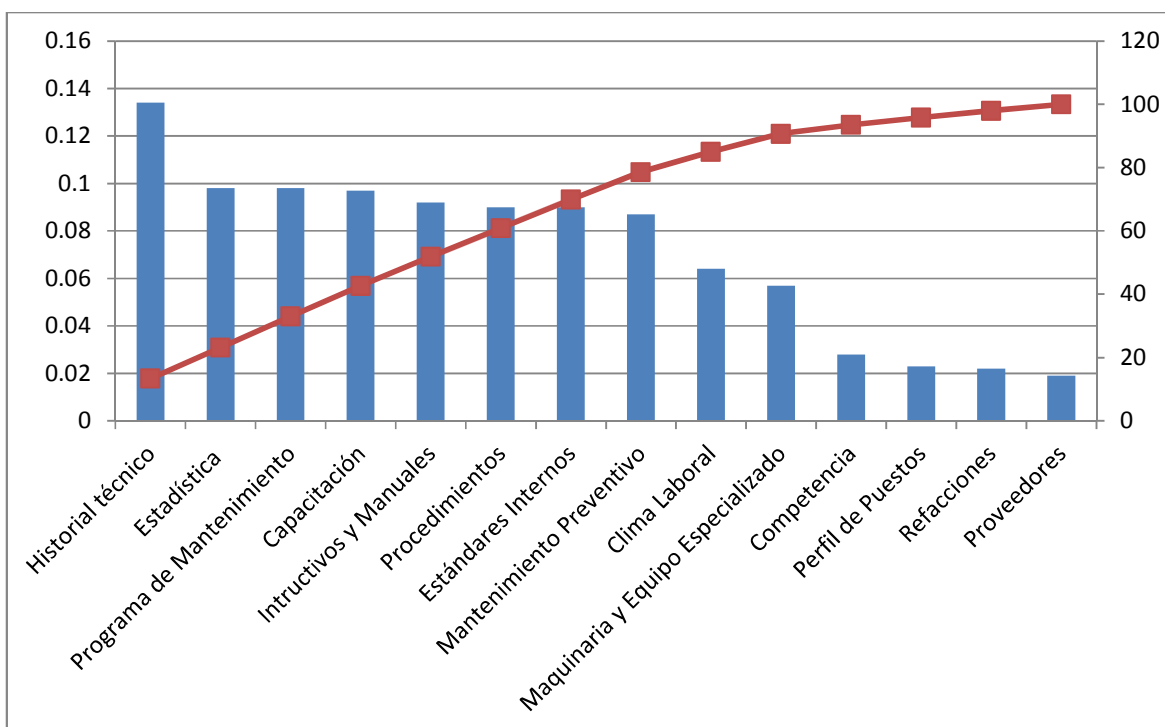


Figura 4.9 Diagrama de Pareto  
Fuente: el autor

De acuerdo con el diagrama de Pareto, se determina que las alternativas que tienen mayor impacto para alcanzar la meta “Mantenimiento” son: **Estadística, Programa de Mantenimiento, Capacitación, Instructivos y Manuales, Procedimientos, Estándares Internos, Mantenimiento Preventivo, Clima laboral**, con porcentaje total de 85%. Por lo tanto, la propuesta se enfocará fundamentalmente en dar prioridad a dichas alternativas.

Para atender las necesidades antes mencionadas y lograr la mejora continua con el Programa de Mantenimiento, se recomienda cumplir con las siguientes indicaciones:

- Registrar la información de los mantenimientos que se realizan a los equipos (ver el registro de datos del Capítulo V) con base en el historial técnico de los mismos y obtener la estadística correspondiente, a partir de ello planear el programa de mantenimiento preventivo de los equipos críticos.
- El Departamento de Recursos Humanos debe encargarse de:
  - Desarrollar un programa de capacitación y motivación del personal.
  - Revisar los perfiles de puestos para asegurar que se cuenta con el personal adecuado.
  - Implementar el programa de mantenimiento preventivo.
- Revisión de los instructivos y manuales del usuario con los que se cuentan. En el caso de los manuales o instructivos con los que no se tengan, deberán de solicitarse a los proveedores o bien desarrollarlos.
- La implementación de estas alternativas permitirá a la organización ser competitiva; se estará capacitado para el desarrollo de proveedores que aseguren el suministro de refacciones; de esta manera el programa de mantenimiento tiene un efecto integral en toda la organización.

