

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

**ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO  
CENTRADO EN CONFIABILIDAD  
CASO LÍNEA SEIS DE PEPSICO ALIMENTOS S.C.A.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Fabián E. Bravo H.  
para optar al Título de  
Ingeniero de Procesos Industriales

Cagua, junio 2016

# **TRABAJO FINAL DE GRADO**

## **ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD CASO LÍNEA SEIS DE PEPSICO ALIMENTOS S.C.A.**

**Tutor Académico:** Ing. Pedro Alejandro Acosta

**Tutor Industrial:** Ing. Freissy Padilla

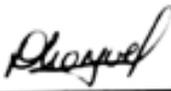
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Fabián E. Bravo H.  
para optar al Título de  
Ingeniero de Procesos Industriales

Cagua, junio 2016

## ACTA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado evaluador designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Procesos Industriales, Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para evaluar el Trabajo Final de Grado presentado por el bachiller Fabián Eduardo Bravo Hernández, CI 20.334.289, titulado: **Elaboración de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Caso Línea Seis de Pepsico Alimentos S.C.A.**, consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Proceso Industriales, sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, por lo que lo declaran APROBADO.

En Cagua, estado Aragua, 01 de junio de 2016.



**Ing. Dhoryvel Cabrera**

C.I. 7.273.915

Jurado Principal



**Ing. José Rangel**

C.I. 16.100.509

Jurado Principal



**Ing. Pedro Acosta**

C.I. 6.170.015

Tutor / Coordinador del Jurado

## **DEDICATORIA**

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además por ser mi guía, orientador y amigo permaneciendo a mi lados en todos los momentos de mi vida.

A mi madre, María M. Hernández y a mi padre Fabián G. Bravo, por brindarme amor, comprensión, fuerza, valor y por atender pacientemente todas mis inquietudes en todos estos años en que he estado inmerso en mis estudios y a quienes debo todos mis logros.

A mis hermanos, Adrián G. Bravo H. y David R Bravo H., quienes han estado presentes durante todas las etapas de mi vida y me han brindado su apoyo incondicional.

A mis amigos y familiares, quienes siempre confiaron en mí y me apoyaron en mis decisiones, dándome buenos consejos y apoyándome para cumplir esta meta.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por mostrarme siempre el camino y darme fuerzas para levantarme en los momentos difíciles.

Agradezco a mi madre, María M. Hernández y a mi padre Fabián G. Bravo, por su apoyo incondicional y el amor que me han brindado en cada paso de mi vida.

A mis hermanos, Adrián G. Bravo H. y David R Bravo H., por ser mis hermanos mayores y apoyarme siempre, guiándome durante todas las etapas de mi vida, tanto en momentos difíciles como de alegría.

A mis amigos y hermanos Carlos Torres, Jorge Correa, José Correa, Alirio Lara, Gabriel Fernández y William García, por brindarme apoyo, compañía, buenos consejos y por estar siempre con una palabra de aliento cuando los he necesitado.

A mi tutor, Ing. Pedro Ing. Pedro Alejandro Acosta y a mi tutor industrial Ing. Freissy Padilla por brindarme su apoyo incondicional y servir como guía en la elaboración de mi Trabajo de Grado.

# **ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

**CASO LÍNEA SEIS DE PEPSICO ALIMENTOS S.C.A.**

**Fabián Eduardo Bravo Hernández**

**Tutor Académico:** Ing. Pedro Acosta. **Tutor Industrial:** Ing. Freissy Padilla

**Trabajo Final. Cagua, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de  
Procesos Industriales. Pepsico Alimentos S.C.A. Año 2016, 64 páginas**

## **RESUMEN**

La presente investigación tuvo como objetivo general, proponer una alternativa para la disminución de las horas de paradas no programadas en la Línea Seis de Pepsico Alimentos S.C.A. En el diagnóstico se determinó que la gestión de mantenimiento está enfocada en actividades correctivas, lo que genera retrasos en los tiempos de producción. Para determinar la problemática existente, se hizo una revisión de la data operacional y los históricos de fallas de los equipos pertenecientes al proceso productivo, lo que indicó que los extrusores son los equipos que presentaron más horas de paradas no programadas. Luego de determinar el equipo crítico del proceso productivo, se realizó un Análisis de Modos y Efectos de Fallas, para determinar cuáles son las causas y las consecuencias que generan las fallas funcionales, posteriormente se elaboró un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, que tiene como objetivo aumentar progresivamente la confiabilidad operacional de los extrusores, de esta manera se reducirán costos asociados al mantenimiento y a las fallas del equipo, también le proporcionará a los trabajadores las herramientas necesarias para atacar una falla según sea su criticidad y frecuencia de ocurrencia, además les brindará un ambiente de trabajo más seguro, mediante una reducción de los riesgos asociados a las fallas en los extrusores.

**Palabras claves:** mantenimiento, extrusor, paradas no programadas, confiabilidad operacional, fallas, criticidad.

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
ACTA DE APROBACIÓN .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS .....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	4
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.1 Planteamiento del Problema .....	4
1.2 Objetivos de la Investigación.....	8
1.2.1 Objetivo General .....	8
1.2.1.1 Objetivos Específicos.....	8
1.3 Justificación del Problema.....	9
1.4 Alcance .....	9
CAPITULO II.....	11
MARCO DE REFERENCIA .....	11
2.1 Antecedentes .....	11
2.2 Reseña Histórica de la Empresa.....	15
2.3 Bases Teóricas.....	18
2.3.1 Mantenimiento.....	18
2.3.1.1 Mantenimiento Preventivo .....	18
2.3.1.2 Mantenimiento Correctivo .....	18
2.3.1.3 Mantenimiento Predictivo .....	18
2.3.2 Disponibilidad .....	19

2.3.2.1	Tiempo Medio entre Fallas .....	19
2.3.2.2	Tiempo Medio de Reparación.....	19
2.3.3	Planificación del Mantenimiento.....	20
2.3.4	Frecuencia de Inspección .....	20
2.3.5	Confiabilidad Operacional .....	20
2.3.6	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).....	20
2.3.6.1	Características del MCC.....	21
2.3.6.2	Árbol Lógico de Decisión (ALD).....	23
2.3.6.3	Equipo Natural de Trabajo (ENT) .....	24
2.3.6.4	Tareas Proactivas .....	25
2.3.6.5	Tareas de Reacondicionamiento Cíclico .....	25
2.3.6.5.1	Frecuencia de Reacondicionamiento Cíclico.....	25
2.3.6.6	Tareas de Sustitución Cíclica.....	25
2.3.6.6.1	Frecuencia de Sustitución Cíclica .....	26
2.3.6.7	Acciones “a falta de” .....	26
2.3.6.8	Búsqueda de Fallas .....	26
2.3.6.9	Ningún Mantenimiento Programado.....	26
2.3.6.10	Rediseño .....	26
2.3.6.11	Tareas a Condición .....	27
2.3.6.12	Falla Oculta.....	27
2.3.7	Análisis de Criticidad.....	27
2.3.7.1	Frecuencia de Falla .....	29
2.3.7.2	Impacto Operacional .....	30
2.3.7.3	Flexibilidad Operacional .....	30
2.3.7.4	Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene (SHA).....	30
2.3.8	Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).....	30
2.3.8.1	Número de Prioridad de Riesgo (NPR).....	31
2.3.8.1.1	Severidad .....	32
2.3.8.1.2	Ocurrencia.....	32
2.3.8.1.3	Detección .....	32

2.3.9	Términos Asociados al AMEF: .....	32
2.3.9.1	Falla Funcional .....	33
2.3.9.2	Modo de Falla .....	33
2.3.9.3	Efecto de Falla .....	33
2.3.10	Proceso Productivo de la Línea Seis de Extruidos Blandos .....	34
2.4	Marco Conceptual .....	35
2.4.1	Collets .....	35
2.4.2	Extruido .....	36
2.4.3	Extrusión .....	36
2.4.4	Extrusor .....	36
2.4.5	Grits .....	36
2.4.6	Condimento (Slurry) .....	37
CAPITULO III .....		38
MARCO METODOLÓGICO .....		38
3.1	Tipo de Estudio .....	38
3.2	Unidad de Análisis .....	38
3.3	Técnicas para la Recolección de Información .....	39
3.3.1	Fuentes Primarias .....	39
3.3.2	Fuentes Secundarias .....	39
3.4	Técnicas para el Análisis y Presentación de la Información .....	39
3.4.1	Diagrama de Flujo. ....	40
3.4.2	Árbol Lógico de Decisión. ....	40
3.4.2	Diagrama de Pareto.....	40
3.5	Fases Metodológicas .....	40
3.5.1	Fase I: Revisión Bibliográfica. ....	40
3.5.2	Fase II: Preanálisis del MCC.....	41
3.5.3	Fase III: Análisis de Criticidad. ....	41
3.5.4	Fase IV: Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) de los Extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos. ....	42
3.5.5	Fase V: Diagrama Lógico para la Selección de Estrategias y Definición de	

Tareas de Mantenimiento (ALD) .....	42
CAPITULO IV .....	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	47
4.1 Diagnosticar la Situación Actual de la Gestión de Mantenimiento en los Extrusores de la Línea Seis:.....	47
4.2 Establecer el Equipo Natural de Trabajo (ENT) para la Elaboración del Plan de MCC:.....	48
4.3 Análisis de Criticidad: .....	48
4.4 Análisis de Modos y Efectos de Falla: .....	51
4.5 Árbol Lógico de Decisión: .....	51
CONCLUSIONES .....	56
RECOMENDACIONES .....	58
REFERENCIAS .....	59
ANEXOS.....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 01.</b> Horas en Funcionamiento de los Extrusores de la Línea Seis.....	6
<b>Tabla 02.</b> Parámetros para la evaluación de la criticidad. ....	28
<b>Tabla 03.</b> Parámetros para definir la Criticidad de un Equipo.....	29
<b>Tabla 04.</b> Estructura de la Hoja de Información del MCC .....	42
<b>Tabla 05.</b> Estructura de la Hoja de Decisión del MCC .....	43
<b>Tabla 06.</b> Tareas de Mantenimiento en los Extrusores de la Línea Seis. ....	47
<b>Tabla 07.</b> Consecuencia de las Fallas en los Extrusores de la Línea Seis. ....	49
<b>Tabla 08.</b> Matriz de Criticidad de los Extrusores de la Línea Seis .....	49
<b>Tabla 09.</b> Porcentaje de Criticidad Acumulado .....	50
<b>Tabla 10.</b> Hoja de Información del MCC .....	52
<b>Tabla 11.</b> Hoja de Decisión del MCC.....	53
<b>Tabla 12.</b> Programa de Mantenimiento para los Extrusores de la Línea Seis. ....	54
<b>Tabla 13.</b> Inventario de Repuestos para extrusores de Línea Seis. ....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

<b>Grafico 01.</b> Kilogramos Producidos 2013-2014.....	5
<b>Figura 01.</b> Ubicación de Plantas Operativas y Centros de Distribución en Venezuela. .....	17
<b>Figura 02.</b> Sistema de Confiabilidad Operacional.....	21
<b>Figura 03.</b> Siete Preguntas Claves del MCC.....	22
<b>Figura 04.</b> Árbol Lógico de Decisión.....	24
<b>Figura 05.</b> Flujograma de Implementación del AMEF.....	31
<b>Figura 06.</b> Escala de Severidad, Ocurrencia y Detección del NPR.....	32
<b>Figura 07.</b> Formato de la Hoja de Información del MCC.....	34
<b>Figura 08.</b> Diagrama de Flujo Línea Seis.....	35
<b>Figura 09.</b> Extrusor de Alimentos.....	37
<b>Figura 10.</b> Resumen de las Consecuencias de Fallas.....	44
<b>Figura 11.</b> Criterios de Factibilidad Técnica.....	45
<b>Figura 12.</b> Las Preguntas “A Falta de”.....	46
<b>Grafico 02.</b> Diagrama de Pareto de los Componentes de los Extrusores.....	50

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas tienen entre sus principales objetivos, satisfacer las necesidades de los clientes, elaborar productos de calidad y aumentar sus ingresos, lo cual se logra a través de la maximización de su producción y la minimización de los recursos que utiliza (insumos, mano de obra, materia prima, entre otros) para elaborar sus productos en el menor tiempo posible y reducir los costos.

Una de las estrategias empleadas para tal fin, es prolongar la utilidad de sus equipos mediante una estrategia que permita priorizar hacia donde debe enfocarse el esfuerzo de mantenimiento de los mismos, a fin que la empresa siempre esté en disponibilidad de producir sus productos cuando el mercado así lo exija. De esta manera se reducirán los costos asociados al mantenimiento, estableciendo una ventaja competitiva.

