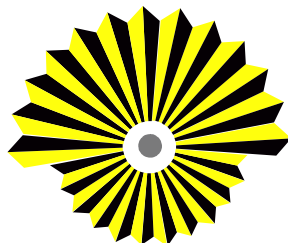


**UNIVERSIDAD “GRAN MARISCAL DE AYACUCHO”.**  
**Maestría de Ingeniería de Mantenimiento Mención Gerencia de**  
**Seguridad y Confiabilidad Industrial.**  
**Decanato de Postgrado. Núcleo Barcelona.**



**“PROPUESTA DE MEJORA DE LOS PLANES DE**  
**MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN DE DESCARGA MEREY**  
**20 (MED-20) DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN PESADO**  
**PERTENECIENTE A PDVSA DISTRITO SAN TOMÉ”**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER SCIENTIARUM EN**  
**INGENIERIA DE MANTENIMIENTO MENCIÓN GERENCIA DE**  
**SEGURIDAD Y CONFIABILIDAD INDUSTRIAL**

**Tutor:** Ing. Jorge Guzmán MSc.

**Autor:** Ing. Johana M. Lezama G.

Barcelona, Julio 2007

**UNIVERSIDAD GRAN MARISCAL DE AYACUCHO  
DECANATO DE POSTGRADO  
MAESTRÍA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO**

**CARTA DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

Por la presente, hago constar que he leído el proyecto de trabajo de grado (tesis) presentado(a) por el la (la) ciudadano (a): Johana Lezama para optar al Grado de Especialista- Magíster en Gerencia de Mantenimiento Mención Confiabilidad y Seguridad Industrial, cuyo título tentativo es: “PROPUESTA DE MEJORA DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN DE DESCARGA MEREY 20 (MED-20) DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN PESADO PERTENECIENTE A PDVSA DISTRITO SAN TOMÉ” y que acepto asesorar al estudiante en calidad de Tutor, durante la etapa del desarrollo del Trabajo (Tesis) hasta su presentación y evaluación.

En la Ciudad de Barcelona a los 07 del mes de Octubre del 2006

---

Ing. Jorge Guzmán MSc.

C.I:

## **DEDICATORIA**

A Dios Todopoderoso, por estar presente en todos y cada uno de mis momentos, por darme la fortaleza de seguir luchando por mis ideales.

Para el orgullo de mi familia y seres queridos, con especial agrado les dedico el fruto de mi trabajo, GRACIAS a todos por sus demostraciones de cariño y cuidados para conmigo. Por haberme apoyado y creído siempre en mi, les quiero decir que los AMO a todos.

A mis padres, Santiago Lezama y Marítza de Lezama, por darme la vida, por su confianza y por brindarme todo su amor y apoyo para lograr mis metas. LOS AMO.

A mis hermanos, Marisabel, Farisa, Anibal, César y Santiago; por todo su cariño y apoyo brindado en los momentos de alegría y tristeza.

A mis sobrinos, Santiago, Diego, Asiraf y Rodrigo; por brindarme alegría todos mis días. Los amo.

Al Sr. Rafael y la Sra. Ligia de Calderón, por ser mis segundos padres incondicionales, por todo su amor y cariño brindado a mí persona. LOS QUIERO MUCHO.

Especialmente a mi esposo Elvis Calderón, por todo su amor, cariño y comprensión en los momentos más difíciles y por ser un tesoro invaluable en mi vida y dentro de mi corazón.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios Todopoderoso, por haberme dado Salud y Fortaleza durante toda mi etapa de educación y formación profesional.

A mi familia, que me brindaron todo su apoyo fin de semana tras fin de semana, Gracias por el apoyo brindado. Lo Adoro a Todos.

A mi esposo Elvis Calderón, por todo tu amor y apoyo en los momentos difíciles de mi carrera, gracias por estar en los momentos de alegría y en los más difíciles también, Te AMO, faltará vida después de la muerte para poder pagarte lo que has hecho por mi.

Al Ing. Jorge Guzmán, quien con su paciencia y dedicación contribuyó enormemente en la realización de este Trabajo de Grado, por tu espíritu de ayuda y ética profesional que Dios te Bendiga siempre.

A mis compañeras de estudio Carla Domínguez, Yamaira Escobar, María Carolina González y Catusca Pacheco, con quienes compartí desde el inicio de esta meta, Gracias por brindarme una sincera e incondicional amistad.

A todas las personas que me brindaron todo su apoyo e hicieron posible la llegada a mi meta más próxima, graduarme de MAGISTER SCIENTIARUM EN INGENIARÍA DE MANTENIMIENTO.

**GRACIAS A TODOS POR ESTAR.**

## ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>CARTA DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR.....</b>	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>IV</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>X</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULOS.....</b>	<b>4</b>
<b>I. EL PROBLEMA.....</b>	<b>4</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>8</b>
Objetivo General.....	8
Objetivos Específicos.....	8
<b>JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>9</b>
Justificación Teórica.....	9
Justificación Práctica.....	9
Justificación Metodológica.....	10
<b>LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>II. MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>12</b>
<b>ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>ANTECEDENTES DE HISTÓRICOS.....</b>	<b>13</b>
<b>BASES TEÓRICAS.....</b>	<b>14</b>
<b>III. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>36</b>

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	37
Por el Propósito o Finalidades Perseguidas.....	37
Por la Clase de Medios Utilizados para Obtener los Datos.....	38
Por el Nivel de Conocimientos que se Adquieren.....	39
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	39
POBLACIÓN Y MUESTRA.....	40
Población.....	40
Muestra.....	41
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	42
PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS.....	42
CONFIABILIDAD Y VALIDEZ.....	43
<b>VI. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>45</b>
PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	45
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	61
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES.....	69
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>71</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>72</b>
<b>APÉNDICE A.....</b>	<b>72</b>
Diagrama Causa Efecto por Sistema.....	72
SISTEMA DE BOMBEO.....	75
SISTEMA DE BOMBEO (BOMBA DE TORNILLO).....	76
SISTEMA DE BOMBEO. (MOTOR BOMBA DE TORNILLO).....	77
SISTEMA DE BOMBEO. (BOMBA RECIPROCANTE).....	78
SISTEMA DE BOMBEO (MOTOR BOMBA RECIPROCANTE).....	79
SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS.....	80
SISTEMA DE CALENTAMIENTO.....	81
<b>APÉNDICE B.....</b>	<b>82</b>
Análisis de Modos de Fallas y Criticidad (FMECA).....	82
FMECA SISTEMA DE LAVADO.....	83

FMECA SISTEMA DE BOMBEO .....	88
FMECA SISTEMA DE SEPARACIÓN .....	99
FMECA SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS.....	103
FMECA SISTEMA DE CALENTAMIENTO .....	107
APÉNDICE C. ....	110
Comparación de los resultados emitidos con la Metodología MCC y los resultados del APT- Maintenance en MED-20 .....	110
APÉNDICE D. ....	123
Agrupado de Tareas. ....	123
APÉNDICE E.....	135
Manual para el manejo de la Herramienta APT-Maintenance. ....	135

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
#1.....	15
#2.....	23
#3.....	25
#4.....	29
#5.....	31
#6.....	51
#7.....	53
#8.....	54
#9.....	55
#10.....	56
#11.....	57
#12.....	61
#13.....	62
#14.....	63
#15.....	64



#16.....	65
#17.....	73
#18.....	74
#19.....	75
#20.....	76
#21.....	77
#22.....	78
#23.....	79
#24.....	80
#25.....	81

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
#1.....	6
# 2.....	25
#3.....	27
#3.1.....	28
#4.....	28
#5.....	29
#6.....	32
#7.....	39
#8.....	40
#9.....	41
#10.....	46
#11.....	47
#12.....	50
# 13.....	124
# 14.....	125
# 15.....	125

# 16.....	126
# 17.....	126
# 18.....	127
# 19.....	127
# 20.....	128
# 21.....	128
# 22.....	129
# 23.....	129
# 24.....	130
# 25.....	130
# 26.....	130
# 27.....	131
# 28.....	131
# 29.....	131
# 30.....	131
# 31.....	132
# 32.....	132
# 33.....	132
# 34.....	133
# 35.....	133

# 36.....	133
# 37.....	134
# 38.....	134
# 39.....	134

**UNIVERSIDAD “GRAN MARISCAL DE AYACUCHO”.**  
**Maestría de Ingeniería de Mantenimiento Mención Gerencia de Seguridad y**  
**Confiabilidad Industrial.**  
**Decanato de Postgrado. Núcleo Barcelona.**

**“PROPUESTA DE MEJORA DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO DE  
LA ESTACIÓN DE DESCARGA MEREY 20 (MED-20) DE LA UNIDAD DE  
PRODUCCIÓN PESADO PERTENECIENTE A PDVSA DISTRITO SAN  
TOMÉ”**

**Autor:** Ing. Johana M. Lezama G.

**Tutor:** Ing. Jorge Guzmán MSc.

**Año:** 2006

## **RESUMEN**

El Distrito San Tomé está dividido en las áreas tradicionales de Crudo Liviano y Mediano y las no tradicionales ubicadas en la faja del Orinoco de Crudo Pesado y Extrapesado. El área donde se realizó el estudio es en la Unidad de Pesado, la cual cuenta con dieciocho (18) Estaciones de Descarga, catorce (14) Estaciones de Flujo, un (01) Múltiple de Producción y un (01) Estación de Rebombeo en el campo Melones, con lo cual se maneja una producción aproximada de 121.350 BNPD. La Instalación utilizada para el análisis es la Estación de Descarga 20 (MED-20), la cual posee una producción de crudo asociada aproximadamente de 43.000 Barriles diarios, con un total de 50 equipos, entre los cuales están: Seis (06) Bombas de Agua Salada con sus seis (06) Motores, tres (03) Tanques de Agua Salada, siete (07) Bombas de Crudo y cada una con sus respectivos motores, seis (06) Tanques de Crudo, tres (03) Calentadores Verticales, cinco (05) Hornos, un (01) múltiple de Crudo, dos (02) Separadores Horizontales, un (01) separador Vertical, y tres (03) Tanques de Lavado. Cabe destacar que la Organización no posee políticas de mantenimiento para garantizar la disponibilidad de los equipos. Sin embargo, las reparaciones se han venido incrementando en un 60% en los últimos años y por ende los costos de mantenimiento. De las herramientas informáticas disponibles en PDVSA, se determinó que el software APT-Maintenance, es adecuado para optimizar frecuencias de mantenimiento mediante simulaciones a futuro del comportamiento de los equipos, realizando previamente un análisis exhaustivo del comportamiento de estos, las fallas con sus respectivas consecuencias y riesgo asociado, dándole orden de prioridad de ataque o eliminación a cada evento mediante el análisis de criticidad, controlando el proceso y por último optimizando el mantenimiento con la finalidad de disminuir los costos que generan pérdidas a la organización.

**Palabras Claves:** Confiabilidad Operacional, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Riesgo.

## INTRODUCCIÓN

La Gerencia de Operaciones y Mantenimiento de PDVSA Distrito San Tomé, tiene bajo su responsabilidad cinco (05) Unidades de Producción (U.P) como lo son: Pesado, Extrapesado, Liviano, Mediano y Plantas de Gas, las cuatro (04) primeras cuentan con una serie de Estaciones de Flujo y Descarga donde se realiza el proceso de recolección, separación, deshidratación, almacenamiento y bombeo hacia el Patio de Tanque y posteriormente a José para su comercialización, en las Plantas Compresoras de Gas Natural se encuentra conformada por una o más unidades motocompresoras de diferentes marcas y/o modelos. El área donde se realizó el estudio es en la Unidad de Pesado Oeste, la cual cuenta con dieciocho (18) Estaciones de Descarga, catorce (14) Estaciones de Flujo, un (01) Múltiple de Producción y un (01) Rebombeo de Melones, con lo cual se maneja una producción aproximada de 121.350 BNPD.

La Instalación utilizada para el análisis es la estación de Descarga MED-20, perteneciente a la U.P Pesado, la cual posee una producción de crudo asociada aproximadamente de 43.000 Barriles Diarios, con un total de 50 equipos, entre los cuales están: Seis (06) Bombas de Agua Salada con sus seis (06) Motores, tres (03) Tanques de Agua Salada, siete (07) Bombas de Crudo y cada una con sus respectivos motores, seis (06) Tanques de Crudo, tres (03) Calentadores Verticales, cinco (05) Hornos, un (01) múltiple de Crudo, dos (02) Separadores Horizontales, un (01) separador Vertical, y tres (03) Tanques de Lavado. Cabe destacar que la Organización no posee políticas de mantenimiento para garantizar la disponibilidad de los equipos. Debido a esto, las reparaciones se han venido incrementando en un 60% en los últimos años y por ende los costos de mantenimiento.