## CAPITULO V PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO

"Una persona lista resuelve un problema,  
una persona sabia lo evita"  
A. Einstein

La falta de un programa de mantenimiento incrementa los costos de operación de la empresa y exceden con mucho la inversión inicial requerida para la implementación del programa que la investigación propone. Esto es, la detección de los defectos o problemas en los equipos mediante un adecuado sistema de mantenimiento, permite en poco tiempo un ahorro de dinero muy superior al costo de la implantación.

Frecuentemente, el fallo de un elemento, que a primera vista podría parecer insignificante, puede convertirse en una falla grave. Los costos elevados en que se incurre por la reparación justifican una inversión que, en algunos casos, se recupera la primera vez que el programa de mantenimiento entra en funcionamiento.

Cuando se implementa un programa de mantenimiento, cualquiera que este sea, es necesario comprobar la posibilidad, justificación y viabilidad de cada una de las opciones previstas.

Como ya se mencionó, en la empresa en estudio, no existe un programa de mantenimiento, por lo cual sólo se realiza mantenimiento correctivo y tampoco se cuenta con registros que permitan tener un historial técnico, análisis estadístico para monitorear el comportamiento de la maquinaria y equipo.

Por lo anterior, para iniciar con un programa de mantenimiento, se requiere lo siguiente:

- Contar con un inventario de equipos y/o maquinaria.
- Clasificar los equipos y/o maquinaria de acuerdo a su criticidad.
- Elaborar un análisis de confiabilidad para programar el mantenimiento preventivo de aquellos equipos y/o maquinaria clasificada como crítica.
- Elaborar un proceso de análisis RCM.
- Elaborar programas de mantenimiento para todos los equipos.
- Contar con registros que ayuden a detectarlas principales fallas que llega a tener el equipo, el tipo de mantenimiento que se le realiza y la fecha del mismo.

### 5.1 INVENTARIO DE EQUIPOS Y/O MAQUINARIA

Se debe contar con un inventario de todos los equipos y maquinaria que se tienen en la empresa. El inventario de la empresa en estudio, se puede observar en el capítulo II de éste trabajo de investigación.

## 5.2 CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS DE ACUERDO A SU CRITICIDAD

Para analizar los equipos que se contemplarán en el programa de mantenimiento preventivo, se ocupó la clasificación A, B, C, mencionada en el capítulo III y se examinó también a los recipientes sujetos a presión, que como ya se vió en el capítulo III, están normados por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Así, en la tabla 5.1 se muestra el resultado del análisis realizado a los equipos. Para efectos de este trabajo, sólo se consideran los equipos de tipo A (críticos) y tipo B (importante).

Tipo de equipo	Nombre del equipo
<b>A CRÍTICO</b>	Mezcladora de pantalón Mezclador de listón Tableteadora Mezcladora Doyle Tolva de almacenamiento Doyle Tanque de mezclado Llenadoras de 1 y 4 litros Mezclador (suspensión) Molino coloidal (suspensión) Bombas Waukesha 1 y 2 Selladora de inducción Bombas de líquidos 1, 2 y 3 Secador rotatorio Compresor
<b>B IMPORTANTE</b>	Molinos de martillo 1 y 2 Etiquetadoras 1, 2 y 3 Codificadora Tanque de almacenamiento de ácido fosfórico Nodrizas de amoniaco 1, 2 y 3
<b>C PRESCINDIBLE</b>	Banda transportadora Tanques de maduración 1 y 2 (suspensión) Encintadoras 1 y 2 Selladora neumática Selladora de pie Tanque de almacenamiento de producto terminado Filtro de platos Cernidor

Tabla 5.1 Resultado del análisis de los equipos de acuerdo a la clasificación A, B, C.  
Fuente: el autor

## 5.3 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

A continuación se muestra un ejemplo para obtener la curva de confiabilidad, con base en los datos que se tienen de los equipos y/o maquinaria, con el fin de estudiar la vida de los mismos en unidades de tiempo, para determinar probabilísticamente los periodos de tiempo en que puede ocurrir una falla en el equipo y/o maquinaria.