Para lograr la ventaja antes señalada, a nivel mundial, cada vez crece el porcentaje de empresas cuyo control de la gestión del mantenimiento se realiza por medio de tres indicadores fundamentales: mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad. Sexto, (2012), define dichos indicadores como:

*La disponibilidad es la probabilidad de que un activo realice la función asignada cuando se requiere de ella. La disponibilidad depende de cuán frecuente se producen los fallos en determinado tiempo y condiciones (confiabilidad) y de cuánto tiempo se requiere para corregir el fallo (mantenibilidad). De modo que la mantenibilidad queda definida como la probabilidad de que un activo (o conjunto de activos) en fallo, sea restaurado a su estado operativo, dentro de un tiempo determinado, cuando la acción de corrección se efectúa acorde a los procedimientos establecidos por la empresa...*

La metodología más empleada a nivel mundial por las empresas, a fin de llevar a cabo una gestión de mantenimiento eficiente, con el fin de reducir las fallas en los equipos y aumentar la disponibilidad de sus activos físicos, es el Mantenimiento

Centrado en Confiabilidad (MCC o RCM), el cual se define según Smith, (1993) como: “Una filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema”.

Actualmente Pepsico Alimentos S.C.A, empresa encargada de la elaboración de productos de consumo masivo, en la categoría de alimentos snacks (pasapalos o bocadillos), no cuenta con un correcto plan de mantenimiento en la Línea Seis de Extruidos Blandos, el cual está enfocado hacia un mantenimiento correctivo, lo que ha generado un aumento en las horas de paradas no programadas en los extrusores, afectando de esta manera la disponibilidad de los mismos en el proceso productivo.

La empresa busca la manera de reducir el número de horas de paradas no programadas, para obtener una mayor confiabilidad y disponibilidad de sus activos físicos, esto se logra mejorando su actual gestión de mantenimiento.

De acuerdo a lo anterior expuesto, el objetivo del presente trabajo final de grado es proporcionarle a la empresa un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad que les permita aumentar la disponibilidad de los Extrusores de la Línea Seis de Pepsico Alimentos S.C.A, aplicando los conocimientos adquiridos en los diversos módulos de la carrera de Ingeniería de Procesos Industriales, entre los cuales se destacan: el aseguramiento de la calidad; productividad y logística en procesos industriales; la administración, control y evaluación de procesos mantenimiento y ambiente seguridad e higiene.

Este Trabajo Final de Grado está constituido por cuatro capítulos, que se presentan a continuación:

En el Capítulo I, El Problema de la Investigación, se evidencian los argumentos que

respaldan la problemática existente, está conformado por: el planteamiento del problema, objetivos de la investigación, justificación y alcance del proyecto.

En el Capítulo II, Marco de Referencia, se hizo una revisión de trabajos previos realizados sobre el problema en estudio, además se muestran las definiciones necesarias para la comprensión del proyecto; el mismo está constituido por los antecedentes, reseña histórica de la empresa y bases teóricas.

En el Capítulo III, Marco Metodológico, se describen los procedimientos empleados para lograr los objetivos planteados en la investigación, está conformado por: tipo de estudio, unidad de análisis, técnicas para la recolección de datos, técnicas para el análisis y presentación de la información, y fases metodológicas.

En el Capítulo IV, Resultados y discusión, se describe la situación actual de los extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos y se realizó un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad aplicado a los mismos, posteriormente se indicaron las conclusiones y recomendaciones que surgieron durante la realización del presente Trabajo Especial de Grado.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Planteamiento del Problema

En Venezuela, se ha visto un especial interés por parte de las empresas en aumentar la disponibilidad de sus sistemas productivos, no solamente para reducir los costos asociados al mantenimiento, sino adicionalmente a que la mayoría no cuenta con el capital para renovar sus activos físicos.

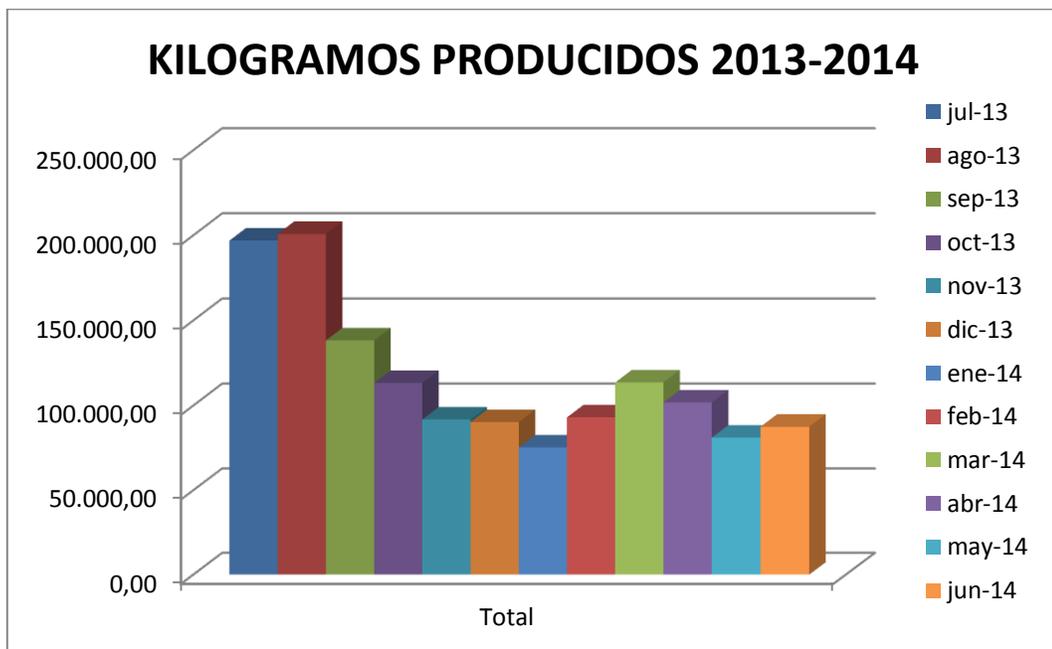
La empresa Pepsico Alimentos S.C.A., ubicada en la zona industrial de Santa Cruz, es una industria encargada de la elaboración y comercialización de productos de consumo masivo, en la categoría de alimentos Snacks (pasapalos o bocadillos) y tienen la necesidad de alargar la vida útil de sus activos físicos, además de aumentar su disponibilidad para garantizar un correcto funcionamiento de su proceso productivo.

La empresa cuenta con seis líneas de producción, dentro de las cuales la Línea Tres y la Línea Seis son las que se encargan de la elaboración de los extruidos blandos (Pepitos y Cheetos). De las mismas, la Línea Seis, posee tres extrusores de iguales características (anexo 01), donde se observan problemas relacionados con la disponibilidad de los mismos.

La Línea Seis de Extruidos Blandos presenta dificultades para cumplir con los planes de producción, debido a que se lleva a cabo una gestión de mantenimiento enfocada en un mantenimiento correctivo; lo que origina numerosas paradas no programadas, afectando considerablemente la disponibilidad de los extrusores y generando retrasos en el proceso productivo.

Para Pepsico Alimentos S. C. A, el Pepito © es su producto de mayor demanda, y es de hecho uno de los más predominantes en el mercado de los bocadillos o pasapalos (snacks) del país. Es por ello que cuando la Línea Seis de Extruidos Blandos presenta dificultades para producir, se refleja notablemente en el competitivo mercado de los snacks de Venezuela.

En el grafico 01 se muestran los kilogramos producidos en la Línea Seis de Extruidos Blandos (datos obtenidos por el departamento de estadística de la empresa), desde julio de 2013 hasta mayo de 2014 respectivamente.



**Gráfico 01.** Kilogramos Producidos 2013-2014.

En la Línea Seis de Extruidos Blandos de Pepsico Alimentos S.C.A, la producción ha disminuido en relación al año 2013, como se puede apreciar en el Gráfico 01, siendo la baja disponibilidad de los extrusores uno de los factores más determinantes en esta situación, ya que los mismos en algunas ocasiones no han estado disponibles para producir cuando el flujo de producción lo amerita (anexo 02); esto trae consecuencias negativas para la empresa, ya que le dificulta cumplir o

abarcar la demanda del mercado, lo que puede causar la incursión de nuevas marcas en el mercado.

En la tabla 01 se muestran, las horas de funcionamiento de los extrusores durante los primeros 10 meses del año 2014, incluyendo las horas de parada programadas y no programadas.

**Tabla 01.** Horas en Funcionamiento de los Extrusores de la Línea Seis.

MES/AÑO	Horas calendario de producción (HCP)	Horas de paradas programadas (HPP)	Horas no programadas (HNP)	Horas de funcionamiento (HF)
ene-14	408	50	17	341
feb-14	502	80	61	361
mar-14	558	85	65	408
abr-14	499	82	55	362
may-14	565	230	135	200
jun-14	588	240	81	267
jul-14	672	108	72	492
ago-14	502	88	82	332
sep-14	461	125	78	258
oct-14	552	107	79	366
<b>TOTAL</b>	<b>5307</b>	<b>1195</b>	<b>725</b>	<b>3387</b>

En la tabla anterior se pueden observar las horas de funcionamiento de los extrusores de la Línea Seis, los cuales tuvieron 725 horas de paradas no programadas, para determinar el funcionamiento de los extrusores se utilizó la siguiente ecuación:

**Fórmula I**

$$F = \frac{HF}{(HCP - HPP)}$$

Donde:

F: funcionamiento

HF: horas de funcionamiento

HCP: horas calendario de producción

HPP: horas de paradas programadas

Sustituyendo los valores de la Tabla 01 en la fórmula mencionada anteriormente, se determinó que los extrusores operaron al 82% de su funcionamiento en los primeros diez meses del año 2014.

$$F = \frac{3387}{(5307 - 1195)} \times 100\% = 82\%$$

La baja disponibilidad de los mismos genera pérdidas de capital, gastos de mantenimientos imprevistos, pago de honorarios extras; además de las pérdidas de materia prima, ya que si un extrusor se detiene, toda la mezcla de sémola de maíz se pierde.

Para determinar el porcentaje de horas de mantenimiento destinadas a acciones correctivas se utilizó la siguiente fórmula:

**Fórmula II**

$$HMP = \frac{HNP}{(HPP + HNP)} \times 100\%$$

Donde:

HMP: horas de mantenimiento preventivo

HPP: horas de paradas programadas

HNP: horas no programadas

Sustituyendo los valores de la Tabla 01 en la fórmula II, se obtuvo que aproximadamente un 38% de las horas totales de mantenimiento, están destinadas para la realización de un mantenimiento correctivo, lo que es un porcentaje muy alto para la empresa, generando de esta manera un alto número de horas de paradas no programadas.

$$\text{HMP} = \frac{725}{(1195 + 725)} \times 100\% = 37.76\%$$

Como se observa en la tabla 01, la columna de horas de paradas no programadas, indica que existen períodos de tiempo donde la productividad es nula, los cuales están relacionados directamente con la existencia de estados de falla en el sistema; todo esto ocasionado por una gestión de mantenimiento enfocada en tareas correctivas, lo que afecta considerablemente la disponibilidad de los extrusores.

En consecuencia de lo anteriormente planteado, surgió la necesidad del departamento de mantenimiento en mejorar su gestión, de tal manera se puedan reducir las horas de paradas no programadas, disminuir los costos de mantenimiento e incrementar la confiabilidad de los extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos.

## **1.2 Objetivos de la Investigación**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Elaborar un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad aplicable a los extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos de la empresa Pepsico Alimentos S.C.A, Planta Santa Cruz.

#### **1.2.1.1 Objetivos Específicos**

- Diagnosticar la situación actual de la gestión de mantenimiento en los extrusores de la Línea Seis Pepsico Alimentos S.C.A.
- Realizar un Análisis de Criticidad de los extrusores de la Línea Seis Pepsico Alimentos S.C.A.

- Ejecutar un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) a los extrusores de Línea Seis de Pepsico Alimentos S.C.A.
- Diseñar un Plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad a los extrusores de la Línea Seis de Pepsico Alimentos S.C.A.

### **1.3 Justificación del Problema**

Los datos obtenidos de la presente investigación, le servirán a la empresa para reducir las horas de paradas no programadas, aumentando la disponibilidad de los extrusores de la Línea Seis. También ayudará a mejorar su actual gestión de otros activos; ya que logrará una reducción en los costos operativos y de mantenimiento, como resultado de la disminución de los desperdicios y mejora en la utilización de los equipos.

Un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad le permitirá a la empresa garantizar que sus equipos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de su contexto operacional (anexo 03); también les brindará a los trabajadores un ambiente de trabajo más seguro, mediante la reducción de los riesgos asociados a las fallas de los equipos.