Lo anterior constituyó el telón de fondo para el desarrollo del Trabajo de Grado que se presenta en este documento. En este sentido, la empresa propuso la realización de un estudio que permitiera optimar las frecuencias de mantenimiento de la Infraestructura, Sistemas, Equipos y Dispositivos (ISED's), para alargar la vida útil de estos además de contribuir con la continuidad de las operaciones y por ende la producción, por lo que se decidió realizar un estudio para el cumplimiento del siguiente Objetivo General: **“Propuesta de Mejora de los Planes de Mantenimiento de la Estación de Descarga MEREY 20 (MED-20) de la U.P Pesado perteneciente a PDVSA Distrito Social San Tomé”**.

Para el logro de este objetivo, se diseñó un marco metodológico que sirvió de base para la programación de una serie de actividades que conducen a la optimización de dichos planes. De forma muy resumida, las actividades ejecutadas fueron las siguientes:

- Diagnóstico de la situación actual además de la recopilación de toda la información necesaria (parámetros de operación, capacidades, registro de fallas, costos de mantenimiento y operación, etc.)
- Realización del Análisis de Criticidad para identificar el orden y prioridad para atacar los problemas, análisis de los eventos crónicos para minimizarlos y/o eliminarlos.
- Aplicación de la Metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), para definir las estrategias de mantenimiento adaptada a cada equipo de MED-20.
- Con la información anterior, se aplicó la herramienta informática Asset Performance Tools (APT) Maintenance, la cual se encarga de simular el comportamiento de los equipos y la frecuencia óptima en que se les debe realizar dicha actividad, ésta permite la evaluación de costos y riesgos en

ingeniería y de soporte de decisiones gerenciales, contempladas en un proyecto en el que participan varias empresas de categoría mundial y el gobierno del Reino Unido (proyecto MACRO).



# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

El Mantenimiento es el conjunto de actividades desarrolladas con la finalidad de preservar un activo, este se puede considerar como un sistema compuesto por actividades de mantenimiento en pro del beneficio de la organización. Existen diferentes tipos, los cuales son el Mantenimiento Predictivo, Mantenimiento Preventivo el cual contempla el preventivo programado, preventivo por estadística, preventivo por condición y de mejoras; Mantenimiento Correctivo y por último el Mantenimiento Mayor.

El Distrito San Tomé posee un área total de 17.085 Km<sup>2</sup> y conforma la más grande variedad de instalaciones petroleras que van desde los Patios de Almacenamiento de Crudo hasta las Estaciones de Flujos, Plantas de Inyección de Agua, Gas, Vapor y Plantas Compresoras de Gas.

Este Distrito está dividido en las áreas tradicionales (Crudo Liviano y Mediano) y las áreas no tradicionales ubicada en la faja del Orinoco específicamente en la región Hamaca del Estado Anzoátegui y Machete del Estado Guárico (Crudo Pesado y Extrapesado).

La Gerencia de Operaciones cuenta con una serie de organizaciones como son las Unidades de Producción: Liviano, Mediano, Pesado y Extrapesado, las cuales recolectan, tratan, almacenan y transfieren crudo a los Patios para su posterior comercialización.

El área de producción de la Unidad de Pesado Oeste cuenta con dieciocho (18) Estaciones de Descarga, catorce (14) Estaciones de Flujo, un (01) múltiple y un (01) Rebombeo de Melones, con lo cual se maneja una producción de 121.350 BNPD aproximadamente.

La estación donde se realizó el estudio es Merey Estación de Descarga 20 (MED-20) la cual posee una producción de crudo aproximada de 43.000 Barriles, y un total de cincuenta (50) equipos, entre los cuales están: Seis (06) Bombas de Agua Salada con sus seis (06) Motores, tres (03) Tanques de Agua Salada, siete (07) Bombas de Crudo y cada una con sus respectivos motores, seis (06) Tanques de Crudo, tres (03) Calentadores Verticales, cinco (05) Hornos, un (01) múltiple de Crudo, dos (02) Separadores Horizontales, un (01) Separador Vertical, y tres (03) Tanques de Lavado. La Organización no posee políticas de mantenimiento para garantizar la disponibilidad de los equipos. Sin embargo, debido a ello, los costos de mantenimiento y las reparaciones se han venido incrementando en los últimos años.

Debido a la producción asociada a MED-20, fue necesaria la búsqueda de soluciones a dicha problemática, por lo que la Organización y la Coordinación de Ingeniería de Mantenimiento, específicamente el Ingeniero de Confiabilidad, trabajaron conjuntamente para optimizar los Planes de Mantenimiento de cada uno de los equipos, con la finalidad de disminuir los costos asociados a mantenimiento correctivo, penalizaciones y aumentar la Confiabilidad y disponibilidad de estos.

**Tabla #1.**  
Diagnóstico del Problema.

<b>SÍNTOMAS</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>PRONÓSTICO</b>	<b>CONTROL AL PRONÓSTICO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Elevados Costos de Mantenimiento.</li> <li>● Alta Frecuencia de Fallas.</li> <li>● Penalizaciones por el incumplimiento de la producción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● La Organización no posee políticas de mantenimiento para garantizar la disponibilidad de los equipos.</li> <li>● Personal requiere de entrenamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Deterioro de la calidad de los parámetros operacionales.</li> <li>● Alta frecuencia de fallas.</li> <li>● Reparaciones de Emergencia.</li> <li>● Elevados costos de Mantenimiento.</li> <li>● Mayor ejecución de mantenimiento correctivo que preventivo.</li> <li>● Alta rotación de Repuestos.</li> <li>● Accidentes e Incidentes.</li> <li>● Pérdida de Producción.</li> <li>● Baja Disponibilidad y Confiabilidad de los equipos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Optimizar los Planes de Mantenimiento de la Estación MED-20 de la U.P Pesado del Distrito San Tomé.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia. (2006)

La operación de dicha instalación enfrenta cada día mayor dificultad, debido a las frecuentes fallas que han incrementado los costos de reparación, y por ende han reducido la disponibilidad mecánica y la productividad.

La pérdida o diferimiento de producción es un aspecto crítico para cualquier empresa, el cual debe ser atacado con la mayor rapidez posible. Para ello, es necesario disminuir al máximo el tiempo de respuesta a las fallas que producen paradas inesperadas, sin contar con los riesgos operacionales asociados.

La baja en la disponibilidad y el aumento de los mantenimientos correctivos, ha sido otro aspecto que ha preocupado a la Organización, y la realización del mantenimiento preventivo antes o después de la fecha ideal, genera gastos e influye en la producción; es decir, si el trabajo se efectúa antes de la fecha, se generan gastos innecesarios en mano de obra y materiales, sin contar con la disminución en la producción o en caso contrario, cuando se realiza el mantenimiento después de la

fecha adecuada, los costos y el tiempo de reparación son mucho mayores y por ende el equipo sufre desgaste por el uso excesivo sin mantenimiento.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, fue necesario optimar los Planes de Mantenimiento que permitan mantener en operación satisfactoria los equipos. Para ello, fueron necesarias tres (03) etapas, las cuales son: Etapa de Diagnóstico de la situación actual de los equipos (mediante el estudio de Esfuerzo Vs Consecuencias, Análisis de Riesgo y Análisis de Criticidad), para darle prioridad a los problemas detectados, Luego la Etapa de Control a los problemas detectados (mediante el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) y por último, la Etapa de Optimización de los Planes de Mantenimiento (mediante la utilización del software APT-Maintenance).

Habiendo consultado y evaluado los recursos informáticos disponibles en PDVSA, se determinó que el software APT-Maintenance, una de las técnicas de Optimización Costo Riesgo, es apropiado para optimar los Planes de los diferentes equipos que componen la estación MED-20 perteneciente a la U.P de Pesado del Distrito San Tomé.

Como consecuencia de la Optimización de los Planes de Mantenimiento, la Unidad de Producción Pesado dispondrá de un Documento completo para el mantenimiento de los equipos de la Estación MED-20, el cual considera:

- Un plan de buenas prácticas, bien sea de operaciones, mantenimiento, rediseño, capacitación, el cual se adapta a las necesidades actuales del negocio y a las condiciones de los activos.
- Tareas predictivas y preventivas técnicamente factibles y costo efectivas.

- Identificación de los requerimientos de capacitación, creación y revisión de procedimientos, supervisión, etcétera.
- Identificación de las situaciones donde la opción de “operar hasta la falla” es lo más conveniente.
- El tiempo óptimo de Mantenimiento y/o reemplazo.

Todo esto está asociado con la idea de ir subsanando progresivamente la problemática asociada a los elevados costos de mantenimiento correctivo y penalización. Además se espera mantenerlos en operación satisfactoria y confiables.

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **Objetivo General.**

Proponer mejoras de los Planes de Mantenimiento de la Estación de Descarga MED-20 de la U.P Pesado Oeste perteneciente a PDVSA Distrito San Tomé.

### **Objetivos Específicos.**

- Diagnosticar la situación actual y las condiciones de operación de los equipos mediante el Análisis Esfuerzo Vs Consecuencia y cálculo de Riesgo de las fallas presentes en la Estación MED-20 perteneciente a la U.P Pesado Oeste del Distrito Social San Tomé.
- Realizar un Análisis de Criticidad, con el fin de identificar el orden y la prioridad de ataque de las fallas presentes en los equipos de la Estación MED-20.
- Analizar los eventos crónicos de la Estación MED-20, mediante la utilización de la Metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

- Proponer mejoras de los planes de Mantenimiento utilizando el Software de Confiabilidad Operacional APT-Maintenance, para disminuir los costos por mantenimiento correctivo y alargar la vida útil de los equipos.

## **JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Justificación Teórica**

La Confiabilidad Operacional, no es más que la probabilidad de que un sistema, compuesto por procesos, tecnología y gente, cumpla satisfactoriamente las funciones o el propósito que de él se espera, bajo un contexto operacional específico y en un período de tiempo dado; es por ello que se deben mejorar los planes de mantenimiento, para que las Instalaciones, Sistemas, Equipos y Dispositivos (ISED's) operen en un tiempo específico, bajo condiciones específicas disminuyendo de este modo los costos asociados a correctivos y penalizaciones por incumplimiento de la producción.

### **Justificación Práctica**

Siempre cualquier empresa quiere mantener bajos los costos de mantenimiento, así como los que justifican la producción diaria que se está manejando. El mantenimiento correcto no proporciona los mejores niveles de producción y seguridad, por lo que es necesario entonces el estudio de nuevas metodologías de Confiabilidad Operacional, como las de optimización de costos y riesgos, con el fin de disponer de políticas y planes de Mantenimiento que disminuyan dichos costos y aumenten la Confiabilidad y disponibilidad de los mismos. El análisis y evaluación de los resultados del presente Trabajo de Grado soportará la toma de decisiones con respecto al mantenimiento programado de los equipos, de acuerdo con los factores operacionales y de rentabilidad (costo, beneficio).

### **Justificación Metodológica**

Para la propuesta de mejoras en los planes de mantenimiento de MED-20, se utilizó un software de Confiabilidad Operacional, el cual está basado en la metodología de Optimización Costo – Riesgo (OCR), la cual representa una vía efectiva y eficiente para ejecutar estudios en un tiempo relativamente rápido con resultados de gran impacto en la Confiabilidad del proceso. Estas técnicas de OCR ayudan a modelar y analizar distintos escenarios, con el fin de determinar el momento oportuno de realizar una actividad de mantenimiento, además de conocer la viabilidad económica del proyecto. Estos resultados permitirán optimizar el proceso de toma de decisiones de los diferentes procesos de gestión de la Confiabilidad dentro de PDVSA. El APT-Maintenance, es una herramienta que permite definir intervalos óptimos de mantenimiento, gerencia de deterioro, confiabilidad, desempeño y efectos del ciclo de vida.

### **LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Uno de los aspectos que se puede mencionar como limitante o barrera de esta investigación, es el escaso número de personas en PDVSA con conocimiento y experticia en el manejo de la herramienta de Optimización Costo Riesgo (APT – Maintenance). Esto de alguna u otra forma influye en el tiempo de ejecución. Otro aspecto que se puede resaltar es la escasez de información y datos financieros para la aplicación del software.