Cabe mencionar, que el cálculo de confiabilidad se realizó únicamente para el molino de martillo 1, clasificado como equipo crítico. Esto se realizó únicamente para ejemplificar, aunque en la práctica éste cálculo se realizará para todos los equipos que se tengan.

Se comienza el cálculo con la información obtenida de los mantenimientos efectuados en el equipo como se observa en la tabla 5.2.

Equipo	Clasificación	Tiempo en hr.							
		B.E.	M.	B.E.	M.	B.E.	M.	B.E.	M.
<b>Molino de martillo 1</b>	Crítico (A)	513	5	433	3	1452	3	1017	9

Tabla 5.2 Control para el cálculo de confiabilidad  
Fuente: el autor

A continuación, se ordenan los datos en forma ascendente, se obtiene el valor de la Mediana de Bernard (RM) y se realizan las operaciones para obtener los datos a graficar, utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{Para } Y = RM \text{ (posición de graficación): } \text{Ln} \left( \text{Ln} \left( \frac{1}{1 - RM} \right) \right)$$

$$\text{Para } X = \text{datos de tiempo: } \text{Ln} (d)$$

A partir de estos se obtiene la tabla de datos 5.3 que se muestra a continuación.

Posteriormente, con los datos de la tabla 5.3 se realiza la gráfica de la figura 5.1 y se obtiene la función lineal para continuar con los cálculos y se obtiene la ecuación de la recta para obtener la curva de confiabilidad.

Dato	Tiempo de operación (en forma ascendente) sin fallas (hr) (d)	Rango de Mediana (RM) Bernard	Ln (Ln(1/1-RM))	Ln (d)
1	433	0.1590	-1.753518357	6.070737728
2	513	0.3863	-0.716929615	6.240275845
3	1017	0.6136	-0.050365118	6.924612396
4	1449	0.8409	0.608798987	7.278628942