Cabe resaltar que la aplicación del mismo servirá de capacitación para el personal de mantenimiento y les proporcionará las herramientas necesarias para abordar cada falla según sea su criticidad y frecuencia en la que ocurra.

### **1.4 Alcance**

La presente investigación abarcó el desarrollo de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para los extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos, no involucró los demás activos físicos pertenecientes a la línea de producción.

Es importante resaltar que la aplicación del plan de MCC, no está contemplada dentro del proyecto, ya que esta decisión será tomada por la empresa Pepsico Alimentos S.C.A.

## CAPITULO II

### MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1 Antecedentes

Da Costa (2010) **Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a Motores a Gas de dos Tiempos en Pozos de Alta Producción.** Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

El Trabajo Especial de Grado señalado, permitió identificar los problemas que dificultaban la maximización de la función de los motores a gas, ésto se logró a través de un análisis de modo y efectos de falla, con el cual se pudieron determinar la criticidad y el impacto que tiene cada una de las fallas en los mismos. Posteriormente se elaboró el MCC con el cual se pudo incrementar la vida útil de sus componentes, así como la disponibilidad del equipo; algunas de las estrategias que se tomaron para lograr esto fueron: optimización del mantenimiento preventivo, implementación de mantenimiento predictivo, optimización del cambio sistemático de componentes en función de la frecuencia de las fallas, implementación de inspecciones sensoriales por parte de los operadores, identificación de mejoras en las instalaciones a cargo de Ingeniería de Mantenimiento, identificación de repuestos críticos.

Todas estas estrategias que se ejecutaron para la aplicación del MCC, sirvieron de apoyo para el presente estudio, además se pudo apreciar que con la ejecución de un buen AMEF se pueden determinar con mayor eficacia la incidencia y criticidad de cada una de las fallas.

Por su parte Rodríguez (2002) **Estudio del Mantenimiento de los Equipos Críticos de un Sistema de Deshidratación de Gas Natural (Basado en MCC).**

Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Con el Trabajo de Grado señalado, se logró determinar que uno de los factores más importantes en la confiabilidad del proceso productivo, es tener una alta disponibilidad de todos los equipos que conforman el proceso productivo, efectuar evaluaciones de confiabilidad para los equipos estáticos del sistema no aporta gran información a la sección de mantenimiento, debido a su baja tasa de fallas. Es preferible efectuar actualizaciones de los niveles de riesgo para tomar medidas orientadas hacia la reducción de la frecuencia y mitigación de sus consecuencias. Algunas de las herramientas que se utilizaron para la realización del plan de mantenimiento basado en MCC fueron: AMEF, Análisis de Criticidad y el Árbol Lógico de Decisión

La investigación mencionada le permitió a PDVSA-GAS adaptar las tareas de mantenimiento del sistema de deshidratación a los requerimientos del proceso, lo que significó una mejora en la gestión de mantenimiento, que es similar a lo que se buscó al elaborar el plan de MCC a los extrusores de la Línea Seis de Pepsico Alimentos S.C.A.

De igual manera Álvarez (2003) **Aplicación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), para una Planta de Pastas Alimenticias.** Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

La presente investigación mencionada le permitió a la empresa Cargill de Venezuela, por medio de una selección y agrupación de tareas de mantenimiento aumentar progresivamente la confiabilidad de los equipos y le proporcionó las herramientas necesarias para reducir costos asociados al mantenimiento. Para la realización del Análisis de Modos y Efectos de Falla se hizo una revisión de los

históricos de fallas, lo que permitió identificar cuáles eran los principales modos y efectos de fallas, lo que sirvió de punto de partida para elaborar el plan MCC. Las estrategias utilizadas para la realización de este proyecto fueron: AMEF, Análisis de Criticidad, Árbol Lógico de Decisión.

El trabajo de Grado referido le permitió a la empresa tener un inventario óptimo de repuestos en el almacén, según la criticidad, durabilidad y tiempo de falla de cada una de las piezas del equipo, lo cual es uno de los objetivos que se buscó en esta investigación.

Dentro del mismo contexto, Borbón (2008) **Aplicación de un Programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para los Sistemas Auxiliares de la Turbina a Gas W501D5**. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

El objetivo principal del Trabajo de Grado al cual se hace referencia, es la aplicación un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los sistemas auxiliares de la unidad turbogeneradora W501D5, para la Electricidad de Caracas Planta Oscar Augusto Machado. Se aplicó la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para establecer las rutinas de mantenimiento basado en cinco aspectos (pre-análisis, definición de sistemas y subsistemas, análisis de criticidad, análisis de modos y efectos de falla y la selección de tareas).

Las estrategias seleccionadas para la ejecución del MCC a los sistemas auxiliares de la turbina de gas W501D5, apoyan la presente investigación, ya que por medio de estas se logró determinar de manera correcta, cada una de las tareas de mantenimiento a realizar, mediante el Árbol Lógico de Decisión.

Así mismo, Canchica (2007) **Diseño de un Plan de Mantenimiento Basado en la Metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para la Flota de Equipos de carga: Palas Hidráulicas O&K de la Mina Paso Diablo Carbones**

**del Guasare S.A.** Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Industrial ante la Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.

El Trabajo Especial de Grado señalado, tuvo como principal objetivo la diseñar un plan de mantenimiento basado en MCC para la flota de equipos de carga, específicamente las Palas Hidráulicas O&K.

Para lograrlo primero se hizo un diagnóstico de la situación actual de la empresa, en la cual se determinaron los valores de indisponibilidad en el año 2006, posteriormente se hizo una revisión de los históricos de fallas que permitió identificar los estados de fallas que presentaban el equipo en estudio. Luego se realizó el Análisis de Criticidad que permitió ordenar de manera decreciente las fallas más repetitivas dentro del sistema. Por último se realizó el AMEF el cual fue el que permitió jerarquizar de manera óptima cada una de las estrategias de mantenimiento que se debían realizar para aumentar la disponibilidad de las Palas Hidráulicas O&K.

Para la aplicación de la tesis a la cual se hace referencia, los criterios que se tomaron para realizar el análisis de criticidad fueron: frecuencia de la falla, costos por reparación e impacto en el proceso productivo; estos permitieron una rápida identificación de las tareas a escoger para reducir las fallas en los equipos, estos parámetros utilizados son los mismos que se tomaron en cuenta para la elaboración del plan de MCC en Pepsico Alimentos S.C.A.

Finalmente, Veronelli (2013) **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de Equipos de Servicios y Paletizado en Pepsi-Cola Valencia.** Para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Simón Bolívar. Campus Sertenejas. Caracas, Venezuela.

En la tesis de grado referida, se implementó la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) a diferentes equipos en el área de producción y servicios en Pepsi-Cola Valencia. Su principal objetivo fue anticipar

los modos y efectos de fallas de los equipos, de esta manera se planifica y organiza que se debe hacer para solventar las fallas funcionales, para garantizar que los mismos sigan realizando su función determinada.

Lo primero que se hizo fue organizar las distintas estructuras y conjuntos de cada uno de los equipos en su sistema (manejan SAP), mejorando la base de datos de la planta. También se elaboraron catálogos de fallas, los cuales permitieron categorizar cada una de las fallas que podían ocurrir dentro del sistema, de esta manera se podrían abordar con mayor eficacia. Luego se hizo un estudio que permitió determinar cuáles eran los diferentes repuestos necesarios que debían mantener en el almacén para reducir las paradas por falta de piezas.

Para la ejecución de la tesis señalada se utilizaron las siguientes herramientas: análisis de históricos de fallas, Análisis de Modos y Efectos de Fallas, Identificación de los repuestos críticos y utilización del Árbol Lógico de Decisión. Todas estas sirvieron de apoyo al presente estudio ya que son las mismas que se pretenden utilizar para la elaboración del plan de MCC en Pepsico Alimentos S.C.A.

## **2.2 Reseña Histórica de la Empresa**

En 1939 comenzó la historia de Pepsico en Venezuela cuando se introdujo la bebida carbonatada Pepsi-Cola al mercado venezolano. 1989: Pepsico Alimentos llegó a Venezuela operando una empresa conjunta (Joint Venture) con Empresas Polar denominada Snacks América Latina.

El 11 de agosto de 1941 se fundó la empresa Savoy Candy, teniendo como centro de operaciones su quinta el Valle de Caracas, para producir chocolates, galletas y caramelos. Posteriormente en 1962 se funda Marlon, para producir pasapalos salados. Para 1965, se adquirieron las industrias Anita y sus productos de marca reconocida Jack's, para consolidarse como pionero en el mercado de pasapalos.

Durante el año de 1970 Savoy Candy fue vendida a un consorcio norteamericano de la industria alimenticia llamado Beatrice Food, cambiando de nombre a industria Savoy C.A. En 1988 Empresas Polar compró la división Latinoamérica de Beatrice Food y la denominó Savoy Brands Internacional. En Venezuela se vendieron a Nestle las fábricas de chocolates, galletas y caramelos e igualmente vendió la fábrica de pasteles al grupo Bimbo de México. Savoy Brands Internacional concretó su actividad en la producción de pasapalos, a través de las industrias Marlon y Anita, ofreciendo al consumidor productos tales como: Pepitos, Frito Chic, Papas Fritas, Pepin, entre otros.

En 1991 se adquirieron las instalaciones de Corpoluz (fábrica de lámparas), actualmente Planta Yare. En 1996 se unificaron todas las operaciones en la Planta de Yare para un total de diez líneas de producción. En 1997, se volvió a cambiar la razón social de la empresa Savoy Brands Venezuela; sin embargo, en el año de 1998, Empresas Polar decidió fortalecerse en el mercado de pasapalos aliándose con el grupo Pepsico a través de la empresa Frito Lay's líder en el ramo de pasapalos Snacks en el ámbito mundial. En el año 2000 se cambió la razón social de la compañía por la fusión realizada entre Savoy Brands Venezuela y Frito Lay denominándose ahora como Snacks América Latina y se inició la construcción de una nueva planta para la elaboración de Papas Fritas, en Santa Cruz de Aragua, la cual arrancó sus operaciones el 15 de diciembre de ese mismo año, siendo inaugurada en Junio de 2001 por el presidente de la República Bolivariana de Venezuela Hugo Rafael Chávez Frías.

A partir de 1997 se formó una empresa conjunta (Joint Venture) con Empresas Polar y crearon Pepsi-Cola Venezuela, siendo hasta hoy la embotelladora y distribuidora de bebidas bajo los estándares de calidad de PepsiCo. A mediados del año 2002, Empresas Polar agrupó todas sus bebidas en una división llamada Pepsi-Cola Venezuela. En 2007 amplió su participación accionaria en la empresa Snacks América Latina, que desde ese momento fue una empresa 100% Pepsico. 2008 Pepsico cambió de Snacks América Latina a Pepsico Alimentos S.C.A.

Actualmente la empresa cuenta con un variado portafolio de productos y marcas registradas: Pepsi, 7up, Gatorade, Ad-Rush, Té Lipton (en alianza con Unilever), H2Oh!, Evervess, Lay's, Ruffles, Natuchips, Cheetos, Doritos, Pepito, Cheese Tris, Jack's, Nutrinut, Sonrics y Quaker. La empresa PepsiCo cuenta con 3.172 empleados directos en Venezuela: 3.124 forman parte del sector alimentos, 48 son empleados directos de la unidad de bebidas. A estos se suman indirectamente 10.320 trabajadores de Pepsi Cola Venezuela (empresa distribuidora y embotelladora de nuestras bebidas carbonatadas y energética), para un total de 13.492 asociados a PepsiCo. Igualmente elabora los productos en dos plantas de producción en el país: Planta Santa Cruz de Aragua y planta La Grita para la producción de pasapalos salados, y Planta Yare para la producción de los concentrados de bebidas.



**Figura 01.** Ubicación de Plantas Operativas y Centros de Distribución en Venezuela.  
Fuente: [www.pepsico.co.ve/compañia](http://www.pepsico.co.ve/compañia)

## **2.3 Bases Teóricas**

### **2.3.1 Mantenimiento**

Suárez, (2007) lo define como el conjunto de acciones que permite mantener o restablecer un sistema productivo a un estado específico de operación, para que pueda cumplir un servicio determinado.

#### **2.3.1.1 Mantenimiento Preventivo**

Son actividades planificadas en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener los equipos bajo condiciones específicas de operación (estándar de funcionamiento). Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales, y la historia de falla de los equipos. (Suárez. 2007).