A lo anterior, se une el hecho de que la información necesaria para la aplicación de la metodología MCC, requiere un grupo de trabajo conformado por personal de la Organización, el cual no tendrá dedicación exclusiva para desarrollar esta investigación.

Debido a una política interna de PDVSA, con respecto al uso de dispositivos externos de almacenamiento en la corporación, la Gerencia de Prevención y Control de Pérdidas (PCP), indica a todos los usuarios de la Plataforma Tecnológica, que la información de la Corporación ***no puede ser suministrada o divulgada a personas u organizaciones ajenas al negocio***, asegurando así, la confidencialidad de la información y continuidad operativa del negocio, por tal motivo la información concerniente a las fallas y costos de mantenimiento utilizados en la Herramienta APT-Maintenance por lo que se presentará solo la tabla con los resultados finales, debido a que son data confidencial bajada del sistema SAP-PM, de PDVSA. En cambio los datos del FMECA, sí serán mostrados debido a que son valores suministrados por el equipo multidisciplinario de trabajo, basados en la experiencia en campo de los trabajadores.



## CAPITULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Johana Lezama, 2003, *Elaboración de un Plan de Acción para decidir el mantenimiento o reemplazo de unidades Motocompresoras de Gas*, La base principal para la elaboración del Plan de Acción fue el programa (software) APT-Lifespan, el cual permitió determinar el costo del ciclo de vida de cada uno de los Motocompresores. Dado que se pretende dar solución a un problema actual en la Gerencia de Plantas – Sur del Distrito San Tomé, se pusieron en práctica metodologías y principios preestablecidos a fin de alcanzar los objetivos propuestos por lo que la investigación es del **tipo aplicada**, además de ser una investigación de campo puesto que se logró recolectar los datos de operación, historiales de fallas y conocer el proceso, mediante visitas realizadas a las Plantas Compresoras de Gas. Fue necesario el apoyo de fuentes bibliográficas con las que se pudo hacer los estudios previos para la aplicación de la herramienta de cálculo del costo del período de vida de los Motocompresores. **La población** en estudio comprende la totalidad de los motocompresores del Área II del Distrito San Tomé, donde la totalidad de equipos en ésta área es de cincuenta y seis (56), la empresa Hanover tiene a su cargo tres (03) motocompresores, la empresa SPOCA tiene a su cargo siete (07) unidades motocompresoras y PDVSA posee las restantes (46 unidades) de los cuales veintiséis (26) motocompresores se encuentran fuera de servicio. **La muestra**, estuvo representada por las 20 unidades motocompresoras que se encuentran operativas a cargo de PDVSA instaladas en siete (07) plantas compresoras. Como conclusión se

tiene que en términos generales, el uso de la herramienta APT – Lifespan, permitió, identificar el costo del ciclo de vida útil de los activos (nuevos/usados), comparar diferentes opciones (costos de ciclo de vida) e identificar el momento óptimo para reemplazar los activos existentes por activos nuevos y el Plan de Acción permitió tomar decisiones relativas a reemplazos o reacondicionamiento de los motocompresores estudiados

## **ANTECEDENTES DE HISTÓRICOS**

Con el propósito de optimizar el proceso de toma de decisiones en las áreas relacionadas con la selección de propuestas técnicas y la definición de actividades de mantenimiento, la corporación realizó un proceso de evaluación de distintas herramientas basadas en técnicas de OCR, que abarcaron el análisis de aspectos relacionados con las frecuencias, los costos y las consecuencias de las fallas.

Este proceso se inicia a finales de 1996, con la asesoría del grupo consultor “The Woodhouse Partnership”, en las áreas de Refinación (Refinería Cardón) y posteriormente en exploración y producción (Occidente – a inicios de 1997) e INTEVEP (final de 1997). La primera herramienta adquirida fue el APT Project, cuya función principal es la evaluación financiera de proyectos menores. Posteriormente se adquirieron en el ámbito corporativo las herramientas APT Maintenance y APT-Inspection, cuyas funciones son la identificación de frecuencias óptimas de mantenimiento e inspección. Adicionalmente, a largo y mediano plazo, PDVSA está visualizando la adquisición de nuevas herramientas: APT Spare /Stock (identificación del nivel óptimo de inventario – repuestos de baja rotación/alta rotación respectivamente) y APT-Lifespan (identificación del ciclo óptimo de vida útil). Es importante mencionar que áreas específicas (Exploración y Producción Occidente e INTEVEP) están utilizando actualmente la herramienta APT Spare.

Los resultados obtenidos en PDVSA en los últimos dos años a partir de la aplicación de las herramientas de OCR, han demostrado su gran utilidad dentro del proceso de toma de decisiones, afianzando y justificando su uso dentro de la corporación.

## **BASES TEÓRICAS**

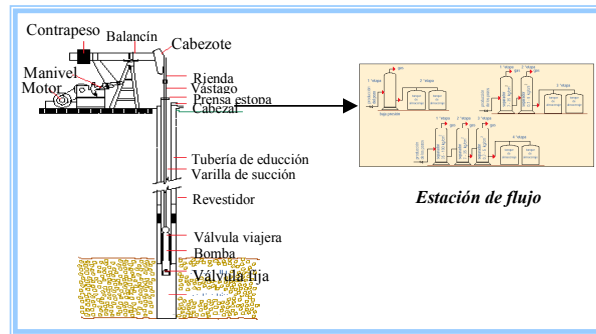
### **OPERACIONES DE PRODUCCIÓN PETROLERA**

#### **Sistema de Producción**

Según documentación PDVSA (2000), se denomina **campo petrolero** al yacimiento, los pozos y las instalaciones de superficie conexas al mismo. Un pozo petrolero está constituido por una tubería de producción por donde sube el crudo, arrastrando con él, gas y agua; esta tubería está cubierta por un revestidor. En la superficie del pozo está instalado el “Árbol de Navidad” con las diferentes válvulas que permiten la comunicación desde la superficie con el interior del pozo. La boca del pozo está acondicionada con concreto y/o arena para lograr un flujo óptimo desde el yacimiento hasta la sarta de producción.

Luego que la mezcla de hidrocarburos se trae a la superficie, es necesario separar el gas, el petróleo, el agua y/o condensado que produce el yacimiento. Esta operación se realiza en las estaciones de flujo, donde se recibe la producción de los pozos pertenecientes al campo. El gas es enviado a las plantas compresoras donde se depura para eliminar componentes indeseables y luego se comprime. (Figura # 1. Esquema de un campo petrolero).

**Figura #1.**  
Esquema de un campo petrolero.



Fuente: El Pozo Ilustrado (2000).

## Aspectos generales sobre Mantenimiento

Según Monchy, Francois (1990), toda maquinaria utilizada para cualquier tarea productiva está propensa a fallar o deteriorarse por efecto de la antigüedad, el uso e inclusive por las condiciones ambientales del lugar en el cual presta servicio. También es posible que las causas de deterioro o falla sean inherentes al equipo. Pero, sin importar cuales sean las causas de deterioro o falla, uno de los objetivos primordiales de cualquier industria es mantener sus equipos e instalaciones en perfectas condiciones de funcionamiento. Para lograrlo, se toman medidas destinadas a disminuir al mínimo la probabilidad de falla. Estas medidas son lo que se denomina “hacer mantenimiento”. Vale recordar que equipos e instalaciones forman parte de los recursos productivos de una empresa y que de la racionalidad y eficacia con que se empleen, dependerá, en alto grado, la productividad.

## Definición de Mantenimiento

*Duffua (2000 citado en Zambrano, 2005) define que “... la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantiene en, o se restablece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas. Es un factor importante en la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia para una competencia exitosa. Las inconsistencias en la operación del equipo de producción dan por resultado una variabilidad*

*excesiva en el producto y, en consecuencia, ocasionan una producción defectuosa. Para producir con un alto nivel de calidad, el equipo de producción debe operar dentro de las especificaciones, las cuales pueden alcanzarse mediante acciones oportunas de mantenimiento”.*

En tal sentido, el mantenimiento es el conjunto de actividades desarrolladas con la finalidad de preservar un activo. Este se puede considerar como un sistema compuesto por actividades de mantenimiento en pro del beneficio de la organización.

### **Tipos de Mantenimiento**

Según Monchy Francois (1990), Existen varios tipos de Mantenimiento, los cuales se listan a continuación:

- **Mantenimiento Predictivo:** Está basado en el estudio de las características internas del equipo en operación con el objeto de poder predecir el momento en que ocurrirá una falla y, en consecuencia, actuar antes que se presente dicha falla.
- **Mantenimiento Preventivo:** Son aquellas acciones realizadas sistemáticamente sobre un equipo con la intención de mantenerlo trabajando en condiciones específicas de funcionamiento y de reducir la ocurrencia de fallas.
  - *Preventivo programado:* Se realiza con base en programas establecidos, ya sea por tiempo determinado o por cantidad de unidades especificadas.
  - *Preventivo por estadística:* Se realiza sobre la base de datos estadísticos.
  - *Preventivo por condición:* Se realiza por seguimiento a las condiciones físicas del equipo.
  - *De mejoras:* Es una actividad relativa a modificaciones, construcciones, rediseño, etcétera.
- **Mantenimiento Correctivo:** Es toda acción conducente a restituir la condición específica de funcionamiento de un equipo, después que ha ocurrido una falla.
- **Mantenimiento Mayor:** Son aquellas acciones de mantenimiento que ameriten un desensamblaje total del equipo para su ejecución; se le conoce también como reparación mayor.

### **Rutinas de Mantenimiento e Inspecciones**

- **Lubricaciones:** Acciones cuyo objetivo es el de garantizar que los componentes dinámicos, así como los estáticos que estén en contacto con aquellos; estén debidamente lubricados con aceites y grasas adecuadas y en las condiciones y cantidad necesarias dadas por las especificaciones técnicas del fabricante, como garantía o seguro para reclamos futuros.
- **Inspecciones:** Son acciones que tienen por objeto detectar por medios sensoriales o accesorios especiales el inicio de una condición que indica una falla incipiente. Estas se especifican por la condición en que deba encontrarse el equipo al momento de realizarse la actividad; entre estas se tienen:
  - *Inspecciones en proceso:* Se realizan con las máquinas en operación de una forma sensorial mediante el uso de instrumentos adecuados (ejemplos: Analizadores de vibraciones, analizadores electrónicos de motores de combustión interna, análisis de aceites, etcétera), los cuales permiten detectar síntomas específicos de anormalidad en la condición de un activo.
  - *Paradas por inspección:* Son aquellas que para efectuarse se requiere tener el equipo fuera de servicio (ejemplo: Inspecciones de cadenas, correas, bandas transportadoras, etcétera).

### **Fallas**

Según Zambrano Sony y Leal Sandra, (2005) la definición de Falla “ *Es un evento no previsible, inherente a los sistemas productivos, que impide que estos cumplan su función bajo condiciones establecidas o que no la cumplan*”.

### **Clasificación de las Fallas:**

- **Por su alcance:**
  - *Parcial:* Es aquella que origina desviaciones en las características de funcionamiento de una máquina por debajo o por encima de los límites

establecidos, pero no de suficiente magnitud como para causar la interrupción total de la función requerida. Estas se pueden subdividir en: **Graduales**, cuyo efecto final es retrasado, o se manifiesta como una degradación continua de la operación del sistema; y en **Degradante**, que ocasionan variación en el funcionamiento normal, pero sin originar el paro del sistema.

- *Total*: Es aquella que origina desviaciones o pérdidas de las características de funcionamiento de un sistema productivo, tal que produce incapacidad para cumplir su función.
- **Por su velocidad de aparición:**
    - *Intermitente*: Son aquellas que persisten por un cierto lapso (corto tiempo), dentro de un rango de falla parcial, y cuando desaparece la causa, el sistema recobra su funcionamiento normal. Por lo general, este tipo de falla obedece a características en la carga de trabajo.
    - *Progresiva*: Es aquella en la que se observa la degradación de funcionamiento de un sistema productivo y puede ser determinada por un examen anterior de las características del mismo.
    - *Súbita*: Es la que ocurre instantáneamente y no puede ser prevista por un examen anterior de las características del sistema productivo.
- **Por su impacto:**
    - *Menor*: Es aquella que no afecta los objetivos de producción o de servicio.
    - *Mayor*: Es aquella que afecta parcialmente los objetivos de producción o de servicio.
    - *Critica*: Es aquella que afecta totalmente los objetivos de producción o de servicio.