Tabla 5.3 Cambios de variable para linealizar d y RM.  
Fuente: el autor

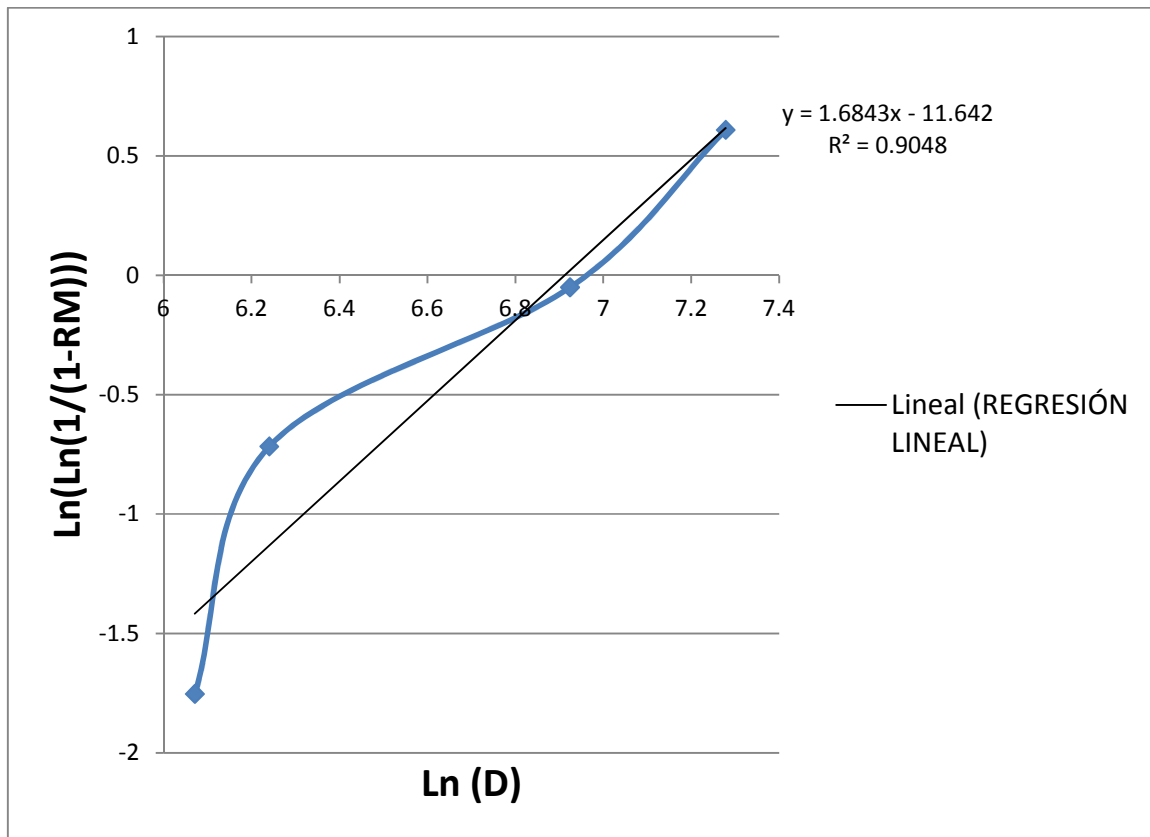


Figura 5.1 Gráfica de dispersión y regresión lineal  
Fuente: el autor

De la regresión lineal se obtienen los siguientes datos:

Si:  $y = \eta x - b$

Entonces

$$\eta = 1.6843$$

$$b = -11.642$$

A partir de los datos anteriores, se obtiene el valor de  $\Theta$  y en Excel se calcula el coeficiente de Pearson.

$$\Theta = \text{EXP}(-b/\eta) = 1004.32434$$

$$\text{Coeficiente de Pearson} = 0.951194492$$

$$\eta = \beta = 0.5372$$

$$R^2 = 0.9048$$

Con los datos anteriores, se calcula y grafica la probabilidad de no fallar del equipo C (t) y la probabilidad de falla F (t).

<b>TIEMPO ESPERADO (hr)</b>	<b>F(t)</b>	<b>C(t)</b>
<b>0</b>	1	0
<b>100</b>	0.74856556	0.25143444
<b>200</b>	0.65688329	0.34311671
<b>300</b>	0.5930243	0.4069757
<b>400</b>	0.54343475	0.45656525
<b>500</b>	0.50282579	0.49717421
<b>600</b>	0.46848251	0.53151749
<b>700</b>	0.438796	0.561204
<b>800</b>	0.41272261	0.58727739
<b>900</b>	0.3895417	0.6104583
<b>1000</b>	0.36873219	0.63126781
<b>1100</b>	0.34990378	0.65009622
<b>1200</b>	0.33275577	0.66724423
<b>1300</b>	0.31705115	0.68294885
<b>1400</b>	0.30259954	0.69740046
<b>1500</b>	0.28924555	0.71075445

Tabla 5.4 Parámetros para la construcción de la gráfica de confiabilidad  
Fuente: el autor