#### **2.3.1.2 Mantenimiento Correctivo**

Son actividades que se realizan después de la ocurrencia de una falla. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en restablecer las condiciones operativas de un determinado equipo una vez ocurrida la falla, esto por medio de restauración o reemplazo de componentes o partes de equipos ya sea debido al desgaste, daños o roturas de éstos. (Suárez. 2007)

#### **2.3.1.3 Mantenimiento Predictivo**

Es el que busca conocer el estado y operatividad de los equipos mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, entre otras) cuya variación sea

indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo.

### **2.3.2 Disponibilidad**

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado, también se puede definir como el porcentaje de equipos o sistemas útiles en un determinado momento. Es importante garantizar que los equipos que conforman un sistema productivo, estén disponibles el mayor tiempo posible, de esta manera los activos podrán cumplir con la función por la que fueron adquiridos.

**Fórmula III**

$$D = \frac{\text{Disponibilidad TMEF}}{(\text{TMEF} + \text{TMPR})}$$

Donde:

TMEF = Tiempo medio de fallas

TMPR = Tiempo medio para reparar

#### **2.3.2.1 Tiempo Medio entre Fallas**

Representan el número de horas que pasan antes que un componente, ensamblaje o sistema falle. Es una medida básica de confiabilidad, para elementos que se consideren reparables, son comúnmente usados para el análisis de la confiabilidad y mantenimiento.

#### **2.3.2.2 Tiempo Medio de Reparación**

Es el tiempo que se espera que un sistema tarde en recuperarse ante una falla. Este valor puede incluir el tiempo necesario para diagnosticar el problema, para

que el técnico se acerque a la instalación y para reparar físicamente el sistema.

### **2.3.3 Planificación del Mantenimiento**

Es el diseño de programas de actividades de mantenimiento, distribuidas en el tiempo, con una frecuencia específica y dinámica que permite mantener los equipos en operación para cumplir con las metas de producción preestablecidas por la organización. (Suárez. 2007)

### **2.3.4 Frecuencia de Inspección**

Es el tiempo entre dos inspecciones del mismo elemento del equipo. Es diferente para cada elemento y equipo, se define en función de su trabajo y entorno. Las frecuencias más utilizadas en plantas industriales son: Diarias (D), Semanales (S), Mensuales (M), Trimestrales (3M), Semestrales (6M), Anuales (A). (Suárez. 2007)

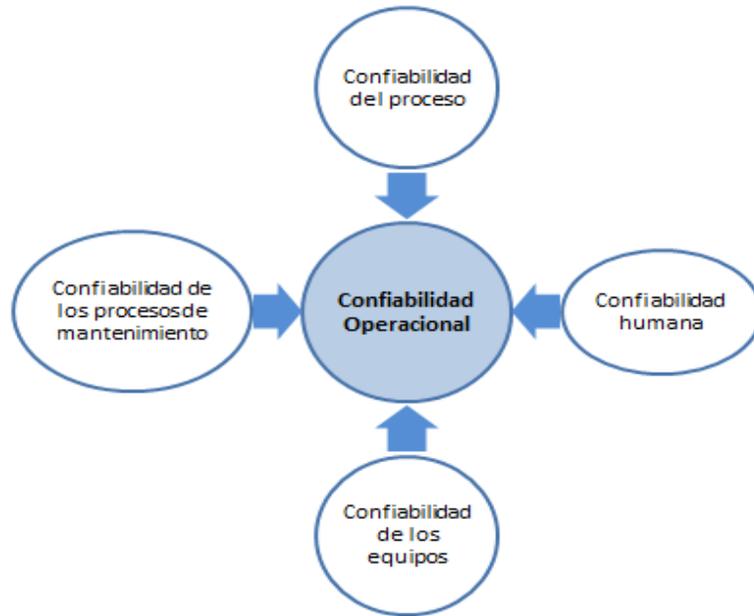
### **2.3.5 Confiabilidad Operacional**

Es la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo unas características específicas. Es importante, puntualizar que en un programa de mejoras de la confiabilidad operacional de un sistema, es necesario el análisis de los siguientes cuatro parámetros operacionales: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenimiento y confiabilidad de los equipos. En la figura 02 se muestran los parámetros que afectan a la confiabilidad operacional.

### **2.3.6 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)**

El MCC es una metodología que permite determinar, sistemáticamente,

mediante un equipo natural de trabajo, las necesidades de mantenimiento de un sistema de activos, tomando en cuenta la criticidad de los mismos en el contexto operacional, enfocándose en la funcionalidad del sistema y estableciendo las tareas de mantenimiento requeridas en función de los posibles efectos de los modos de falla, para así aumentar la confiabilidad operacional del mismo.



**Figura 02.** Sistema de Confiabilidad Operacional  
Fuente: Suarez 2007

### 2.3.6.1 Características del MCC

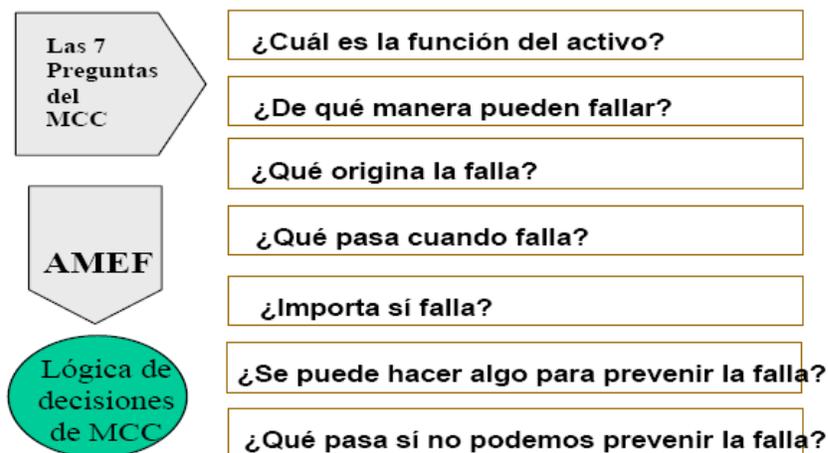
El MCC identifica las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias, para los activos más importantes o críticos, apoyándose en el análisis funcional de éstos en su contexto operacional. Su éxito depende del esfuerzo desarrollado por el equipo natural de trabajo, en generar un sistema de gestión de mantenimiento flexible que se adapte a las necesidades reales de la organización y que tome en cuenta la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y el costo-beneficio.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es entonces, un proceso de gestión de mantenimiento donde un equipo natural de trabajo optimiza la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas.

Esta metodología presenta las siguientes características:

- Metodología basada en un proceso sistemático.
- Actividades de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes al sistema.
- Consideración de los posibles efectos que originarán los modos de fallo de estos activos, en cuanto a las operaciones, seguridad y ambiente.
- Generación de estrategias efectivas, cumpliendo con los estándares requeridos de producción y maximizando la rentabilidad de los activos.

El MCC propone siete (7) preguntas clave que, mediante su análisis, intenta identificar las necesidades reales del mantenimiento. Las preguntas se pueden observar en la Figura 03.



**Figura 03.** Siete Preguntas Claves del MCC.  
Fuente. Parra (2012) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)

Para garantizar el éxito del MCC, es importante responder cada una de las siete preguntas de la Figura 03 y la mejor manera de darle la respuesta verdadera a cada una, es siguiendo cada una de las etapas del MCC que son:

- Definir el contexto operacional
- Definir las funciones de los activos
- Determinar las fallas funcionales
- Identificar los modos de falla
- Determinar los efectos de falla

Es importante resaltar que las primeras 05 preguntas claves del MCC se les dará respuesta con la aplicación del AMEF, las últimas 02 preguntas serán respondidas con la ejecución del Árbol Lógico de Decisión.

#### **2.3.6.2 Árbol Lógico de Decisión (ALD)**

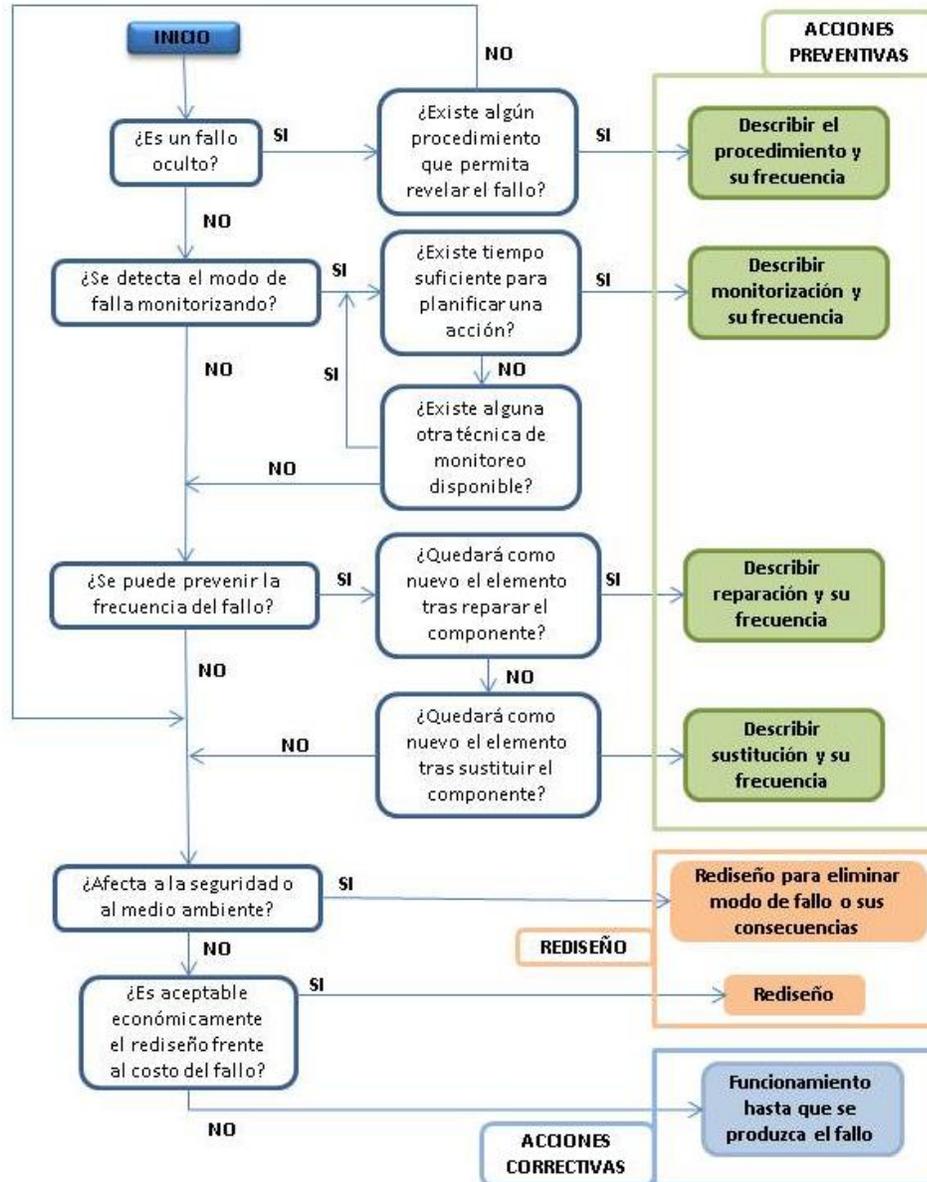
Es una herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del MCC y le respuestas a las preguntas seis y siete de dicha metodología.

El ALD permite formar una unión entre la información recolectada y analizada, además las tareas de mantenimiento que se seleccionen sirvieron para minimizar o evitar las consecuencias de las fallas funcionales. Es el paso mediante el cual se definió la actividad adecuada para la consecuencia de cada modo de falla.

A continuación en la Figura 04 se muestra la estructura base para elaborar el Árbol Lógico de Decisión, donde se observan según su la naturaleza, cuáles deben ser las tareas de mantenimiento a realizar, si son de carácter preventivo, correctivo o si ameritan un rediseño del sistema para reducir o eliminar los modos de fallas del equipo en estudio.

### 2.3.6.3 Equipo Natural de Trabajo (ENT)

Conjunto de personas de diferentes funciones dentro de la organización que trabajan juntas por un período de tiempo determinado, para analizar problemas comunes de los departamentos, apuntando al logro de un objetivo común.



**Figura 04.** Árbol Lógico de Decisión.  
Fuente. Moubray (1997) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

#### **2.3.6.4 Tareas Proactivas**

Son actividades comenzadas antes que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla. Involucra al mantenimiento preventivo y predictivo.

#### **2.3.6.5 Tareas de Reacondicionamiento Cíclico**

Consiste en actuar periódicamente para reacondicionar a su condición original una pieza o un componente existente. Moubray (1997) lo define como: “actividades que se realizan para reconstruir un componente o hacer una gran reparación a un conjunto ensamble completo antes de, o en el límite de edad específico, independientemente de su condición en ese momento”.