- **Por su dependencia:**

- *Independiente*: Son fallas del sistema productivo cuyas causas son inherentes al mismo.
- *Dependiente*: Son fallas del sistema productivo cuyo origen es atribuible a una causa externa.

### **Parámetros del Mantenimiento**

Según información suministrada por PDVSA CIED (2000), los parámetros de mantenimiento son herramientas que, en forma de distribuciones estadísticas, se utilizan para realizar cálculos de probabilidades para los tiempos de funcionamiento, reparación, etcétera de un equipo. Estos cálculos, basados en la historia de la operación de los mismos, pueden ser utilizados para ajustar la frecuencia de las inspecciones de mantenimiento preventivo de tal forma que éstas se adelanten a cualquier probabilidad de falla. Los parámetros de mantenimiento más utilizados son los siguientes:

### **Confiabilidad**

Es la probabilidad de que un componente o equipo lleve a cabo su función, adecuadamente, durante un período de tiempo y bajo condiciones operacionales dadas.

La Confiabilidad de un componente o equipo puede cuantificarse mediante la utilización de tres parámetros básicos:

- **El Tiempo Promedio Entre Fallas (TPEF)**: Que indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla, es decir, a mayor TPEF mayor es la confiabilidad del componente o equipo.



- **La Probabilidad de Supervivencia  $P_s(t)$ :** Que es igual al complemento de la probabilidad de falla  $P_f(t)$ . Si efectivamente el equipo está operando adecuadamente significa que no ha fallado:  $P_s(t) = 1 - P_f(t)$ .
- **La Rata de Fallas  $r(t)$ :** La cual se define, a efectos de Confiabilidad, como la probabilidad de falla inminente de un equipo al llegar a “t” horas de operación. La rata de fallas viene expresada en fallas por un intervalo de tiempo.

### **Mantenibilidad**

Es la probabilidad de que un equipo que ha fallado pueda ser reparado dentro de un período de tiempo dado, cuando su mantenimiento es realizado de acuerdo con los procedimientos preestablecidos. El parámetro de medición de Mantenibilidad es el Tiempo Promedio Para Reparar (TPPR), el cual puede obtenerse de acuerdo con la cantidad total de tiempo fuera de servicio por causa de una falla y el número de acciones de mantenimiento llevadas a cabo por concepto de fallas.

### **Disponibilidad**

Es la probabilidad constante de que un equipo esté disponible para su uso en cualquier momento a lo largo de un período calendario dado. La disponibilidad representa la fracción del tiempo total durante el cual el motocompresor es operable, es decir, la razón existente entre el tiempo de servicio y el tiempo total. El conocimiento de los factores que influyen sobre la disponibilidad facilita el proceso de toma de decisión acerca de las diversas alternativas de acción para mejorarla. Estas alternativas serían:

- a) Aumento de los tiempos entre fallas.
- b) Reducción de los tiempos fuera de servicio.
- c) Tácticas combinadas de las dos anteriores.

### **Niveles de Mantenimiento**

Todas las organizaciones en PDVSA y sus empresas filiales se rigen actualmente por la norma COVENIN (1.998), que define los siguientes niveles de mantenimiento de equipos:

- a) Nivel de Mantenimiento I:** Cambio de elementos consumibles y/o renglones simples que no requieren el desmontaje o apertura del equipo. Conservación de funciones de apariencia.
- b) Nivel de Mantenimiento II:** Actividades menores de mantenimiento preventivo por condición (inspección no especializada: inspección ocular, registro y control de parámetros operacionales) y por frecuencia. Mantenimiento correctivo menor mediante el intercambio de elementos estándares.
- c) Nivel de Mantenimiento III:** Mantenimiento preventivo por condición (inspección especializada) y por frecuencia (sustitución y/o reacondicionamiento cíclico). Mantenimiento correctivo mediante reparación de componentes y/o intercambio de elementos funcionales. Conservación y funciones de protección ambiental, integridad estructural, economía y eficiencia.
- d) Nivel de Mantenimiento IV:** Mantenimiento preventivo mediante ejecución de tareas de sustitución cíclica de sistemas y/o ensambles, calibración de dispositivos o aparatos de medición empleados en las actividades de mantenimiento. Fabricación y/o reparación de piezas, armado y reparación de conjuntos.
- e) Nivel de Mantenimiento V:** Mantenimiento mayor para restitución total de las funciones del equipo a condiciones de capacidad de diseño ("Cero horas de operación"). Reparaciones de cuarto nivel asignadas a este nivel por razones económicas y/o de oportunidad.

### **Etapa de Diagnóstico**

Según José, Duran (2.005) esta etapa permite:

- Conocer de forma cuantitativa el valor que tiene cada falla.
- Orientar las necesidades de adiestramiento en base a las necesidades reales de la organización.
- Identificar donde se necesita hacer más robustas las operaciones y optimar según la consecuencia de una falla.
- Establecer un orden para ir eliminando las pérdidas de dinero o valor.
- Establecer los pasos a seguir para controlar las desviaciones con respecto a la función deseada de un equipo o sistema.
- Identificar lo poco el cual resulta ser el más significativo, es decir, el 20% de los problemas representa el 80% de las pérdidas de valor.

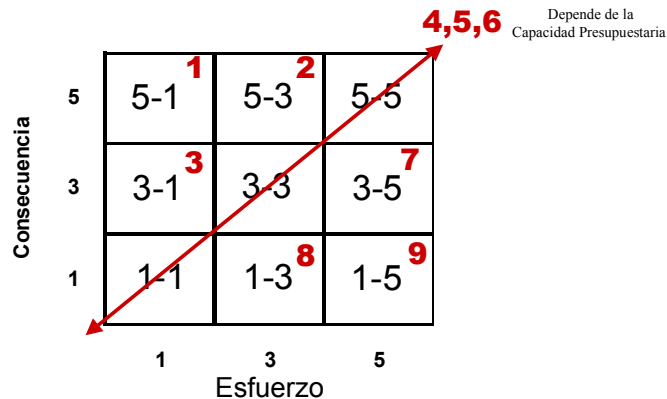
### **Análisis Esfuerzo Vs Consecuencia**

Según José, Duran (2.005), este tipo de análisis permite identificar el orden y las prioridades para organizar las oportunidades que existen en nuestras instalaciones, mediante una serie de parámetros considerados, los cuales son:

- a. Detección de los eventos crónicos o fallas recurrentes en las instalaciones.
- b. Identificación de la consecuencia asociada a cada evento crónico, tomando en consideración el impacto en la producción, costos de reparación tanto materiales como horas hombres, impacto en la Seguridad, Higiene y Ambiente. Para ello en la matriz se realiza una ponderación de 5 si la consecuencia es alta, 3 si es media y 1 si es baja.
- c. Identificación del esfuerzo para resolver o eliminar el evento crónico, tomando en cuenta los costos para eliminar el problema, el tiempo fuera de servicio, costos de materiales, repuestos y horas hombre, a este parámetro también se le da la ponderación igual a las consecuencias, 5 para un esfuerzo alto, 3 para un esfuerzo medio y 1 cuando es bajo.

- d. Para la prioridad se utiliza una matriz adicional, en la cual se toma en cuenta la Consecuencia y el Esfuerzo de un evento, la cual se muestra en la Figura #2:

**Figura #2.**  
Matriz de Prioridades.



Fuente: PDVSA San Tomé (2005)

Donde, se toma como prioritario el evento que posee una consecuencia alta, con valor de cinco (5) y un esfuerzo bajo, con valor de uno (1), debido a que es una falla que podría traer consecuencias catastróficas de índole de seguridad, Higiene, producción y/o costos, y la ultima falla a resolver, es la que posea una consecuencia baja, con valor de uno (1) y un esfuerzo alto, con valor de cinco (5), debido a que es una falla menor, sin mayores consecuencias, pero el esfuerzo para remediarla es costoso.

Con respecto a los eventos que contengan la consecuencia y el esfuerzo igual, es decir 1-1, 3-3, 5-5, poseen el mismo peso, estos van a ser atacados dependiendo del nivel presupuestario de la Organización, debido a que el impacto y los costos son iguales relativamente.

### **Cálculo de Riesgo.**

Según José, Duran (2.005), permite jerarquizar problemas repetitivos de procesos, instalaciones y equipos, en función de su impacto, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

Este análisis consta de una Matriz, la cual se construye con los eventos crónicos listados en la matriz de Esfuerzo Vs Consecuencia y se desarrolla en función de los eventos prioritarios, toma en cuenta los siguientes factores:

- *Función deseada del equipo o sistema:* Se describe brevemente la función que debe realizar el equipo o sistema en condiciones normales.
- *Evento crónico presente:* Normalmente es lo contrario a la función deseada, es decir, lo que deja de hacer el equipo o sistema.
- *Modo de Falla:* Se coloca el evento crónico como tal, es decir, la causa de la falla.
- *Frecuencia anual (F):* Se coloca el número de veces aproximado de ocurrencia del evento en el periodo de 1 año.
- *Consecuencia (C):* Se suman los costos asociados a horas hombre, equipos, materiales, penalizaciones y producción afectada por la falla o evento.
- *Riesgo (R):* Se realiza el cálculo matemático de la frecuencia por la Consecuencia,  $R=F \times C$ .

**Tabla # 2.**  
Tabla de Cálculo de Riesgo

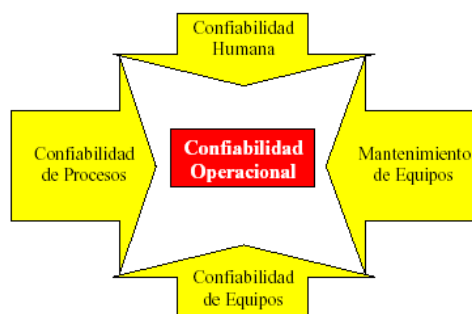
FUNCIÓN DESEADA	EVENTO	MODO	FRECUENCIA ANUAL	CONSECUENCIA	RIESGO
COMPORTAMIENTO IDEAL DEL ISED	CONTRARIO AL ANTERIOR	COMO SE EVIDENCIA LA FALLA	CUANTAS VECES AL AÑO	IMPACTO MONETARIO	$R=F \times C$

Fuente: Elaboración propia. (2006)

### **Análisis de Criticidad.**

Según documentación PDVSA CIED (2000), es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad de un activo o sistema, basado en la realidad actual. El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro (04) aspectos fundamentales: Confiabilidad Humana, Confiabilidad del Proceso, Confiabilidad del Diseño y la Confiabilidad del Mantenimiento (Ver figura #3).

**Figura #3.**  
Elementos de la Confiabilidad Operacional.



Fuente: PDVSA CIED. (1999)

Dicho análisis genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: Alta Criticidad, Mediana Criticidad y Baja Criticidad. Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

Para llevar a cabo el Análisis de Criticidad, se deben ponderar los valores concernientes a:

1. La Frecuencia de Fallas: Se tomaron los datos cargados en el sistema SAP, para el período desde Enero 2004 hasta Diciembre del año 2.005.
2. Los Costos de Mantenimiento Correctivo (CM) por subsistema se obtendrán del SAP. Cada estación tiene asignada una ubicación técnica, en la cual se guardan todos aquellos datos que le conciernen a la estación en general, aquellos equipos que no poseen esta ubicación, por ejemplo bomba de agua contra incendios, la información también es guardada en esta dirección. Generalmente los equipos que tienen creada su ubicación técnica son los Tanques de Lavado, Tanque de Almacenamiento de Crudo y Agua Salada, las Bombas de Crudo y Agua Salada, los Calentadores u Hornos, los Separadores y Tanque de Agua Industrial.
3. El Impacto Operacional (IO), representa el impacto en barriles de producción (BNPD) que puede ocasionar la parada imprevista del subsistema en estudio.
4. El Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (ISHA) representa el impacto de un subsistema con respecto a este factor.

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones

que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. Desde el punto de vista matemático, la criticidad se puede expresar como:

### **Criticidad = Frecuencia x Consecuencia**

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado al año y, la consecuencia está referida al impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en Seguridad y Ambiente.