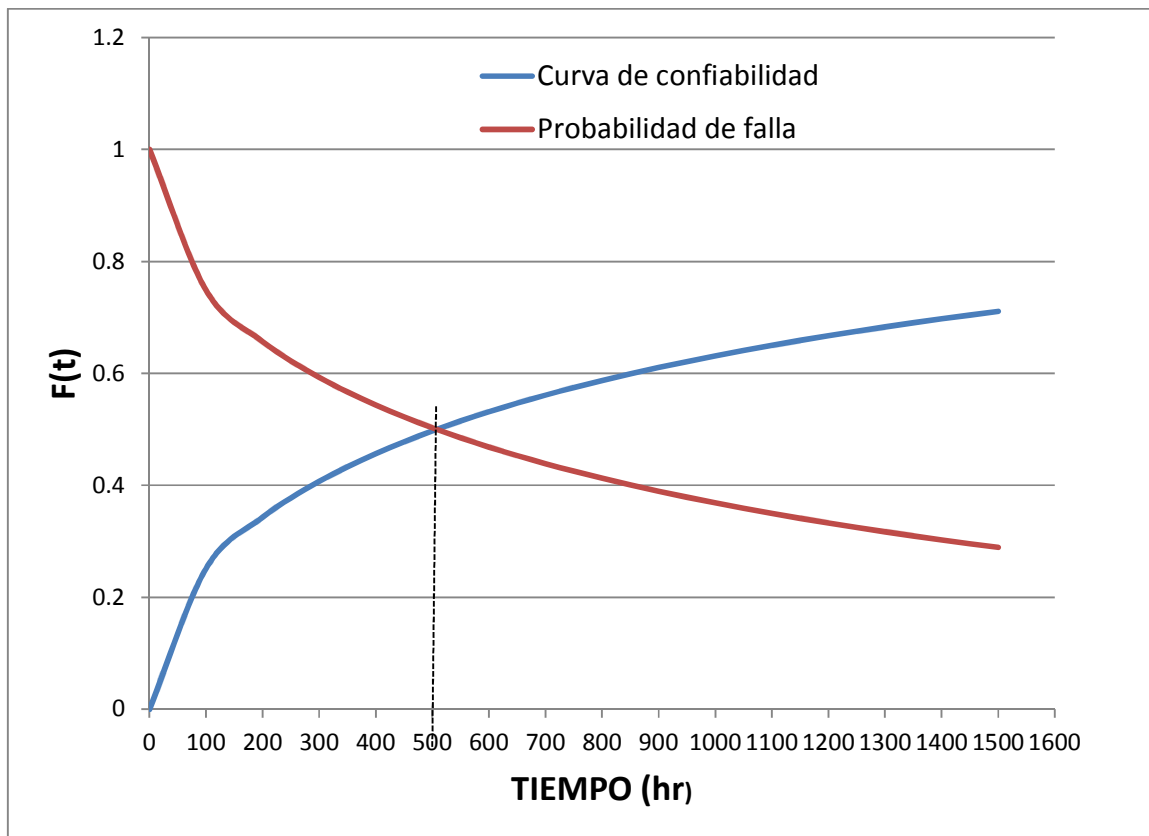


Figura 5.2 Gráfica de confiabilidad  
Fuente: el autor

En la figura 5.2 se observa la gráfica de confiabilidad y se obtiene el tiempo promedio en el que el equipo permanecerá sin falla. Esto se obtiene al encontrar el punto en el que se intersectan ambas curvas y corresponde a 500hr.

Teóricamente se calcula el tiempo promedio mediante la siguiente fórmula, para comparar ambos resultados.

$$t \text{ de intersección} = \theta \left( -\ln \frac{1}{2} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

Sustituyendo:

$$t \text{ de intersección} = 1004.32434 \left( -\ln \frac{1}{2} \right)^{\frac{1}{0.5372}} = 507.65647$$

Con la fórmula, se obtiene un dato más preciso, por lo cual es el valor a utilizar; lo que significa que el mantenimiento preventivo al molino de martillo 1 se tendrá que realizar cada 507 horas y por tanto, las refacciones necesarias se solicitaran antes de las 507 horas.

## 5.4 RESULTADO DEL ANÁLISIS RCM

Ahora se muestra paso a paso el análisis RCM para uno de los equipos que fue catalogado como importante (tipo B) en el análisis de criticidad, el molino de martillo 1. El análisis sería muy similar para el molino de martillo 2 debido a que son equipos en los que sólo cambia la capacidad.

Con éste análisis se identifican las principales partes que se deben revisar cuando se realiza el mantenimiento preventivo.

Contestando a las preguntas planteadas anteriormente para el análisis, se tiene:

### Equipo: molino de martillo 1

#### Capacidad 400 kg/hr

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?

- Molienda de materia prima sólida. No menos de 200 kg/hr.
- Contener el sólido para evitar pérdidas.

2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?

- Incapaz de realizar la molienda de la materia prima sólida.
- Fugas de la materia prima sólida, lo cual causa pérdidas de la misma

3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?

<b>Incapaz de realizar molienda de la materia prima sólida</b>	<b>Fugas de la materia sólida.</b>
<b>Falla en rotor</b>	Los sellos del molino, tanto a la entrada como a la salida de la materia prima
<b>Falla en placas de impacto</b>	

4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?

<b>Incapaz de realizar molienda de la materia prima sólida</b>	
<b>FALLA</b>	<b>EFEECTO</b>
<b>Falla en rotor</b>	El desgaste del rotor puede provocar un mayor ruido. Si los tornillos del rotor se encuentran sueltos, harán que éste funcione mal.
<b>Falla en placas de impacto y listones</b>	A medida que las placas de impacto y los listones se desgastan, provocan una mayor vibración

<b>Fugas de la materia prima sólida</b>	
<b>FALLA</b>	<b>EFECTO</b>
<b>Sellos desgastados</b>	A medida que los sellos se van desgastando, éstos se adelgazan y permiten la fuga de materiales.