##### **2.3.6.5.1 Frecuencia de Reacondicionamiento Cíclico**

La frecuencia está determinada por la edad en la que la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla. Las tareas de reacondicionamiento cíclico son satisfactoriamente determinadas sobre la base de antecedentes históricos confiables.

#### **2.3.6.6 Tareas de Sustitución Cíclica**

Las tareas de sustitución cíclica consisten en descartar un elemento o componente antes de, o en el límite de edad específico, independiente de su condición en el momento. La filosofía de estas tareas es reemplazar la parte usada por una nueva, la que restaurará a su condición original.

#### **2.3.6.6.1 Frecuencia de Sustitución Cíclica**

Al igual que las tareas de reacondicionamiento cíclico, la frecuencia de una tarea de sustitución cíclica se rige por la edad a la que la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.

#### **2.3.6.7 Acciones “a falta de”**

Este punto trata de que se debe hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada. Esto comienza con una revisión de las tareas de búsqueda de falla y luego considera el rediseño.

#### **2.3.6.8 Búsqueda de Fallas**

Las tareas de búsquedas de falla consisten en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si ha fallado.

#### **2.3.6.9 Ningún Mantenimiento Programado**

Sólo es válido si:

- No puede encontrarse una tarea cíclica apropiada para una función oculta, y la falla múltiple asociada no tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.
- No puede encontrarse una tarea proactiva que sea eficaz en cuanto a costos para fallas que tienen consecuencias operacionales o no operacionales.

#### **2.3.6.10 Rediseño**

Se refiere a cualquier cambio en la especificación de cualquier componente de un equipo. Esto significa cualquier acción que implique un cambio en un plano o

una lista de piezas. Incluye una modificación en la especificación de un componente, el agregado de un elemento nuevo, la sustitución de una máquina entera por una diferente, o el cambio de lugar de una máquina.

#### **2.3.6.11 Tareas a Condición**

Consisten en chequear si los equipos están fallando, de manera que se puedan tomar medidas, ya sea para prevenir la falla funcional o para evitar consecuencias de los mismos. Están basadas en el hecho de que un gran número de fallas no ocurren instantáneamente (fallas potenciales), sino que se desarrollan a partir de un período de tiempo. Los equipos se dejan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado.

#### **2.3.6.12 Falla Oculta**

Una falla oculta es una falla funcional que no es evidente por sí misma al equipo operativo bajo circunstancias normales de operación.

#### **2.3.7 Análisis de Criticidad**

Es un procedimiento que se realiza para jerarquizar instalaciones, sistemas, equipos y/o componentes, en función de su impacto global, con la finalidad de optimizar los recursos, económicos, humanos y técnicos. La definición de “criticidad” dependerá del objetivo con el que se esté tratando de jerarquizar.

Es un análisis que se basa en la evaluación de cinco factores fundamentales, frecuencia de falla, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento e impacto en seguridad ambiente e higiene; sin embargo, dependiendo de la profundidad a la que se desee llegar, puede evaluarse criticidad por tiempo promedio fuera de servicio, productividad, entre otros. Estos factores son

desglosados en las diferentes posibilidades de ocurrencia y son ponderados de acuerdo al grado de importancia que se le dé para el análisis. Cada equipo o componente a analizar, debe ser evaluado con el grupo natural de trabajo o la participación de las distintas personas relacionadas al contexto operacional. Una vez evaluados en consenso, se realiza la totalización de cada componente y se obtiene el valor global de criticidad que será comparado con la matriz de criticidad propuesta por el equipo de trabajo.

**Tabla 02.** Parámetros para la evaluación de la criticidad.  
Fuente: Milanese (2012). Diseño de Plan Preventivo basado en MCC.

<b>Frecuencia de Fallas</b>		<b>Costos de Mantenimiento</b>	
Alta: más de 10 fallas por año.....	<b>4</b>	Costo significativo.....	<b>2</b>
Promedio: 4-9 fallas/año.....	<b>3</b>	Costo no significativo.....	<b>1</b>
Baja: 1-3 fallas/año.....	<b>2</b>		
Excelente: menos de 1 fallas/año.....	<b>1</b>		
<b>Impacto Operacional</b>		<b>Flexibilidad Operacional</b>	
Parada inmediata de toda la planta...	<b>10</b>	No existe opción de producción y no existe función de respaldo.....	<b>4</b>
Parada inmediata de sector de la línea de producción.....	<b>6</b>	Existe opción de respaldo compartido.	<b>2</b>
Impacta niveles de producción o calidad.....	<b>4</b>	Existe opción de respaldo disponible..	<b>1</b>
Afecta en costos adicionales asociados a disponibilidad del equipo	<b>2</b>		
No genera efectos significativos.....	<b>1</b>		
<b>Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene</b>			
Afecta la seguridad humana.....	<b>8</b>		
Daña o afecta el ambiente.....	<b>6</b>		
Afecta las instalaciones causando daños severos.....	<b>4</b>		
Provoca daños menores (accidentes o incidentes).....	<b>2</b>		
Provoca impacto ambiental que no viola normas ambientales.....	<b>1</b>		
No provoca ningún daño a personas, instalaciones o ambiente.....	<b>0</b>		

En la Tabla 02 se pueden observar todos los parámetros que se deben tomar en cuenta para realizar un análisis de criticidad de manera efectiva. Es importante destacar que cada uno de estos ayudó a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos en los sistemas de producción, dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan.

Para el cálculo de la criticidad se deben tomar en cuenta las siguientes fórmulas:

**Fórmula IV**

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

**Fórmula V**

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad Operacional}) + (\text{Costo de Mantenimiento}) + (\text{Impacto en SHA})$$

La tabla del factor de riesgo es una combinación de la probabilidad de las fallas y los efectos de fallas, esta indica el nivel de criticidad, que dependiendo de su valor determinará si es una falla crítica, semi-crítica o no crítica en los extrusores de la Línea Seis. A continuación en la tabla 03 se identifican los parámetros a tomar en consideración.

**Tabla 03.** Parámetros para definir la Criticidad de un Equipo.  
Fuente: Milanese (2012). Diseño de Plan Preventivo basado en MCC.

<b>Crítico</b>	<b>Semi-Crítico</b>	<b>No crítico</b>
$C \geq 90$	$40 \leq C < 90$	$C < 40$

### 2.3.7.1 Frecuencia de Falla

Indica el número de veces que se repite un evento considerado como falta dentro de un período de tiempo determinado.

### **2.3.7.2 Impacto Operacional**

Son los efectos causados en la producción cuando un equipo o componente presenta una falla dentro del proceso productivo. En este aspecto se debe determinar la severidad que tiene la ocurrencia de una falla, partiendo de no generar efectos significativos hasta una parada general de planta y se mide en una escala que va desde el 1 como valor más bajo, hasta el 10 como impacto más alto.

### **2.3.7.3 Flexibilidad Operacional**

Se define como la posibilidad de realizar un cambio rápido para continuar con la producción sin incurrir en costos o pérdidas considerables. Se debe tomar en cuenta la disponibilidad de repuestos y el tiempo que tomará la ejecución de la acción, para restaurar el estado de operatividad de un equipo; se mide en una escala que va desde el 1, que representa la existencia de alguna opción de respaldo disponible, hasta el 4 como la imposibilidad de realizar algún cambio para reestablecer la continuidad del proceso productivo.

### **2.3.7.4 Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene (SHA)**

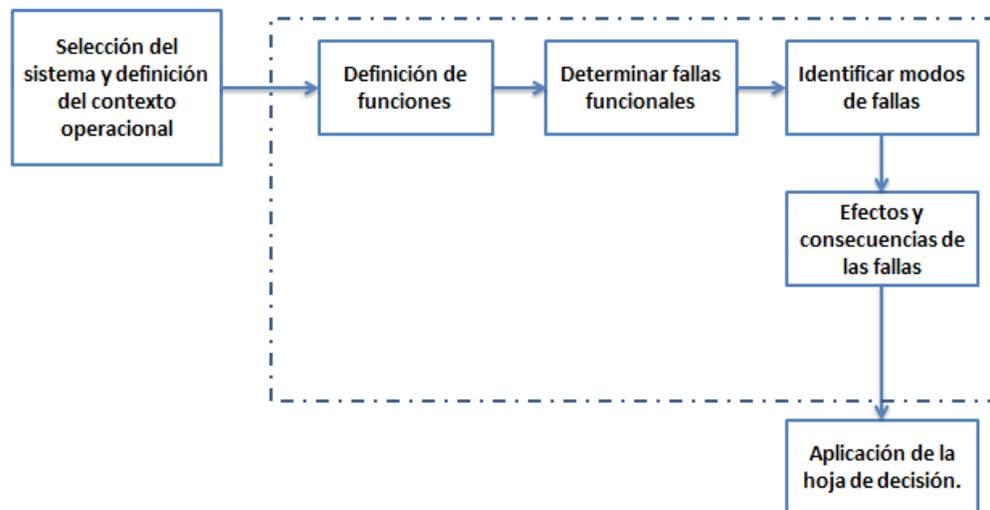
Enfocado a evaluar los posibles inconvenientes que puedan incurrir en daños hacia las personas o el medio ambiente. Se mide en una escala desde el 0 que indica que no tiene ninguna incidencia en las personas, instalaciones o el ambiente, hasta el valor 8 que indica que afecta la seguridad humana.

### **2.3.8 Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)**

El AMEF constituye la herramienta principal de la metodología MCC. Es un método sistemático que permite identificar los problemas antes de que estos ocurran y puedan impactar en los procesos y productos de un área

determinada. El objetivo fundamental del AMEF es encontrar los modos de fallas, lo que permitirá prevenir las consecuencias producto de las mismas, a partir de la selección adecuada de las actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus consecuencias.

Una vez identificados los elementos del AMEF, es necesario saber los pasos que se deben llevar a cabo para su ejecución, es decir el orden lógico de sus operaciones, para explicarlo se presenta la Figura 05, la cual muestra el flujograma de implementación del mismo, por medio del cual se observa de manera detallada cada uno de los procedimientos que se deben realizar para su ejecución.



**Figura 05.** Flujograma de Implementación del AMEF.  
Fuente. Parra (2012). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

### 2.3.8.1 Número de Prioridad de Riesgo (NPR)

Es una herramienta muy interesante para determinar las acciones prioritarias dentro de un conjunto. Este se apoya en el llamado método GOD (SOD según definiciones), el cual separa las diferentes acciones a realizar según su Gravedad (Severidad), Ocurrencia y posibilidad de Detección.

### 2.3.8.1.1 Severidad

Es un parámetro utilizado para evaluar la magnitud o gravedad que puede generar la ocurrencia de un modo de falla.

### 2.3.8.1.2 Ocurrencia

Es la probabilidad de que una falla específica ocurra en un tiempo determinado, la cual se mide en una escala del 1 al 10.

### 2.3.8.1.3 Detección

Es un valor estimativo que permite determinar según una escala, la probabilidad de detectar un modo de falla antes que suceda.

Intervalo	Severidad	Ocurrencia	Detección
10-9	Puede afectar la seguridad del operador	Muy alta probabilidad de ocurrencia	Prácticamente imposible de detectar
8-6	Afecta la operatividad del equipo	Alta probabilidad de ocurrencia	Baja capacidad de detección
5-3	Moderado efecto en la producción	Moderada probabilidad de ocurrencia	Alta capacidad de detección
2-1	Mínimo efecto	Baja probabilidad de ocurrencia	Muy alta capacidad de detección

**Figura 06.** Escala de Severidad, Ocurrencia y Detección del NPR.

**Fuente:** García, (2011)

En la Figura 06, se puede observar la escala utilizada para el cálculo del NPR, la cual proporciona un valor aproximado a cada una de las fallas, según sea su severidad, ocurrencia y detección.

### 2.3.9 Términos Asociados al AMEF:

**Función:** El MCC la define como, “el propósito o la misión que tiene un activo en un contexto operacional específico; pudiendo tener cada activo más de una

función en dicho contexto operacional”. La función de un activo se puede definir en dos categorías: funciones primarias, aquellas que constituyen la razón de ser del activo; y funciones secundarias, aquellas que el activo está en capacidad de cumplir en adición a la estrategia principal de funcionamiento. Es necesario definir todas las funciones que un equipo es capaz de realizar. La definición de la función de un activo es fundamental para poder definir cuándo un activo no está trabajando satisfactoriamente.

#### **2.3.9.1 Falla Funcional**

Es la pérdida de la función, que no permite que el activo alcance el estándar de ejecución esperado. La falla funcional puede presentarse como incapacidad absoluta o incapacidad parcial para cumplir una determinada función.