Los criterios para realizar un Análisis de Criticidad se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado. Para ello existen dos tablas de criterios, la Tabla #3 para la estación completa y la Tabla #4, para evaluar los equipos y/o sistemas por separado, ya que la frecuencia de una instalación no es igual que la frecuencia de un equipo, lo mismo pasa con los demás criterios a considerar. La tabla #3.1 la ponderación es igual para el impacto en SHA.

**Tabla #3**

Criterios para realizar el Análisis de Criticidad General en la Estación MED-20 del Distrito San Tomé – PDVSA

Frecuencia de Falla (FF)	Puntaje	Costo de Mantenimiento (CM)	Puntaje
Mayor a 9 fallas/año	4	Mayor a 10 MMBs.	10
Entre 6 y 8 fallas/año	3	Entre 4 y 9 MMBs.	7
Entre 3 y 5 fallas/año	2	Entre 2 y 3 MMBs.	5
Menos de 2 fallas/año	1	Costo Menor a 1 MMBs.	1

Impacto Operacional (IO)	Puntaje	Impacto en SHA (ISHA)	Puntaje
Afecta el 100% de la C.I(*)	25	Grave: 15	15
Afecta entre el 17 y 99% de la C.I(*)	20	Severo: entre 12 y 15	12
Afecta entre el 50 y 74% de la C.I(*)	15	Moderado: entre 10 y 12	10
Afecta entre el 25 y 49% de la C.I(*)	10	Bajo: entre 6 y 10	6
Afecta menos del 24% de la C.I(*)	1	Menor: entre 1 y 6	1

Fuente: PDVSA San Tomé (2000)



**Tabla #3.1**

Rangos de ponderación criterios de evaluación del Impacto en Seguridad Higiene y Ambiente (ISHA)

	<b>Criterio</b>	<b>Rango de Ponderación</b>
A	Presencia de poblaciones o pobladores	2.5
B	Condiciones físico naturales extraordinarias	4
C	Beligerancia de las comunidades	2
D	Presencia de cuerpos de agua, ubicación hoyo hidrográfica, o áreas bajo sistema (ABRAE*)	4
E	Presencia de instalaciones o facilidades de alto voltaje, tuberías de gas, pozos de gas lift, plantas compresoras de gas, estaciones de flujo, etcétera.	2.5
<b>Total</b>		15

\*Área Bajo Régimen de Administración Especial

Fuente: PDVSA San Tomé (2000)

**Tabla #4**

Criterios para realizar el Análisis de Criticidad Específico en las Estaciones de Producción U.E.Y Pesado Oeste, Distrito San Tomé – PDVSA

<b>Frecuencia de Falla (FF)</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Costo de Mantenimiento (CM)</b>	<b>Puntaje</b>
Mayor a 25 fallas/año	4	Mayor a 65 MMBs.	10
Entre 14 y 24 fallas/año	3	Entre 35 y 64 MMBs.	7
Entre 10 y 13 fallas/año	2	Entre 15 y 34 MMBs.	5
Menos de 09 fallas/año	1	Costo Menor a 14 MMBs.	1

<b>Impacto Operacional (IO)</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Impacto en SHA (ISHA)</b>	<b>Puntaje</b>
Mayor a 10.000 BPD	25	Grave: 15	15
Entre 5.001 y 10.000 BPD	20	Severo: entre 12 y 15	12
Entre 2.501 y 5.000 BPD	15	Moderado: entre 10 y 12	10
Entre 1.001 y 2.500 BPD	10	Bajo: entre 6 y 10	6
Menos de 1.000 BPD	1	Menor: entre 1 y 6	1

Fuente: PDVSA San Tomé (2000)

Por último, se realizó la Matriz de Criticidad, en la cual existen áreas bien definidas, como Alta Criticidad (color rojo), Media Criticidad (color amarillo) y Baja Criticidad (color blanco), como se muestra en la Figura #4.

**Tabla #5.**  
Costos de Mantenimiento, Frecuencia de Falla, Impacto Operacional, Impacto en SHA.

ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN	Frecuencia de Falla 2004	Producción Asociada (BNPD)	Costos de Mto Corretivo 2004 MMBs.	Frecuencia de Falla (FF)	CONSECUENCIAS			Total Consecuencia	Total Criticidad	Consecuencias Redondeadas	Factor Criticidad	JERARQUIZACIÓN
					Costo de Mantenimiento (CM)	Impacto Operacional (IO)	Impacto en SHA (ISHA)					
												CRITICO
												MEDIA CRITICIDAD
												BAJA CRITICIDAD

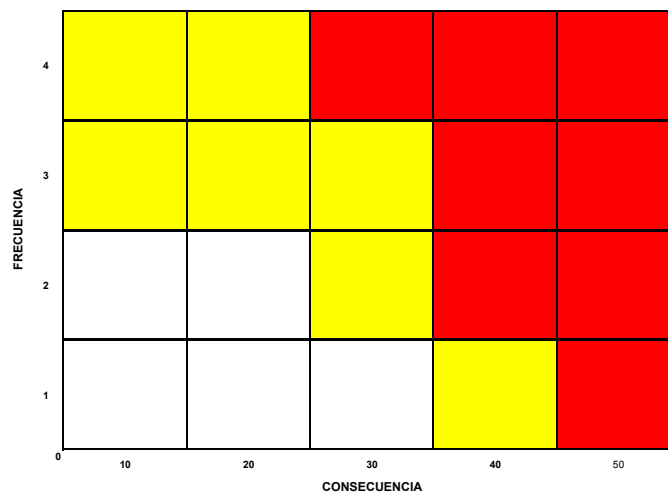
CRITICO: 1-50, 2-40, 2-50, 3-40, 3-50, 4-30, 4-40, 4-50

MEDIA CRITICIDAD: 1-40, 2-30, 3-10, 3-20, 3-30, 4-10, 4-20

BAJA CRITICIDAD: 1-10, 1-20, 1-30, 2-10, 2-20

Fuente: PDVSA San Tomé (2000)

**Figura #4.**  
Matriz de Criticidad



Fuente: PDVSA San Tomé (20002)

**Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)**

Según Zambrano Sony y Leal Sandra, (2005), está orientada a preservar las funciones de los activos, usando un enfoque sistemático, sistémico y sustentable, que ayude a resolver problemas de diseño en las instalaciones; también puede usarse en fases tempranas de ingeniería, además considera que una Falla “es igual a” una

condición insatisfactoria. Usa un algoritmo de decisión mejorado para identificar tareas de mantenimiento que han de ser aplicables, eficaces y económicamente factibles. Zambrano Sony y Leal Sandra (2005), señalan:

*“El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, que puede ser aplicado a cualquier tipo de instalación industrial, útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento. Se desarrolla bajo el concepto de restablecer la función del equipo más que de llevar al equipo a una condición ideal” (P. 36).*

Esta metodología permite desarrollar un plan de operaciones/mantenimiento que se adapte a las necesidades y condiciones actuales del activo, además que identifica tareas predictivas y preventivas justificadas por Costo-Riesgo-Beneficio, reconoce las causas raíces de falla y busca disminuir su ocurrencia y/o consecuencias, por lo menos un 70% de éstas que no se pueden prevenir o predecir permite identificar las modificaciones al diseño requeridas, los errores humanos y recomienda correcciones, identifica requerimientos de capacitación, creación y revisión de procedimientos, supervisión, desarrollo de planes de contingencia, identifica los repuestos críticos y situaciones donde la operación hasta la falla es lo más conveniente.

Para su implantación se requiere de cinco (5) pasos fundamentales, los cuales se listan a continuación:

**Paso 1. Conformación del equipo de trabajo:** Se realiza la selección del equipo de trabajo con experiencia en el proceso a evaluar; debe estar formado por personal de operación, mantenimiento y seguridad.

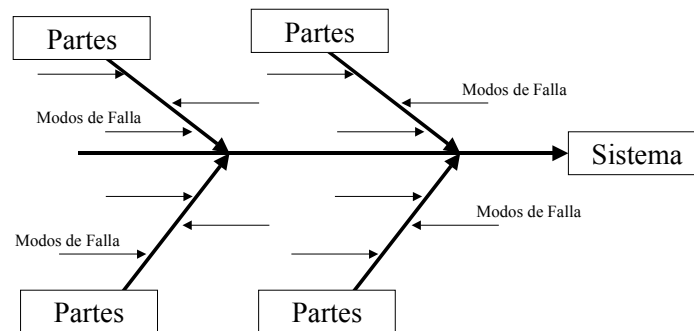
**Paso 2. Análisis Funcional:** Busca una mayor comprensión de los procesos y una unificación de criterios de operación. Consiste en la elaboración de las siguientes actividades:

- *Diagramas Entrada-Funciones-Salida:* Permite tener una visión “Helicóptero” del proceso.

- *Diagramas Funcionales*: Es un mapa de proceso simplificado, el cual proporciona mayor entendimiento del proceso, con una visión sistémica funcional permite identificar las principales funciones de la instalación.

**Paso 3. Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA):** Se hace un estudio profundo de los posibles modos/causas de falla de los sistemas, permitiendo esto la selección adecuada de tareas de mantenimiento. Utiliza la metodología de Causa Efecto o mejor conocido como “Espina de Pescado” para equipos principales identificando partes y modos de fallas. (Ver Fig. #5)

**Figura #5.**  
Diagrama Causa Efecto



Fuente: Elaboración propia. (2006)

**Paso 4. Análisis de Modos y Efectos de Falla y Criticidad (FMECA):** Busca identificar las causas raíces de falla, calcula el riesgo de los modos de falla, identifican las consecuencias y recomienda las tareas justo después de identificar los efectos de falla, lo cual permite establecer el orden de importancia por cada modo y causa de falla, observa en detalle las causas de falla y de inmediato describe las estrategias de mantenimiento para cada causa de falla.

**Tabla #6.**  
Análisis de Modos y Efectos de Fallas y Criticidad (FMECA)

Análisis de Modos Efectos de Falla y Criticidad Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Plus HOJA de FMECA No: de:		Consecuencias		S = Seguridad A= Ambiente O = Operación N = No Operacional H = Oculta N = Ninguna		Severidad (US\$)		1 Menos de 1k 2 de 1k a 10 k 3 de 11k a 100k 4 mas de 101k		Lesión leve Herida con Reporte Incapacidad Muerte	
Facilitador:		Equipo RCM No:		Sistema:		Función:		Subsistema:		Función:	
Fecha:		Planta:									
Verificado por:		Observaciones:						Equipo:		Función:	
No:	Componente/Parte	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, infantil,	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	C	S	Tarea Recomendada	Ejecutor	Frec.	
N'	Componente/Parte	Cualquier evento que genere o pueda generar fallas del equipo	Que ocasiona el modo de falla? Causa raiz	Cómo es el mecanismo de deterioro?	HP: Horas de parada afectando sist: TR: Tarea de reparacion: CR: Costos de reparacion: FA: Frecuencia anual: Sint: Sintomas del MF:	C H S A O N	S 1 2 3 4	Tarea Recomendada en contra de la causa o las consecuencias	Quien la debe hacer?	Cada cuanto?	
					HP: TR: CR: FA: Sint:	C H S A O N	S 1 2 3 4				

Fuente: PDVSA San Tomé (2000)



### **Categoría de Consecuencias de Fallas**

- **Falla Oculta:** Mayormente dispositivos de seguridad que no tienen detección inherente o respaldos de equipos.
- **Seguridad y Ambiente:** Ambiente Legislación ambiental (considerar solo impacto sin el efecto en dinero).
- **Falla Operacional:** Todo lo relacionado a costos de producción.
- **Falla No Operacional:** Costo de reparación para volver a la función.

### **Tareas Recomendadas**

- **Factibilidad Técnica.:** Las estrategias deben prevenir o mitigar las fallas, detectar las potenciales o descubrir las ocultas.
- **Efectividad:** Las tareas deben ser efectivas en la búsqueda de disminución o eliminación de los modos de falla (Fallas ocultas, Seguridad y Ambiente Operacional y No-Operacional)
- **Factibilidad Económica:** Las estrategias deberán estar al alcance de la tecnología disponible para la empresa así como debería ser la mejor opción en la relación Costo-Beneficio.
- **Tipos de Estrategias:** Proactivas (prolongación, predictivas y/o preventivas) Por Omisión (Cambio de diseño, operación hasta la falla)

**Paso 5. Control - Agrupado y Filtrado de Tareas:** En este paso se procede a agrupar las tareas generadas en los FMECA dependiendo de su disciplina, frecuencia, tipo de tarea o tipo de equipo. El filtrado se realiza con la finalidad de validar la factibilidad económica de las tareas recomendadas para la estimación de los beneficios a obtener con la realización de las tareas.