5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?

<b>Incapaz de realizar molienda de la materia prima sólida</b>	
<b>FALLA</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>
<b>Falla en rotor</b>	Operacional, debido a que el equipo no se podrá ocupar y por tanto se deberá parar la producción.
<b>Falla en placas de impacto y listones</b>	

<b>Fugas de la materia prima sólida</b>	
<b>FALLA</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>
<b>Sellos desgastados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ambiente laboral: debido a que afecta la salud de los trabajadores ya que los polvos los afectan.</li> <li>• Operacional: las mermas de material provocan pérdidas económicas.</li> </ul>

6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?

Realizar revisiones periódicas de las partes más críticas como lo son:

- Tornillos de sujeción de las placas de impacto
- Tornillos de sujeción de las protecciones laterales
- Tornillos de sujeción del rotor
- Bandas
- Chumaceras
- Protecciones laterales
- Tornillos opresores de las poleas
- Placas de impacto y listones
- Sellos de la entrada y salida de la materia prima.

Nuevamente es importante mencionar que éste análisis se debe realizar para todos los equipos que se tengan, aunque para éste trabajo sólo se ejemplificó con un solo equipo.

## 5.5 OTRAS CONSIDERACIONES

Es preciso hacer incapie en que la clasificación anterior no debe de aplicarse de forma única, ya que además de ello se pueden considerar otros factores que afectan la criticidad de un equipo; como el tiempo medio requerido para las reparaciones, la existencia de los repuestos y los periodos de entrega de los mismos.

Otro de los aspectos a considerar, son aquellos equipos que están sometidos a una normatividad legal que llega a exigir ciertas actividades o programación de mantenimiento a realizar obligatoriamente, independientemente del programa de mantenimiento que lleve la empresa.

Además, existirán diversas tareas de mantenimiento que la empresa no sea capaz de realizar:

- Porque no cuenta con los conocimientos suficientes.
- Porque no posee los medios necesarios.

## 5.6 REGISTRO DE DATOS

Como se observó, la periodicidad dependerá en gran parte de la criticidad del equipo y sus refacciones, además del uso que se le da, por tanto es importante analizar y registrar previamente el comportamiento del equipo. Para facilitar la obtención de dichos datos, se puede hacer uso de los siguientes formatos:

- Ficha de análisis de fallas
- Ficha de plan de acción de las fallas
- Ficha de equipo

### 5.6.1 FICHA DE ANÁLISIS DE FALLAS

Una ficha de fallas, sirve para registrar las fallas que tiene el equipo, la periodicidad con la que ocurren, cual fue el origen o naturaleza de la falla, dar un diagnóstico y una posible solución. Para mayor información, consultar el anexo 1.

### **5.6.2 FICHA DE PLAN DE ACCIÓN DE LAS FALLAS**

Este tipo de ficha, es útil para plasmar el plan de acción al suceder la falla y con esto, tener antecedentes por escrito por si la falla se vuelve a repetir, saber cómo actuar. En el anexo 2 se muestra un ejemplo de ésta ficha.

### **5.6.3 FICHA DE EQUIPO**

Una ficha de equipo contiene toda la información importante del equipo para realizarle un mantenimiento. Una ficha de equipo, debe contener al menos la siguiente información:

- Código del equipo y descripción.
- Datos generales.
- Características principales (especificaciones).
- Valores de referencia.
- Análisis de criticidad del equipo.
- Modelo de mantenimiento recomendable.
- Normatividad que le aplica.
- Tipo de servicios a subcontratar, si es que necesita.
- Repuestos críticos
- Consumibles necesarios
- Acciones formativas para el conocimiento del equipo.

En el anexo 3 se muestra una propuesta para una ficha de equipo.

## CONCLUSIONES

A partir del análisis realizado en el capítulo cuatro se demuestra que la implementación de un programa de mantenimiento preventivo, en el área de producción disminuirá los paros inesperados a causa de fallas en los equipos y reducirá los costos de producción y los tiempos de entrega de los productos a los clientes, por lo que se cumple la hipótesis de la investigación.