#### **2.3.9.2 Modo de Falla**

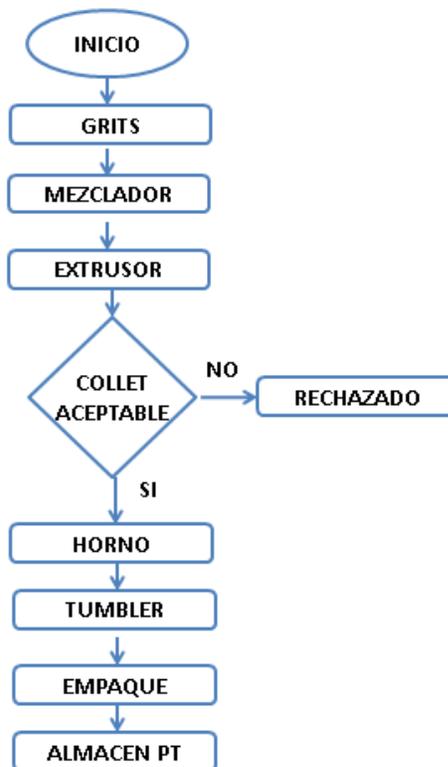
Cualquier evento que pueda causar que un activo falle. Son las causas físicas que provocan la falla funcional, es por ello, que luego de definir una falla funcional debe identificarse todos los posibles modos de falla de la misma. La descripción del modo de falla debe contener suficientes detalles como para que sea posible seleccionar una estrategia de gestión de la falla.

#### **2.3.9.3 Efecto de Falla**

Mejor conocido como las consecuencias que trae una falla. En este paso se busca identificar cómo y cuánto importa cada falla, en los distintos ámbitos del contexto operacional, principalmente evaluando las consecuencias en la seguridad y medio ambiente y las consecuencias operacionales. La importancia de detectar el efecto de falla permite decidir la importancia que tiene cada falla y por ende el nivel de mantenimiento que debe aplicarse. Para definir un efecto de falla



tamaño), de allí va hasta el horno donde se cocina, después llega al tumbler, que es un tornillo sin fin donde se le agrega el condimento (slurry), por último al área de empaque donde es distribuido respectivamente en el almacén de producto terminado; el proceso se puede apreciar mejor en la figura 08.



**Figura 08.** Diagrama de Flujo Línea Seis.  
Fuente: Normas ISO 9001-2008.

## 2.4 Marco Conceptual

Según el departamento de producción de la empresa Pepsico Alimentos S.C.A se obtuvieron los siguientes conceptos:

### 2.4.1 Collets

Es una forma de extruido, formado por grits, agua, lecitina. Representa la

unidad de producto básico, de extruido blando.

#### **2.4.2 Extruido**

Es un cereal de maíz inflado de consistencia blanda, forma muy variada y textura suave. Producto final proveniente del extrusor.

#### **2.4.3 Extrusión**

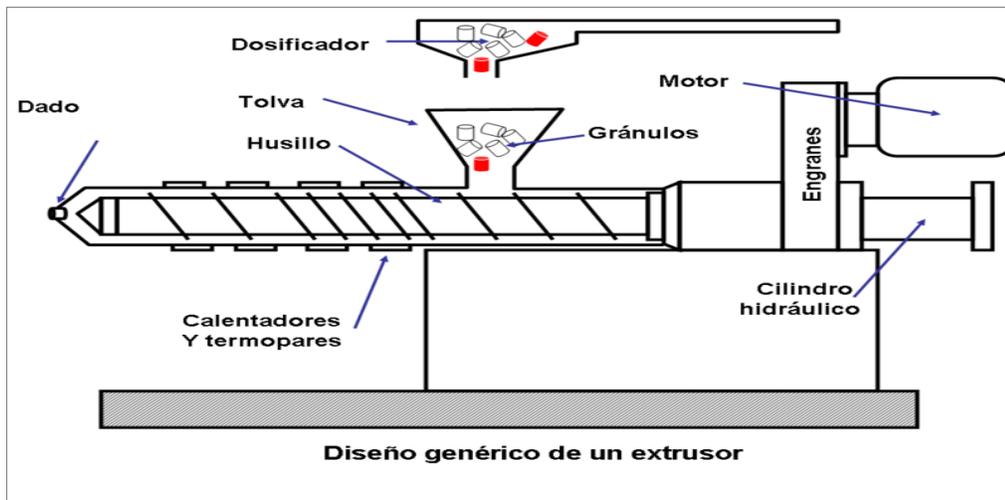
Es la transformación de la masa del mezclado de grits, mediante un cambio en la estructura del almidón en un producto llamado collets (extruido blando). Es un proceso de cocimiento rápido y continuo que forma un producto al forzar material suavizado a través de una boquilla a presión. Con el proceso de extrusión se logra la gelatinización de los almidones y la texturización de las proteínas.

#### **2.4.4 Extrusor**

Es una máquina que se alimenta mediante una tolva y hace fluir un material (grano, harina o subproducto) por un husillo (tornillo sin fin), donde se le aplica calor para que posteriormente sea expulsado a presión por la máquina, pasando por un dado (molde) dándole la forma final al collets; su funcionamiento se puede apreciar en la figura 09.

#### **2.4.5 Grits**

Es el producto de la molienda del grano de maíz amarillo desgerminado, limpio, sano y esencialmente libre de hongos.



**Figura 09.** Extrusor de Alimentos.  
Fuente: Morton, (1999)

#### 2.4.6 Condimento (Slurry)

Es la mezcla conformada por los compuestos utilizados para el sazonado de los collets.

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo de Estudio**

La investigación desarrollada estuvo enmarcada dentro de la categoría del tipo Proyecto Factible, ya que se hizo una propuesta que permitirá solucionar un problema determinado, basado en los conocimientos teóricos de mantenimiento ajustados a las particularidades de la empresa Pepsico Alimentos S.C.A.

El Proyecto Factible se define según Normas UPEL (2006) como: “La investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos”. Basados en este concepto se puede decir que el objetivo principal del Proyecto Factible es diseñar una propuesta de acción dirigida a resolver una problemática previamente detectada en un ambiente específico.

Para la elaboración del presente trabajo de grado se realizó una investigación de campo, donde se obtuvieron los datos necesarios, que permitieron determinar cuál era la configuración y funcionamiento real de los extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos. Posteriormente al interpretarse la información recaudada se determinó dónde estaba la problemática.

#### **3.2 Unidad de Análisis**

En el presente trabajo, el objeto de estudio fueron los tres extrusores que forman parte del proceso productivo de la Línea Seis de Extruidos Blandos de Pepsico Alimentos S.C.A.

### **3.3 Técnicas para la Recolección de Información**

Para la recolección de la información fue necesario seleccionar herramientas confiables que permitieron obtener los datos de manera correcta para su posterior análisis. Las técnicas de recolección de datos que fueron utilizadas en el Trabajo de Final son: la observación directa, revisión de la data operacional, entrevistas informales no estructuradas y la revisión documental.

#### **3.3.1 Fuentes Primarias**

Hace referencia a aquella información, que provee un testimonio o evidencia directa sobre la problemática relacionada con los extrusores de la Línea Seis de Pepsico Alimentos S.C.A, entre ellas se encuentran: la observación directa del funcionamiento de los extrusores, revisión de la data operacional, entrevistas informales no estructuradas a los operadores y técnicos de mantenimiento de los mismos.

#### **3.3.2 Fuentes Secundarias**

Contiene aquella información que es producto del análisis o reorganización de los datos obtenidos en las fuentes primarias, entre los cuales se tienen: horas de paradas, tipos de fallas, históricos de fallas, kilogramos producidos en 2014, horas de funcionamiento de los equipos. Además incluye la información obtenida por la revisión bibliográfica.

### **3.4 Técnicas para el Análisis y Presentación de la Información**

Las técnicas de análisis de datos consisten en todos aquellos métodos empleados para el estudio de los datos recaudados mediante la aplicación de los instrumentos de recolección.

### **3.4.1 Diagrama de Flujo.**

Los datos obtenidos para la realización del mismo fueron obtenidos mediante la observación directa y entrevistas informales a los operadores de los extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos.

### **3.4.2 Árbol Lógico de Decisión.**

Es una técnica que permitió determinar cuáles tareas de mantenimiento debían ser ejecutadas para evitar o reducir las consecuencias de cada uno de los modos de fallos en los extrusores.

### **3.4.2 Diagrama de Pareto**

Es una herramienta que permitió determinar de forma gráfica cuales son los componentes críticos pertenecientes a los extrusores, de esta manera se pudo escoger las tareas de mantenimiento más acordes para reducir la ocurrencia de los modos de fallas esas piezas.

## **3.5 Fases Metodológicas**

A continuación, se describen las etapas que se llevaron a cabo para la realización del proyecto:

### **3.5.1 Fase I: Revisión Bibliográfica.**

Consistió en la búsqueda, revisión, y recopilación de bibliografía útil a los propósitos de este estudio, de ésta se obtuvo información relevante y de gran ayuda para resolver el problema que se planteó en esta investigación. Se cuenta con diversas y variadas fuentes de investigación tales como, libros, tesis de grado, revistas científicas, manuales de operación, documentos técnicos, e internet.

### **3.5.2 Fase II: Preanálisis del MCC.**

En esta etapa se fijaron las pautas a seguir para empezar el plan de mantenimiento, los aspectos a tomados en cuenta son:

- Equipo Natural de Trabajo (ENT).
- Recolección de información.

Para la elaboración del plan de MCC, se estableció el ENT, que es un equipo multidisciplinario encargado de llevar a cabo la puesta en marcha del proyecto, el mismo está conformado por operadores, supervisores, personal de mantenimiento y de higiene.

La recolección de información se realizó con la ayuda de los manuales de los equipos, la experiencia de los operarios y el personal de mantenimiento. También se obtuvo de los registros de históricos de fallas y órdenes de trabajo.

### **3.5.3 Fase III: Análisis de Criticidad.**

En esta fase el Equipo Natural de Trabajo (ENT), tuvo que jerarquizar según su criticidad, los componentes que conforman a los extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos, los criterios a evaluar son:

- Frecuencia de fallas
- Impacto en seguridad, ambiente e higiene
- Impacto operacional
- Costo de mantenimiento
- Flexibilidad operacional

Una vez definidos estos factores se determinaron las consecuencias de las fallas. Estos valores sirvieron para estimar el factor de riesgo de los extrusores y determinar la criticidad de cada componente de los extrusores

### 3.5.4 Fase IV: Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) de los Extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos.

Esta fase es la principal y más importante de la metodología del MCC, se identificaron los modos y efectos de falla asociados a los Extrusores de la Línea Seis, es necesario conocer la probabilidad, frecuencia y criticidad de cada falla, de esta manera se pudo determinar cuáles son las fallas más comunes y sus consecuencias en el funcionamiento de los extrusores.

Después de identificar los modos y efectos de fallas asociadas a los Extrusores de la Línea Seis, los datos obtenidos fueron registrados en la Hoja de Información del MCC que se puede observar en la Tabla 04.

**Tabla 04.** Estructura de la Hoja de Información del MCC

<b>Hoja de información MCC</b>	<b>Equipo</b>	<b>Realizado por:</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hoja N°</b>
	Extrusor Id75	Br. Fabián Bravo		10/10/2015
		<b>Revisado por</b>		
		Ing. Freissy Padilla		1
<b>Función</b>	<b>Falla Funcional</b>	<b>Modo de Falla</b> ¿Qué causa la falla?	<b>Efecto de Falla</b> ¿Qué ocurre cuando falla?	

### 3.5.5 Fase V: Diagrama Lógico para la Selección de Estrategias y Definición de Tareas de Mantenimiento (ALD).

La selección de las tareas se realizó de acuerdo a la criticidad de cada equipo, determinada por el AMEF. Para seleccionar las tareas de mantenimiento se utilizó un Árbol Lógico de Decisión (ALD). Este se creó de forma sistemática y homogénea por el grupo de trabajo, para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada para los extrusores, que permitió impedir la causa que provoca la aparición del modo de falla.