### **APT-Maintenance**

Según manual PDVSA (2002), la metodología de Optimización Costo-Riesgo (OCR) representa una vía altamente efectiva y eficiente para ejecutar estudios en un

tiempo relativamente rápido con resultados de gran impacto en la Confiabilidad del proceso. Las técnicas de OCR ayudan a modelar y analizar distintos escenarios, con el fin de poder determinar el momento oportuno de realizar una actividad (mantenimiento/inspección), conocer la viabilidad económica de algún proyecto y determinar el número óptimo de repuestos. Estos resultados permitirán optimizar el proceso de toma de decisiones de los diferentes procesos de gestión de la Confiabilidad dentro de PDVSA. El APT-Maintenance, es una herramienta que permite definir intervalos óptimos de mantenimiento, gerencia de deterioro, Confiabilidad, desempeño y efectos del ciclo de vida. (Ver Anexo A, para más detalles de la herramienta).



## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Según Hernández Sampieri (1.988), el diseño de la investigación, puede contemplar un diagnóstico sobre el clima organizacional para detectar oportunidades y áreas de mejora, ya que de este depende como se van a recolectar los datos y ser analizados, él clasifica al diseño de la investigación en experimental y no experimental, este último lo divide de acuerdo a lapsos de tiempo en lo que se recolectan los datos: En transeccional o transversal. La investigación del tipo transeccional se realiza una sola vez la medición a través del tiempo.

La investigación es del tipo transeccional, ya que los datos que se recolectan son en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Se dice que la investigación es de este tipo, debido a que los datos recolectados en campo se toman en un solo momento, no se realiza un monitoreo continuo del comportamiento de los equipos.

#### **MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

En el marco metodológico, se aplicó la formulación de estrategias que permiten obtener la información y los datos necesarios para desarrollar la investigación a través de procedimientos, técnicas y herramientas, las cuales permitirán cumplir con los objetivos propuestos

## **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

En el desarrollo de toda investigación debe quedar bien definido el tipo de la misma, y para poder hacer esta identificación se debe tener una clasificación general de los tipos de investigación.

“Una investigación se realiza para satisfacer una variedades de necesidades, el estudio se encamina a conocer los aspectos que permitan resolver mejor una situación concreta” Sabino Carlos.(1992) P. 58

Generalmente en toda investigación se persigue un propósito señalado, se busca un determinado nivel de conocimiento y se basa en una estrategia particular o combinada.

El tipo de investigación utilizada para el desarrollo del Tema se definirá de la siguiente forma:

### **Por el Propósito o Finalidades Perseguidas**

- **Investigación Aplicada.**

Según Zorrilla (1.993), Este tipo de investigación también recibe el nombre de práctica o empírica. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última; esto queda aclarado si se percata de que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico. Sin embargo, en una investigación empírica, lo que le interesa al investigador, primordialmente, son las consecuencias prácticas.

La investigación también es un Proyecto Factible, debido a que consiste en la elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para desarrollar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones y la misma se pondrá en práctica en la Empresa.

### **Por la Clase de Medios Utilizados para Obtener los Datos**

- **Investigación Documental.**

Según Tamayo (1995), “es aquella que se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos”. Se dice que esta investigación es de tipo documental, ya que es necesaria la revisión de fuentes bibliográficas para hacer los estudios previos para la solución del problema, la revisión de los libros de reporte diario de los operadores, mantenedores y manuales del fabricante, las cuales representan un punto fundamental de la investigación, debido a que se contó con un punto de partida en la investigación.

- **Investigación de Campo.**

Según Tamayo (1995), “este tipo de investigación se apoya en informaciones que provienen entre otras, de entrevistas, cuestionarios, encuestas y observaciones”. La investigación se basa en la recolección de datos en campo, como es el Diagrama Entrada – Función - Salida (E-F-S) de la Estación MED-20, historiales de fallas, parámetros operacionales, costos de mantenimiento, costos de producción, penalización, etcétera.

**Por el Nivel de Conocimientos que se Adquieren**

- **Investigación Descriptiva:**

Según Babbie (1.979) y Selltiz et al (1.965) este tipo de investigación, que utiliza el método de análisis, se logra caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, señalar sus características y propiedades. Combinada con ciertos criterios de clasificación sirve para ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo indagatorio. Esta investigación es descriptiva, ya que se trabaja sobre realidades de hechos y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta de la realidad.

**OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

**Tabla #7.**  
Operacionalización de variables.

Objetivos Específicos	VARIABLES	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores
Diagnosticar la situación actual y las condiciones de operación de los equipos mediante el Análisis de Esfuerzo Vs Consecuencia de Riesgo de las fallas presentes en la Estación MED-20 perteneciente a la U.F. Pesado Oeste del Distrito San...	MANTENIMIENTO	Duffua (2000 citado en Zambrano, 2005) define que "... es la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantiene en, o se restablece, un estado en el que puede realizar las funciones designadas. Es un factor importante en la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia para una competencia exitosa. La finalidad de preservar un activo en la operación de un equipo de producción dan por resultado una variabilidad excesiva en el producto y, en consecuencia, ocasionan una producción defectuosa. Para producir con un alto nivel de calidad, el equipo de producción debe operar dentro de las especificaciones, las cuales pueden alcanzarse mediante acciones oportunas de mantenimiento".	El mantenimiento es el conjunto de actividades desarrolladas con la finalidad de preservar un activo. Este se puede considerar como un sistema compuesto por actividades de mantenimiento en pro del beneficio de la organización.	CONFIABILIDAD	1.- El Tiempo Promedio Entre Fallas (TPEF): Que indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla, es decir, a mayor TPEF mayor es la confiabilidad de componente o equipo. 2.- La Probabilidad de Supervivencia $S(t)$ : Que es igual al complemento de la probabilidad de falla $Pf(t)$ . Si efectivamente el equipo está operando adecuadamente significa que no ha fallado: $Ps(t) = 1 - Pf(t)$ . 3.- La Rate de Fallas $r(t)$ : La cual se define, a efectos de Confiabilidad, como la probabilidad de falla inminente de un equipo al llegar a "t" horas de operación. La rata de fallas viene expresada en fallas por un intervalo de tiempo.
Realizar un Análisis de Criticidad con el fin de identificar el orden y la prioridad de ataque de las fallas presentes en los equipos de la Estación MED-20.		MANTENIBILIDAD	1.- Es la probabilidad de que un equipo que ha fallado pueda ser reparado dentro de un período de tiempo dado, cuando su mantenimiento es realizado de acuerdo con los procedimientos preestablecidos y se expresa $M(t) = 1/TPFS$		
Analizar los eventos crónicos de la Estación MED-20, mediante la utilización de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Optimizar los planes de Mantenimiento mediante el Software de Confiabilidad Operacional APT-Maintenance.		DISPONIBILIDAD	1.- Es la probabilidad constante de que un equipo esté disponible para su uso en cualquier momento a lo largo de un período calendario dado, y se expresa $D = (TPPF) / (TPEF + TPRP) * 100$		

Fuente: PDVSA San Tomé (2006)

Las variables representan a los elementos, factores o términos que pueden asumir diferentes valores cada vez que son examinados, o que reflejan distintas manifestaciones según sea el contexto en el que se presentan.

## **POBLACIÓN Y MUESTRA**

Todo sistema debe tener bien definidas sus fronteras o límites; de acuerdo con esto es necesario tomar en cuenta la población que está dentro de esos límites ya que es una fuente primordial de información sobre el sistema estudiado.

### **Población**

Se entiende por población a la totalidad del universo que interesa considerar, y que es necesario que esté bien definido para que se sepa en todo momento que elementos lo componen. (Mario Tamayo y Tamayo, 1998).

En este proyecto, la población está constituida por todas las Estaciones de descarga de la Unidad de Pesado Oeste, las cuales se muestran a continuación:

**Tabla #8.**  
Datos de la Población.

<b>POBLACIÓN</b>	<b>UNIDADES QUE CONFORMAN LA POBLACIÓN</b>
Estaciones de Descarga de la U.P Pesado Oeste Perteneciente al Distrito San Tomé.  MED-20, OEF-16, LED-13, MED-18, MED-5, BARED-1, MED-1, MED-15, MED-4, MED-8, OED-15, OED-20, OED-22, OED-23, OED-27, YED-4 y YED-6	Universo de equipos que conforman las Estaciones de Descarga de la U.P Pesado Oeste Perteneciente al Distrito San Tomé.  Bombas de Agua Salada, Motor de la Bomba de Agua Salada, Tanque de Agua Salada, Bomba de Crudo, Motor de la Bomba de Crudo, Tanque de Crudo, Bomba de diluyente, Motor de la Bomba de diluyente, Calentador Vertical, Horno, Múltiple de Crudo, Separador Horizontal, Separador Vertical, Tanque de Lavado.

FUENTE: Datos recopilados por la empresa, PDVSA. (2006)

## Muestra

Según Mario Tamayo y Tamayo, 1998, “La muestra descansa en el principio de que las partes representan al todo y, por tal, refleja las características que definen la población de la que fue extraída, lo cual indica que es representativa. Por lo tanto, la validez de la generalización depende de la validez y tamaño de la muestra.”

La muestra es de tipo intencionado, ya que se seleccionó a juicio del investigador porque se tiene un conocimiento previo de la población que se investiga, además de que la estación MED-20, es la que maneja la mayor producción de la Unidad de Pesado Oeste.

En este proyecto, la muestra está representada por la Estación de Descarga 20 (MED-20), en el área de Pesado, compuesta por las siguientes Etapas:

**Tabla #9.**  
Datos de la Muestra.

<b>MUESTRA</b>	<b>ETAPAS DE LOS PROCESOS QUE CONFORMAN LA MUESTRA</b>	<b>EQUIPOS QUE CONFORMAN LAS ETAPAS DE LA MUESTRA</b>
Estación de Descarga 20 (MED-20)	Múltiple de Crudo	1 Múltiple de Crudo
	Sistema de Separación	2 Separadores Horizontales 1 Separador Vertical #1
	Plantas de Agua Salada (PIAS)	6 Bombas de Agua Salada 6 Motores 3 Tanques de Agua Salada
	Sistema de Calentamiento	3 Calentadores Verticales 5 Hornos
	Sistema de Lavado	3 Tanques de Lavado de Crudo
	Sistema de Almacenamiento	6 Tanques de Almacenamiento de Crudo.
	Sistema de Bombeo	7 Bombas de Crudo 7 Motores

FUENTE: Datos recopilados por la empresa, PDVSA. (2006)

## **TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Un instrumento de recolección de datos es, en principio, cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información

### **Recolección de datos secundarios. Uso del sistema SAP-PM**

Los datos secundarios suelen encontrarse diseminados, ya que las fuentes escritas que los contienen corrientemente se dispersan en múltiples archivos y fuentes de información. La mayor parte de la información se recolecta de los distintos Departamentos relacionados con la operación y mantenimiento de los equipos de MED-20 en el Distrito San Tomé.

## **PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS**

A lo largo de todo el trabajo serán utilizados cálculos, métodos estadísticos, tablas, gráficos, y cuadros comparativos que harán posible una fácil comprensión de los datos utilizados en la corrida del programa y de los resultados de su aplicación.

Se tomarán en consideración costos por horas hombre, penalización, de materiales y los asociados con los diferentes tipos de mantenimiento.

Para la propuesta de mejora de los Planes de Mantenimiento del sistema que arroje mayor nivel de criticidad, será utilizado el software APT-Maintenance.

## **CONFIABILIDAD Y VALIDEZ**

Esta investigación busca establecer un conjunto de procedimientos técnicos que garanticen que los datos recogidos y las explicaciones o interpretaciones se aproximen a la realidad.

La validez no busca reproducir criterios para lograr la verdad última sobre los fenómenos. Tampoco, se orienta a establecer la congruencia o correspondencia entre las descripciones, interpretaciones o representaciones del investigador (teorías, hipótesis, estereotipos) y las del investigado. La validez busca dar cuenta de los procedimientos efectuados para demostrar ¿cómo se llegó a lo que se llegó?. En definitiva, cómo y bajo qué procedimientos se pueden llegar a establecer la objetivación, o esas verdades provisionales.