Con base en los resultados obtenidos del análisis jerárquico y el diagrama de Pareto, en el capítulo cinco se diseña una guía para el programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria del área de producción y satisfacción de los clientes en cuanto al tiempo de entrega de sus productos.

En el capítulo cuatro mediante el empleo de herramientas de calidad y toma de decisiones se determinaron los principales factores que influyen en el mantenimiento y se dio una recomendación para atacar dichos factores.

Para llegar al planteamiento del programa de mantenimiento preventivo, fue necesario identificar los equipos críticos y definir la periodicidad con que se llevarían a cabo las inspecciones mediante un análisis de confiabilidad y se identificaron las partes del equipo que se deben revisar durante el mantenimiento preventivo.

Con la implementación, evaluación y mejora continua del programa de mantenimiento preventivo, los costos de mantenimiento serán considerablemente más bajos; además de que con el tiempo y el registro adecuado de las fallas y mantenimientos, se puede, en lo posterior, implementar un mantenimiento predictivo, que como ya se vio, tiene mayores ventajas, pero se requiere que la empresa recopile más datos acerca de los equipos y contar con un programa de mantenimiento más maduro.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Camisón César, Cruz Sonia, González Tomás, Gestión de la Calidad. Conceptos, enfoques, modelos y sistemas, Madrid, España, Pearson educación, 2007.
2. Cesáreo Gómez de León Félix, Tecnología del mantenimiento industrial, Murcia. España, Universidad de Murcia, 1998, consultado en: <http://books.google.com.mx/books>.
3. Hitoshi Kume, Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad, Bogotá, Colombia, Editorial Norma, 2002.
4. Mora Luis Alberto, Mantenimiento. Planeación, ejecución y control, México D.F., Alfaomega, 2011.
5. Santiago Plaza Tovar Alejandro, Apuntes teóricos y ejercicios de aplicación de gestión del mantenimiento industrial, s.l., s.e., 2009, consultado en: <http://books.google.com.mx/books>
6. Walter Reynaldo Fabián Grijalva, Tesis: Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para una planta de café soluble, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2003, consultado en: <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/87.pdf>
7. Zenón Fuentes, Arturo, Enfoques de la Planeación, México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, 2001.

# ANEXO 1

ORGANIZACIÓN _____	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN _____	
<b>FICHA DE ANÁLISIS DE FALLAS</b>		
<b>IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO</b>		
MAQUINA: _____	CÓDIGO: _____	
ELEMENTOS ASOCIADOS: _____	_____	
FUNCIÓN: _____	_____	
<b>CALIFICACIÓN DE CRITICIDAD</b>		
A _____	B _____ C _____	
<b>AVERIA</b>		
<b>NATURALEZA</b>		
Mecánica _____	Hidráulica _____	
Eléctrica _____	Neumática _____	
Electrónica _____	Otros _____	
<b>TIPO DE FALLO</b>		
Progresivo _____	Parcial _____	Degradación _____
Súbito _____	Total _____	Múltiple _____
Evidente _____	Oculto _____	
<b>CONSECUENCIAS</b>		
<b>PRODUCCIÓN</b>	<b>INMOVILIZACIÓN</b>	<b>SEGURIDAD</b>
Sin consecuencias _____	Breve _____	Sin daños a personas _____
Bajo rendimiento _____	Largo _____	Posible lesión _____
Paro _____	Muy largo _____	Riesgo grave _____
<b>MEDIO AMBIENTE</b>	<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>FRECUENCIA</b>
Ninguno _____	Bajo _____	Ocasional _____
Bajo _____	Medio _____	Frecuente _____
Alto _____	Alto _____	Muy frecuente _____
<b>CALIFICACIÓN/GRAVEDAD</b>		
Menor _____	Crítico _____	
Significativo _____	Catastrófico _____	
<b>DIAGNÓSTICO:</b>		
_____		
_____		
_____		
_____		
<b>SOLUCIÓN:</b>		
_____		
_____		
_____		
_____		
_____		
_____		
FECHA: _____	NOMBRE Y FIRMA DE QUIEN REALIZA _____	