**Tabla 05.** Estructura de la Hoja de Decisión del MCC

Hoja de información MCC			Equipo				Realizado por:				Fecha		Hoja N°	
			Extrusor Id75				Br. Fabián Bravo						de	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 H2 H3			Tareas "a falta de"		Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1 S2 S3							
F FF MF			H S E O				O1 O2 O3							
F FF MF			H S E O				N1 N2 N3			H4 H5 S4				

En la Tabla 05 se puede observar la estructura de la Hoja de Decisión, la cual tuvo como principal objetivo analizar las consecuencias de los modos de fallas, para determinar de manera adecuada, la tareas de mantenimiento que se deben ejecutar. Está constituido por una serie de columnas las cuales se enumerarán a continuación:

- Columnas F, FF y MF (referencia de información); representan a la función, falla funcional y modo de falla respectivamente, las cuales en le hoja de información poseen una enumeración en letras y números.
- Columnas H, S, E y O (evaluación de las consecuencias); permiten clasificar según sus consecuencias a cada modo de falla.
- Columnas H1, H2, H3; S1, S2, S3; E1, E2, E3; O1, O2, O3; registran las tareas proactivas y su tipo.
- Columnas H4, H5 Y S4 (tareas “a falta de”); permiten registrar las tareas que se deben realizar sino se encuentra una tarea proactiva adecuada.

Las columnas tituladas H, S, E, O y N de la Figura 10; son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla; se debe colocar una letra S en el caso que la respuesta sea afirmativa y una letra N en el caso que sea negativa.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				
F	FF	MF	H	S	E	O	
3	A	1	N				→ <b>Una falla oculta:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva (predictiva o preventiva) debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de una falla múltiple.
5	B	2	S	S			→ <b>Consecuencias para la seguridad:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de esta falla por sí sola.
2	C	4	S	N	S		→ <b>Consecuencias para el medio ambiente:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe reducir el riesgo a un nivel tolerable de esta falla por sí sola.
1	A	5	S	N	N	S	→ <b>Consecuencias operacionales:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe costar menos que el costo total de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación que pretende prevenir a través de un período de tiempo.

**Figura 10.** Resumen de las Consecuencias de Fallas  
**Fuente:** Moubray, 1997.

De la octava a la décima columna de la Hoja de Decisión, son utilizadas para registrar si ha sido seleccionada una tarea proactiva, de la siguiente manera:

- La columna titulada H1/S1/O1/N1 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla a tiempo como para evitar las consecuencias.
- La columna titulada H2/S2/O2/N2 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico apropiada para prevenir las fallas.
- La columna titulada H3/S3/O3/N3 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir las fallas.

En cada caso, una tarea sólo es apropiada si merece la pena realizarla y si es técnicamente factible.

Para que una tarea sea técnicamente factible y merezca la pena realizarla, debe ser posible dar una respuesta positiva a todas las preguntas que muestra la Figura 11, que se aplican a ésta categoría de tareas. Si la respuesta las preguntas es negativa o se desconoce, entonces se rechaza la tarea totalmente.

H1	H2	H3
S1	S2	S3
O1	O2	O3
N1	N2	N3
S		
N	S	
N	N	S

**¿Es técnicamente factible realizar una tarea a condición para reducir la consecuencia de la falla?** ¿Hay alguna condición de falla potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad? ¿Es razonablemente consistente? ¿Es posible realizar la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?

**¿Es técnicamente factible una tarea de reacondicionamiento cíclico para reducir la frecuencia de la falla?** ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad? ¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?

**¿Es técnicamente factible una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de la falla?** ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de ésta edad?

**Figura 11.** Criterios de Factibilidad Técnica.  
**Fuente:** Moubray, 1997.

Si se selecciona una tarea, se debe registrar la descripción de la misma, la cual debe ser precisa y detallada, además debe indicar la frecuencia con la que debe ser realizada la actividad.

Las columnas tituladas H4, H5 y S4 de la hoja de Decisión son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas “a falta de”. La Figura 12 muestra cómo se responden a éstas tres preguntas. Nótese que las mismas sólo se harán si las respuestas a las tres preguntas previas de factibilidad técnica de las tareas proactivas fueron todas negativas.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4	
3	A	1	N				N	N	N	S			→ ¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?
Registrar "Si" si es posible realizar la tarea y resulta práctico hacerlo con la frecuencia requerida y reduce el riesgo de la falla múltiple a un nivel tolerable.													
4	B	4	N				N	N	N	N	S		→ ¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?
4	C	2	N				N	N	N	N	N		
Sólo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es "No". Si la respuesta a esta pregunta es "Si", el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es "No", la acción "a falta de" es <b>no realizar mantenimiento preventivo</b> , pero el rediseño puede ser deseable.													
5	B	2	S	S			N	N	N		S		→ ¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas?
2	A	5	S	S			N	N	N		N		
Responder "Si", si una combinación de <b>dos o más</b> tareas proactivas cualquiera reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable (esto rara vez sucede). Si la respuesta es "No", el rediseño es obligatorio.													
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				→ En estos dos casos, las consecuencias de la falla son puramente económicas y no se pudo encontrar una tarea proactiva apropiada
1	B	3	S	N	N	N	N	N	N				
Como resultado, la decisión "a falta de" inicial es no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable.													

**Figura 12.** Las Preguntas "A Falta de".

**Fuente:** Moubray, 1997.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Diagnosticar la Situación Actual de la Gestión de Mantenimiento en los Extrusores de la Línea Seis:

Se hizo una revisión de los históricos de fallas en los extrusores de la Línea Seis, para observar cuales son las estrategias de mantenimiento que se realizan en los mismos.

**Tabla 06.** Tareas de Mantenimiento en los Extrusores de la Línea Seis.

MES/AÑO	Tareas Correctivas	Tareas Predictivas	Tareas Preventivas	Total de Tareas de Mantenimiento
ene-14	7	0	3	10
feb-14	7	2	4	13
mar-14	6	2	9	17
abr-14	5	0	2	7
may-14	10	1	2	13
jun-14	10	0	7	17
<b>Total Tareas</b>	<b>45</b>	<b>5</b>	<b>27</b>	<b>77</b>
<b>Total %</b>	<b>58%</b>	<b>6%</b>	<b>35%</b>	<b>100%</b>

En la Tabla 06 se puede apreciar las actividades de mantenimiento que se llevan a cabo en los extrusores, donde se observa que en el primer semestre del año 2014, se realizaron 45 actividades correctivas y 27 preventivas, lo que indica que el 58% de las tareas totales de mantenimiento están enfocadas en acciones correctivas, afectando de esta manera la disponibilidad de los extrusores.

Es importante resaltar, que no existen programas de mantenimiento establecidos para el mantenimiento preventivo o predictivo, en su mayoría estas actividades son realizadas cuando el personal lo cree conveniente.

#### **4.2 Establecer el Equipo Natural de Trabajo (ENT) para la Elaboración del Plan de MCC:**

Para responder a las siete preguntas básicas que fundamenta la metodología del MCC, fue necesaria la conformación de un equipo de trabajo, el cual tuvo como principal objetivo la revisión de los requisitos de mantenimiento de los extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos. El mismo incluye personas del departamento de producción y del departamento de mantenimiento, que tengan un amplio conocimiento del equipo en estudio.

El grupo de trabajo está conformado por los siguientes integrantes:

- Facilitador de producción (1).
- Facilitador de mantenimiento (1).
- Operador del extrusor (1).
- Técnico mecánico (1).
- Técnico electricista (1).
- Personal de higiene (1)

El facilitador de mantenimiento fue la persona escogida por el ENT como líder, además es el encargado de monitorear las actividades de mantenimiento a ejecutar y velar por el correcto funcionamiento de los sistemas de registro y control de las tareas de mantenimiento.

#### **4.3 Análisis de Criticidad:**

Una vez definido el ENT, se realizó el análisis de criticidad, con el objetivo de determinar los componentes de los extrusores de la Línea Seis que son más susceptibles a presentar fallas durante su funcionamiento, para establecer hacia donde se enfocaron los esfuerzos de mantenimiento del mismo.

Los factores que se tomaron en cuenta para la elaboración de este análisis son: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, impacto en SHA y costos de mantenimiento.

**Tabla 07.** Consecuencia de las Fallas en los Extrusores de la Línea Seis.

Componente	Frecuencia de Falla (FF)	Impacto Operacional (IO)	Flexibilidad Operacional (FO)	Costo de Mantenimiento (CM)	Impacto en SHA (ISHA)	Consecuencia (IOxFO)+CM+ISHA (C)
Motor	2	10	4	2	8	50
Husillo	3	10	2	2	8	30
Dado	4	6	1	1	6	13
Sistema de Corte	2	4	1	1	2	7
Calentadores y Termopares	2	4	2	2	8	18

En la Tabla 07 se puede observar cada uno de los componentes que conforman a los extrusores de la Línea Seis, donde se determinó según los parámetros del análisis de criticidad, el valor correspondiente a las consecuencias de fallas de cada uno de ellos.

**Tabla 08.** Matriz de Criticidad de los Extrusores de la Línea Seis

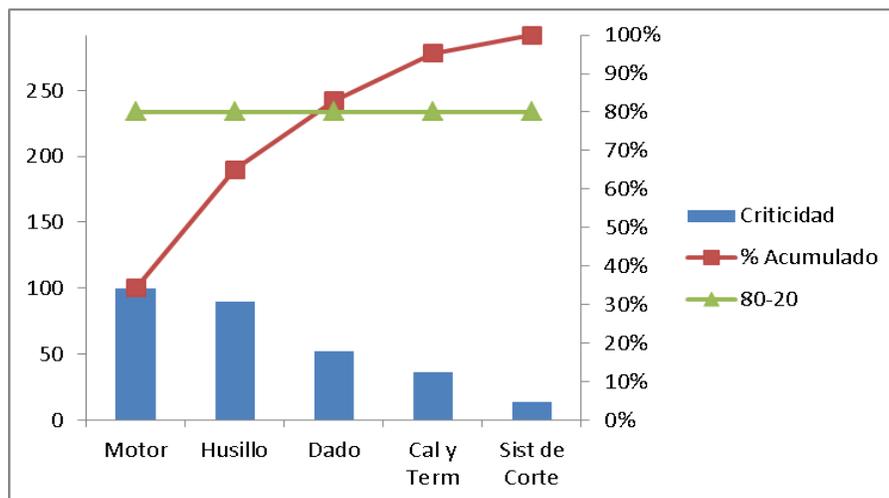
Componente	Frecuencia de Falla (FF)	Consecuencia (C)	Criticidad (FFxC)	Estado
Motor	2	50	100	<b>Crítico</b>
Husillo	3	30	90	<b>Crítico</b>
Dado	4	13	52	<b>Semi-crítico</b>
Sistema de Corte	2	7	14	<b>No crítico</b>
Calentadores y Termopares	2	18	36	<b>No crítico</b>

En la Tabla 08 se puede observar el valor correspondiente a la criticidad que posee cada uno de los componentes de los extrusores, posteriormente se realizó un Diagrama de Pareto, el cual permitió analizar de manera gráfica el porcentaje de criticidad que tiene cada uno de los mismos.

**Tabla 09.** Porcentaje de Criticidad Acumulado

Componente	Criticidad	Criticidad Acumulada	Porcentaje Acumulado
Motor	100	100	34%
Husillo	90	190	65%
Dado	52	242	83%
Cal y Term	36	278	95%
Sist de Corte	14	292	100%
TOTAL	292		

En el Gráfico 02 se puede apreciar el Diagrama de Pareto, en el cual muestra en forma de barras de color azul, la criticidad de cada uno de los componentes de los extrusores, la línea roja indica el valor porcentual de la criticidad de cada uno de los mismos y la línea verde se usa como guía que indica donde está ubicado el 80% del porcentaje total de la criticidad.



**Gráfico 02.** Diagrama de Pareto de los Componentes de los Extrusores.

Una vez obtenidos los datos provenientes de la Tabla 09, se realizó un Diagrama de Pareto (Gráfico 02), en el cual se observó que los componentes que tienen mayor influencia en los extrusores son: el motor y el husillo, por esto los esfuerzos de mantenimiento deben estar enfocados en reducir la ocurrencia de modos de fallas en ellos. El dado es una pieza semi-crítica como se observa en la Tabla 08 y las actividades de mantenimiento que se le realizan son sencillas (en su mayoría de sustitución).

#### **4.4 Análisis de Modos y Efectos de Falla:**

Este es el paso más importante de la metodología del MCC, permitió identificar de manera detallada cuales son los modos y efectos de falla de los extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos; con la información recolectada por el personal de mantenimiento, especificaciones del equipo y hojas de registro del histórico de fallas de los mismos.

Este análisis es el más complicado y riguroso del plan de MCC, debido a que se manejan diversas variables que pueden dar pie a diferentes criterios en el ENT para la toma de decisiones y la elección de las tareas de mantenimiento a ejecutar.

Una vez identificados los modos de falla se realizó el llenado de la Hoja de Información (Tabla 10), en la cual se registraron todas las variables involucradas en la falla de los Extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos, además se identificaron los efectos de fallas asociados a cada una de los modos de falla.