Por lo anteriormente expuesto se puede decir que “medir es el proceso de vincular conceptos abstractos con indicadores empíricos, mediante clasificación y/o cuantificación. Un instrumento de medición debe cubrir dos requisitos: confiabilidad y validez” (Sabino, Carlos 1992).

El concepto tradicional de "confiabilidad" implica que un estudio se puede repetir con el mismo método sin alterar los resultados, es decir, es una medida de la replicabilidad de los resultados de la investigación.

La confiabilidad dice que tan consistentes, exactos y estables son los resultados alcanzados al aplicar el instrumento y esta se puede verificar de diversas maneras.

Validez indica la capacidad de la escala para medir las cualidades para las cuales ha sido construida y no otras parecidas. Una escala confusa no puede tener validez, lo mismo que en una escala que esté midiendo, a la vez e indiscriminadamente, distintas variables superpuestas. Una escala tiene validez cuando verdaderamente mide lo que afirma medir (Sabino, Carlos 1992).



Una investigación tiene un alto nivel de validez si al observar, medir o apreciar una realidad, se observa, mide o aprecia esa realidad y no otra; es decir, que la validez puede ser definida por el grado o nivel en que los resultados de la investigación reflejan una imagen clara y representativa de una realidad o situación dada.

**Confiabilidad:** Se puede definir como la capacidad de un producto de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad se puede definir también como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

**Validez:** Criterio de calidad relacionado con la adecuación de las puntuaciones del test para el objetivo que suscitó su aplicación.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS**

El Análisis de Oportunidades de Mejora aplicado a Merey Estación de Descarga 20 (MED-20) de la Unidad de Pesado del Distrito San Tomé, muestra los sistemas con sus respectivos eventos crónicos veintiséis (26) en total, la Consecuencia (C) y el Esfuerzo (E) asociados a cada uno de estos, la Prioridad (P) (Ver Tabla #10) en la cual se observan dos (02) siglas. La primera muestra el orden en general para ser atacado el evento y la letra indica que existen varios eventos con la misma prioridad, que a su vez estos eventos se jerarquizan de tal modo que todos tengan un orden específico de impacto al negocio, esto con la finalidad de no proyectar o enfocar esfuerzos donde no es necesario, y atacar los eventos que realmente afectan la rentabilidad de la empresa.

Se observa que la Válvula reguladora de Gas en los separadores, posee una consecuencia alta (5) al momento de una falla, pero el esfuerzo que hay que aplicar es sumamente bajo (1), por lo que su prioridad es 1A, el disco de ruptura también tiene prioridad 1 pero jerarquizado en B, es decir 1B Esto indica que los dos tienen la misma importancia pero poseen un orden jerárquico para la solución de dicha problemática.

**Tabla #10.**  
Esfuerzo Vs Consecuencia MED-20

<b>ANALISIS ESFUERZO Vs CONSECUENCIA (MED-20)</b>				
<b>SistemaEMA</b>	<b>EVENTO</b>	<b>C</b>	<b>E</b>	<b>P</b>
MULTIPLE	Filtración por Corrosión	5	5	5B
SEPARADORES	Falla disco de ruptura	5	1	1B
	Sistema de control de Nivel	1	1	6C
	Contador separador de Prueba	1	1	6G
	Inyección de química	3	1	3C
	Válvula reguladora de gas flare	5	1	1A
HORNOS	Sistema de gas contaminado	5	3	2
	Válvula reguladora de gas	1	1	6A
	Transmisores de Presión y Temperatura.	1	1	6B
	Sistema. De Ignición	1	1	6D
	Quemadores	1	1	6E
TANQUE DE LAVADO	DP/CELL	1	1	6F
	Acumulación de sedimentos	5	5	5E
	Corrosión	5	5	5D
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	Reemplazo de Válvula	5	5	5C
	Válvula Trancada	1	1	6H
	Sedimentos en Tanque	5	5	5F
BOMBAS	Ruptura de Cigüeñal	3	5	7B
	Empaque	3	1	3A
	Barra rota	3	3	4
	Pistones fracturados	5	5	5A
	Filtración en válvula	1	1	6J
	Filtración por tapa	3	1	3B
	Desgaste de anillo	1	5	8
	Motor eléctrico	3	5	7A
	Fuga de aceite	1	1	6I

Fuente: Elaboración propia. (2006)

En la tabla #11 se muestra el análisis de riesgo de MED-20, se observan los costos asociados a cada uno de los eventos crónicos, donde el sistema de hornos, específicamente los quemadores, poseen unos costos elevados de 74 MMBs y una frecuencia de falla de 110. Otro de los eventos crónicos mejorables es el contador separador de prueba con una frecuencia anual de 25 fallas y unos costos asociados de 25 MMBs. En los Tanques de Lavado, el DP/CELL es otro de los eventos que posee mayor número de fallas con un total aproximado de 30 al año, y 12 MMBs anuales.

**Tabla #11.**  
Análisis de Riesgo MED-20

SISTEMA GENERAL	FUNCIÓN DESEADA	EVENTO	MODO	FREC. ANUAL	CONSECUENCIA	RIESGO (Bs.)
MULTIPLE:	Multiple:Distribuir la mezcla proveniente de los pozos	No distribuye la mezcla que proviene de los pozos	Filtración por corrosión	1	112 H-H x 100.000 Bs=11,2 MMBs Vaccum=128 MBs 01 Tubo=1,5 MMBs 02 Flange= 300 MBs Empc= 100 MBs	13.228.000,00
					13.228.000,00	
SEPARADOR: Separar el gas de la mezcla con una capacidad máxima de 35 MBI/día a una P= 60-30 PSI, mant óptimo (± 4')	Disco de ruptura: romperse cuando existe una sobrepresión en el separador y envía el crudo a la fosa	No se rompe cuando existe una sobrepresión en el separador y envía el crudo a la fosa	Falla disco de ruptura	3	12 hrs x 100.000=1,2 MMBs Vaccum= 80 MBs x 10 Hrs= 800 MBs	6.000.000,00
					2.000.000,00	
	Control de Nivel: Controlar el nivel de la mezcla	No controla el nivel de la mezcla	Bajo nivel, embuchamiento, deficiencia de producción	2	8H-H x 100.000 Bs= 8 MMBs Mat= 1 MMBs Vaccum= 0,48 MMBs	4.560.000,00
					2.280.000,00	
	Contador separador de Prueba: Contabilizar la mezcla	No contabiliza.	Nivel del tanque.	25	4H-H x 100.000 Bs = 400.000 Bs Rotor= 600.000 Bs	25.000.000,00
					1.000.000,00	
Inyección de Química: Inyectar química en el Separador	No realiza la inyección de la química en el separador	Ruptura de línea gas combustible y línea de descarga de inyección, alto corte de agua	6	4H-H x 100.000 Bs = 400.000 Bs Mat=300.000Bs Química 1.000.000 Bs	10.200.000,00	
				1.700.000,00		
Válvula Reguladora de Gas flamee: Regular el gas que se dirige al Flamee	No regula el gas que se dirige al Flamee	Aumento de nivel del separador (embuchamiento)	1	4H-H x 100.000 Bs = 400.000 Bs Vaccum= 50.000 x 8Hrs= 400.000 Bs	800.000,00	
				800.000,00		
HORNO: Eleva y mantener la temperatura del crudo entre 185 y 200°F	Sistema de Gas: Suministro de gas combustible del horno	Sistema de Gas: No suministra gas combustible del horno	Apagado parcial de los quemadores, baja temperatura falla en la válvula de control	4	36 H-H x 100.000=	14.400.000,00
					3.600.000,00	
	Válvula Reguladora de Gas: Regular el gas que llega a los calentadores	No regula el gas	Apagado total del horno	1	4H-H x 100.000 Bs = 400.000 Bs Mat= 2.500.000 Bs	2.900.000,00
					2.900.000,00	
	Transmisores de Presión y Temperatura:	No transmite la presión y temperatura del horno.	Apagado total del horno	3	4H-H x 100.000 Bs = 400.000 Bs Mat= 3.000.000 Bs	10.200.000,00
					3.400.000,00	
Sistema de Ignición: Producir la llama para encender los quemadores.	No produce la llama para encender los quemadores.	Visual, quemadores apagados	10	4H-H x 100.000 Bs	4.000.000,00	
				400.000,00		
Quemadores: Mantener la llama en el horno.	No mantienen la llama en el horno.	Baja temperatura del crudo (reparar quemadores)	100	4H-H x 100.000 Bs	40.000.000,00	
				400.000,00		
		Baja temperatura del crudo (reemplazar)	10	4H-H x 100.000 Bs Mat= 3.000.000 Bs	34.000.000,00	
				3.400.000,00		

Fuente: Elaboración Propia. (2006)

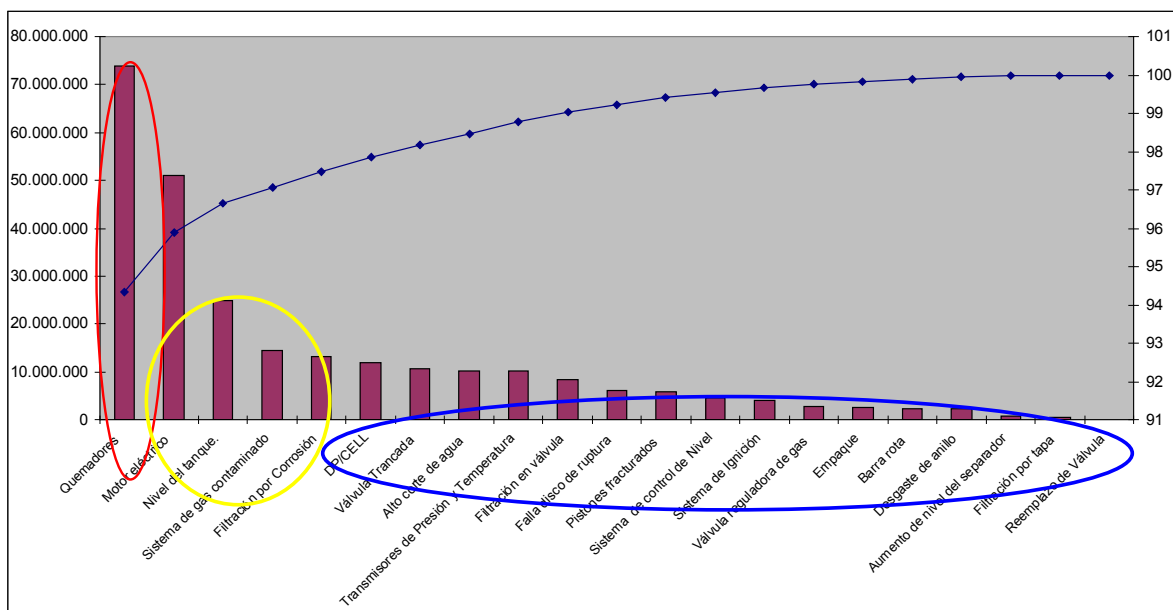
**Tabla #11. (Continuación)**  
Análisis de Riesgo MED-20