#### **4.5 Árbol Lógico de Decisión:**

Una vez completada la hoja de información (Tabla 10) se dio respuesta a las primeras cinco preguntas del MCC; las dos restantes se responderán con el siguiente paso que es el llenado de la Hoja de Decisión, en el cual se seleccionará la tarea de

mantenimiento que ayude a prevenir y disminuir cada uno de los modos de fallos y sus posibles efectos, a partir del árbol lógico de decisión. Luego de especificar el tipo de actividad de mantenimiento se tiene que describir la acción de mantenimiento a ejecutar con su respectiva frecuencia y personal a ejecutar dicha acción.

**Tabla 10.** Hoja de Información del MCC

Hoja de información MCC	Equipo	Realizado por:	Fecha	Hoja N°
	Extrusor Id75			Br. Fabián Bravo
		Revisado por Ing. Freissy Padilla	de 1	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla ¿Qué causa la falla?	Efecto de Falla ¿Qué ocurre cuando falla?	
1) Entrada de sémola de maíz con humedad de 12%, a la cual se le aplica calor y es expulsada a presión por el dado para obtener la forma deseada del collets.	A) No bombea el collets	1) Desgaste del rodamiento del motor	Ruptura del eje del motor, atascamiento o movimiento dificultoso	
		2) Desgaste en el husillo	Atascamiento o descarrilado del husillo	
		3) Desgaste en el dado	Tapado del dado	
		4) Falla eléctrica en los calentadores y termopares	La sémola de maíz produce un atascamiento del husillo y tapado del dado	
	B) Collets fuera de parámetro	1) Desgaste en la hojilla de corte	El collets expulsado a presión por el dado no es cortado de forma correcta	
		2) Falla de temperatura en los calentadores y termopares	Collets con textura, apariencia y tamaño no conforme.	
	C) El equipo se detiene	1) Falla de comunicación con el sistema de corte	Falla de comunicación con el sistema de corte / el collets no es cortado.	
		2) Atascamiento del motor	Paro del proceso, pérdida de la mezcla de sémola de maíz.	

Al concluir el llenado de la Hoja de Decisión (Tabla 11), se asignaron ocho tareas de mantenimiento a realizar para cada modo de falla, en este caso siete actividades enfocadas en un mantenimiento preventivo y una en mantenimiento correctivo. Es importante resaltar que las fallas de comunicación con el sistema de corte, no tienen una tarea de mantenimiento asignada, debido a que su modo de falla está relacionado directamente con fallas eléctricas o cortes de luz imprevistos.

**Tabla 11.** Hoja de Decisión del MCC

Hoja de Decisión MCC			Equipo				Realizado por:				Fecha				Hoja N°	
			Extrusor Id75				Br. Fabián Bravo								de	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	S	N	S	S						Revisión y lubricación de los rodamientos del motor	Cada dos semanas	Mecánico	
1	A	2	S	N	N	N	S						Revisión, lubricación y limpieza del husillo	Diario	Mecánico y operador	
1	A	3	N	N	N	S	S						Inspección y limpieza del dado	Cada turno	Operador	
1	A	4	S	S	N	S	S						Revisión del panel de control y conectores.	Mensual	Electricista	
1	B	1	N	S	N	S	S						Revisión de la hojilla de corte	Diaria	Operador	
1	B	2	S	S	N	S	N	N	S				Revisión y calibración de termopares, sustitución periódica.	Mensual	Electricista	
1	C	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado	-	-	
1	C	2	N	S	N	S	S						Revisión de temperatura, ruidos y nivel de aceite del motor	Semanal	Mecánico y operador	

De acuerdo a las consideraciones obtenidas en la aplicación de la Hoja de Decisión se procedió a realizar un programa de mantenimiento (Tabla 12), en el que se observa la frecuencia, actividad, tipo de mantenimiento y el encargado en llevar a cargo cada una de las tareas de mantenimiento establecidas.

**Tabla 12.** Programa de Mantenimiento para los Extrusores de la Línea Seis.

Programa de Mantenimiento	Equipo	Realizado por:	Hoja N°
	Extrusor ID75	Fabián Bravo	1
		Revisado por:	de
	Ing. Freissy Padilla	1	
Actividad	A realizar por	Frecuencia	Tipo de Mantenimiento
Lubricación de los rodamientos del motor	Mecánico	Cada dos semanas	Preventivo
Revisión y sustitución en caso de avería o posible falla de rodamientos del motor	Mecánico	Mensual	Predictivo / correctivo
Lubricación y limpieza del husillo	Mecánico y operador	Diaria	Preventivo
Revisión de ruidos, desgaste y funcionamiento del husillo	Mecánico y operador	Semanal	Predictivo
Limpieza del dado	Operador	Cada turno	Preventivo
Revisión y sustitución del dado en caso de alteración en parámetros del producto terminado	Operador	Cada dos días	Predictivo / correctivo
Revisión de sistema eléctrico, panel de control, sensores y conectores de los termopares	Electricista	Mensual	Preventivo
Revisión de hojillas de corte	Operador	Diaria	Preventivo
Sustitución de hojillas de corte	Mecánico y operador	Mensual	Correctivo
Revisión de parámetro de temperatura en calentadores y termopares	Operador	Diaria	Preventivo
Calibración de calentadores y termopares	Operador y electricista	Mensual	Preventivo
Revisión de temperatura, ruidos y nivel de aceite del motor	Mecánico y operador	Semanal	Predictivo

En la Tabla 12 se observan las tareas de mantenimiento que se deben ejecutar en los extrusores para reducir las horas de paradas no programadas, es importante resaltar, que las frecuencias de las tareas de mantenimiento, se escogieron en función de las características de los componentes y la experiencia del personal de

mantenimiento y operador del equipo.

**Tabla 13.** Inventario de Repuestos para extrusores de Línea Seis.

<b>INVENTARIO DE REPUESTOS</b>			
<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL ARTICULO</b>	<b>EXISTENCIA</b>	<b>INVENTARIO MÍNIMO</b>
EBL6001	Husillo	0	1
EBL6002	Rodamiento 6307	6	6
EBL6003	Rodamiento 6305	6	6
EBL6004	Rodamiento 6201	6	6
EBL6005	Rodamiento 6306	6	6
EBL6006	Termopares	8	18
EBL6007	Dado (Molde)	6	6
EBL6008	Hojillas de Corte	3	9
EBL6009	Botón Pulsador Parada de Emergencia	3	3

En la Tabla 13 se indica el inventario de repuestos para los extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos, en el cual se puede apreciar que cada pieza o componente se le realizó una codificación y se le asignó un nivel mínimo de existencia, enfocado en la frecuencia de cambio y la cantidad requerida para los extrusores; el objetivo principal del mismo es garantizar que el departamento de mantenimiento tenga disponible los insumos necesarios para una rápida y planificada intervención, ante paradas programadas e imprevistas del equipo.

## CONCLUSIONES

Durante el estudio de los históricos de fallas, se determinó que el factor más influyente en las horas de paradas no programadas, es que las tareas o actividades de mantenimiento ejecutadas van enfocadas en su mayoría a un mantenimiento correctivo, lo que influye de manera negativa, en la confiabilidad operacional de los equipos. Es por esto que se elaboró un plan de MCC, cuyo principal objetivo es reducir los costos asociados al mantenimiento; para ello se elaboraron estrategias que permiten aprovechar al máximo los recursos disponibles, enfocando las tareas en un mantenimiento preventivo que garantice la mejor utilización de los componentes de los extrusores, para alargar su vida útil.

En el Análisis de Criticidad se determinó que el husillo y el motor son los componentes críticos de los extrusores, es por esto que las actividades o tareas de mantenimiento a realizar, deben estar enfocadas en reducir los modos de fallas asociados a los mismos, ya que estos tienen gran incidencia en el funcionamiento del equipo.

Posteriormente se identificaron ocho modos y efectos de fallas, asociados con cada falla funcional de los extrusores, estas se identificaron en la Hoja de Información; luego se escogieron las actividades de mantenimiento adecuadas, para reducir su efecto en el funcionamiento de los equipos, las tareas seleccionadas para lograr esto fueron doce en total: siete enfocadas en tareas preventivas, cuatro en tareas predictivas y una tarea correctiva.

Con la aplicación del plan de MCC mencionado anteriormente, se mitigará la ocurrencia de los modos de fallas, ya que se enfocarán los esfuerzos de mantenimiento en aquellos componentes que son considerados críticos, lo que a su vez generará una reducción de costos operativos y de mantenimiento, como consecuencia de la disminución de las horas de paradas no programadas y la

minimización de los desperdicios. A su vez se busca, mediante la aplicación de esta metodología, garantizar el correcto funcionamiento de los extrusores, lo cual es de vital importancia para mantener la calidad de los productos y permanecer en el mercado, además se promueve el trabajo en equipo y se reducen los riesgos asociados a una falla potencial.

En este mismo orden de ideas, es importante destacar el plan de MCC en los Extrusores de la Línea Seis de Extruidos Blandos, sirve como punto de partida, para una futura aplicación en las líneas de producción restantes y de esta manera mejorar progresivamente la confiabilidad operacional de todos los activos de la empresa.

## RECOMENDACIONES

- Aplicar el plan de MCC propuesto anteriormente, con el fin de reducir costos asociados al mantenimiento y aumentar la confiabilidad operacional de sus activos.
- Mejorar el proceso de recolección de datos, detallando de manera clara y precisa el tiempo fuera de servicio y tiempo de reparación efectiva, con la finalidad de mantener registros históricos confiables.
- Optimizar el uso de las técnicas de registro y procesamiento de la data operacional utilizada actualmente, llevar un control diario confiable, que permita determinar las variaciones en el funcionamiento de los extrusores.
- Promover la creación y aplicación de formatos de registros de fallas en donde se explique con mayor detalle el modo y la causa de la falla, así como las acciones ejecutadas para solventar la situación.
- Mantener los niveles de inventario de repuestos, según lo establecido el presente estudio, de esta manera se puede garantizar una rápida y oportuna intervención del equipo a la hora de ejecutar las labores de mantenimiento, con el mínimo impacto en las operaciones y la producción.
- Capacitar, orientar y concientizar al personal de mantenimiento en la aplicación de herramientas y equipos de trabajo para el buen funcionamiento de los extrusores.
- Preservar el Equipo Natural de Trabajo para concentrar estrategias y definir las acciones más acertadas a la hora de ejecutar algún trabajo aprovechando los recursos y capital humano.

## REFERENCIAS

Álvarez S. (2003), Aplicación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), para una Planta de Pastas Alimenticias. Trabajo especial de grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela

Borbón, A. (2008). Aplicación de un Programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para los Sistemas Auxiliares de la Turbina a Gas W501D5. Trabajo especial de grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela

Canchica, J. (2007), Diseño de un Plan de Mantenimiento Basado en la Metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para la Flota de Equipos de carga: Palas Hidráulicas O&K de la Mina Paso Diablo Carbones del Guasare S.A. Tesis de grado, Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo Venezuela.

Da Costa Burga (2010), Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a Motores a Gas de dos Tiempos en Pozos de Alta Producción. Tesis de grado, Universidad Católica del Perú

García, M. (2011), Diseño e Implementación del Sistema de Análisis de Riesgo en el GIGB. Tesis de Grado. La Habana, Cuba.

Milanese, C. (2012), Diseño de Plan Preventivo en MCC. Trabajo Especial de Grado, Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

Morton, J. (1999), Procesamiento de Plásticos. Editorial Limusa. Biblioteca Nacional de España

Moubray, J. (1997) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Editorial Butterworth. Heinemann, Oxford.

Normas ISO 9001:2008 Sistemas de Gestión de Calidad. Requisitos.

Parra, C. (2012) Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Editorial Ingeman. Sevilla, España

Pepsico Alimentos Venezuela. Recuperado el 10 de junio de 2015.  
<http://www.pepsico.co.ve/compañia>

Rodríguez, J. (2002), Estudio del Mantenimiento de los Equipos Críticos de un Sistema de Deshidratación de Gas Natural (Basado en MCC). Trabajo especial de grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Sexto F. (2012) Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad.

Smith A. (1993) Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, editorial MacGraw.

Suarez D. (2007) Indicadores de Gestión Aplicados a Mantenimiento. Universidad de Oriente. Anzoategui, Venezuela.

UPEL (2006) Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales. Editorial FEDUPEL. Caracas, Venezuela.

Veronelli, G. (2013), Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de Equipos de Servicios y Paletizado en Pepsi-Cola Valencia. Tesis de grado, Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

## **ANEXOS**

## ANEXO 01

Extrusor N° 01, 02 y 03 de la Línea Seis



## ANEXO 02

Extrusor 02 detenido por falla



## ANEXO 03

### Cinta transportadora del Collets