SISTEMA GENERAL	FUNCIÓN DESEADA	EVENTO	MODO	FREC. ANUAL	CONSECUENCIA	RIESGO (Bs.)
<b>TANQUE. LAVADO:</b> Controlar separación de curso y agua a 0.8%	DP/CELL: Controlar el nivel del colchón de agua en el tanque.	No controla el nivel del colchón de agua en el tanque.	Alto o bajo nivel en el tanque, alto porcentaje de agua en el crudo	30	4H-H x 100.000 Bs 400.000,00	12.000.000,00
	TANQUE. Lavado: Realiza el proceso de deshidratación del crudo.	No realiza el proceso de deshidratación del crudo	Baja temperatura en la parte inferior del tanque (táctil)	0,1	Costo general, por licitación 350.000.000,00	350.000.000,00
			Láminas deterioradas, fugas	0,1	Costo general, por licitación 1.500.000.000,00	1.500.000.000,00
	TANQUE. Almacenamiento: Almacena el crudo ya limpio.	Sedimento en Tanque	Baja temperatura en la parte inferior del tanque (táctil)	0,1	Costo general, por licitación 350.000.000,00	350.000.000,00
<b>BOMBAS:</b> Bombeo a 10.000 Bls diarios	Eje o Rotor: Dar movimiento giratorio a la bomba	La bomba no gira.	Ruptura de Cigüeñal	0,1	Bomba 300.000.000 Bs 56 H-H x 100.000 Bs= 5.600.000 Bs Grúa 50.000 Bs x 7 Hrs = 3.500.000 Bs 309.100.000,00	309.100.000,00
	Empaque: Evitar fugas del fluido	No evita fugas del fluido	Inspección visual	6	4H-H x 100.000 Bs= 400.000 Bs 2 lbs de paking= 100.000Bs 410.000,00	2.460.000,00
	Barra: Dar movimiento a los pistones	No le da movimientos a los pistones	Barra rota	2	Barra= 1.000.000 Bs 2H-H x 100.000 Bs = 200.000 Bs 1.200.000,00	2.400.000,00
	Pistones: Succionar y descargar el fluido	No succiona ni descarga el fluido	Bomba trancada	1	Pistón= 1.000.000 Bs, Camisa= 3.000.000 Bs Barra= 1.000.000 Bs Anillo= 1.000.000 Bs 6H-H x 100.000 Bs= 600.000 Bs 5.900.000,00	5.900.000,00
	Válvula: Succionar y descargar el fluido	No succiona ni descarga el fluido	Deficiencia en bomba, presencia de ruido, filtración	1	24 H-H x 100.000 Bs= 2.400.000 8 acientos= 6.000.000 8.400.000,00	8.400.000,00
	Tapa: Evitar fugas del fluido	No evita fugas del fluido	Inspección visual, filtración	2	2 H-H x 100.000Bs = 200.000 Bs Mat= 10.000 Bs 210.000,00	420.000,00
	Anillo: Evitar fugas del fluido	No evita fugas del fluido	Sala de control, deficiencia en el bombeo, desgaste del anillo	1	6 H-H x 100.000Bs = 600.000 Bs 20 anillos x 80.000 Bs= 160.000 Bs 2.200.000,00	2.200.000,00
	Motor eléctrico: Dar energía eléctrica a la bomba.	No le suministra energía a la bomba.	Motor eléctrico quemado	0,3	8 H-H x 100.000 Bs= 800.000Bs Brazo Hidráulico 4 x 50.000Bs = 200.000 Bs Motor eléctrico 150 HP= 50.000.000 51.000.000,00	51.000.000,00

Fuente: Elaboración Propia. (2006)

En función a los resultados del cálculo de riesgo de los diferentes eventos presentes en los equipos y/o sistemas de MED-20, se elaboró un Diagrama de Parteto, con la finalidad de ver las fallas que tienen mayor impacto en el negocio, con sus costos acumulados en el tiempo. En la Gráfica #1 se muestran dichos resultados:

**Gráfica #1.**  
Pareto del Análisis de Esfuerzo Vs Consecuencia MED-20.



Fuente: Elaboración propia. (2006)

Se puede observar que los quemadores de los hornos, los motores eléctricos de las bombas y el medidor de nivel de los tanques, son los eventos que generan mayor pérdida anual a la Unidad de Producción Pesado.

Para la realización del Análisis de Criticidad en MED-20, se llevó a cabo dos estudios. El primero para identificar la criticidad (Alta, Media y Baja Criticidad) de la estación y el segundo para identificar la criticidad de todos los equipos de la estación. Es importante resaltar que se asumió la instalación total como un sistema.

A través de las reuniones planificadas con el grupo de trabajo de la U.P Pesado, se recopiló la información necesaria para llevar a cabo el Análisis de Criticidad. Se evaluaron los cuatro (04) factores detallados en el capítulo anterior (Frecuencia de Fallas (FF), Impacto Operacional (IO), Costos de Mantenimiento Correctivo (CM) e Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (ISHA)). Los sistemas y subsistemas identificados para este análisis y los datos de la Frecuencia de Fallas e Impactos asociados (operacional, SHA y Costos de Mantenimiento Correctivo) se indican en la Tabla #12

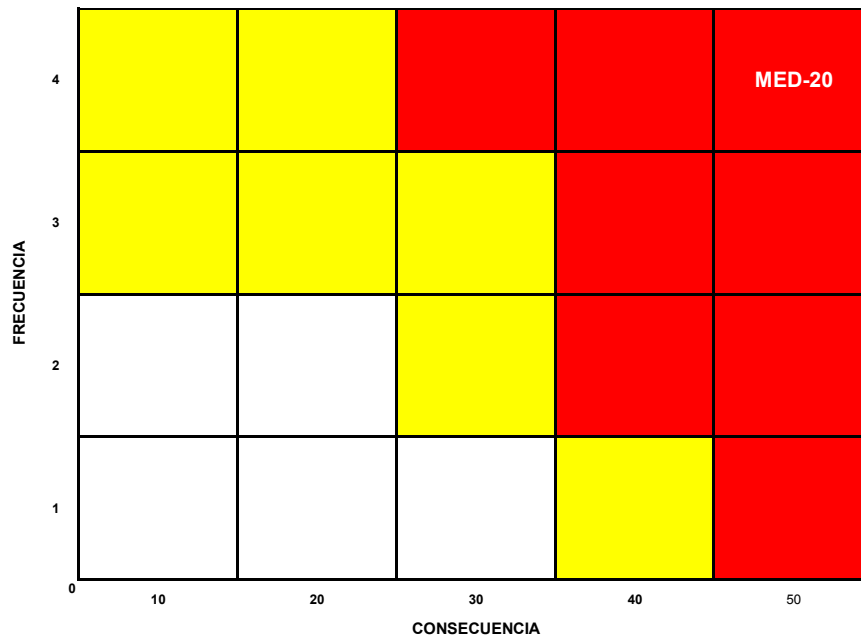
**Tabla #12.**  
Jerarquización de Criticidad MED-20

ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN	Frecuencia de Falla 2004	Producción Asociada (BNPD)	Costos de Mto Corctivo 2004 MMBs.	Frecuencia de Falla (FF)	CONSECUENCIAS			Total Consecuencia	Total Criticidad	Consecuencias Redondeadas	Factor Criticidad	JERARQUIZACIÓN
					Costo de Mantenimiento (CM)	Impacto Operacional (IO)	Impacto en SHA (ISHA)					
MED-20	99	43.000	781.21	4	10	25	15	50	200	50	4--50	CRITICA

Fuente: Elaboración propia (2006)

La estación evaluada se ubicó en la matriz de criticidad como CRÍTICA, ya que presentó una alta frecuencia de fallas de cuatro (04) y en la sumatoria de la ponderación de los factores Impacto Operacional, Costos de Mantenimiento correctivo e ISHA, que son el equivalente a las consecuencias de la estación, obtuvo el valor máximo de cincuenta (50). (Ver Fig. # 6).

**Figura #6.**  
Matriz de Criticidad MED-20



**LEYENDA:**

<b>CRÍTICO:</b>	1-50, 2-40, 2-50, 3-40, 3-50, 4-30, 4-40, 4-50
<b>MEDIA CRITICIDAD:</b>	1-40, 2-30, 3-10, 3-20, 3-30, 4-10, 4-20
<b>BAJA CRITICIDAD:</b>	1-10, 1-20, 1-30, 2-10, 2-20

Fuente: Elaboración propia (2006)

Para el Análisis de Criticidad específico para cada estación, se ponderaron los valores concernientes a la Frecuencia de Fallas, Impacto Operacional, Costos de Mantenimiento Correctivo e ISHA, para ser vaciados en una hoja de cálculo que generó una tabla con todos los subsistemas jerarquizados de acuerdo con su criticidad. De igual manera, se produce una matriz de criticidad con áreas bien definidas CRÍTICO (rojo), MEDIA CRITICIDAD (amarillo) y BAJA CRITICIDAD (blanco).

La recopilación de la información concerniente a la Frecuencia de Fallas y los Costos de Mantenimiento Correctivo en los subsistemas se tomaron de la data



cargada en el sistema SAP-PM, tomando como premisa los costos de mantenimiento correctivo.

El Impacto Operacional (IO) por subsistema en las estaciones de producción es mínimo en su gran mayoría, debido a que la falla de un subsistema provoca el diferimiento de la producción, mas no la pérdida de la misma. Al igual que el impacto en SHA.

En esta estación se identificaron once (11) subsistemas Críticos en los cuales la Frecuencia de Fallas fue alta con un valor de cuatro (04), un Costo de Mantenimiento correctivo e impacto en SHA de diez (10) y el Impacto Operacional fue mínimo con un valor de uno (01).

Dentro de la categoría de Media Criticidad se ubicaron diecinueve (19) subsistemas, en los cuales trece (13) de ellos tuvieron una Frecuencia de Fallas alta con un valor de cuatro (04), cuatro (04) con una Frecuencia de falla media de tres (03) y dos (02), una Frecuencia de Fallas de baja de dos (02), pero la sumatoria de las consecuencias (Impacto Operacional, Costos de Mantenimiento correctivo e ISHA) fue entre veinte (20) y treinta (30.)

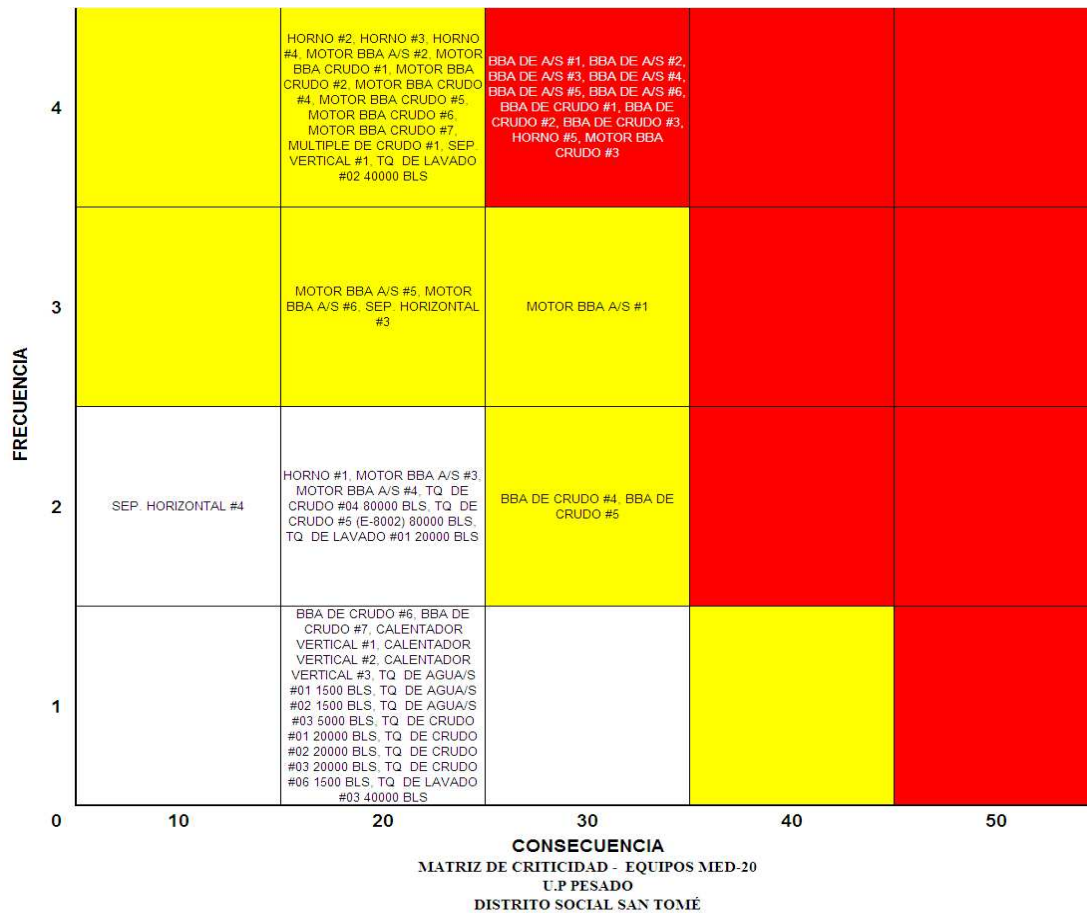
En el renglón de Baja Criticidad, se encontraron veinte (20) subsistemas de los cuales siete (07) tuvieron una Frecuencia de Fallas media de dos (02). Sin embargo el Impacto Operacional y el factor de los Costos de Mantenimiento correctivo fue bajo con un valor de uno (01), pero el impacto en Seguridad Higiene y Ambiente (ISHA) presentó ponderaciones entre diez (10) y quince (15), dando un total de consecuencias de veinte (20). El resto de los subsistemas (13). Obtuvieron una frecuencia de fallas mínima de uno (01) y un total de consecuencias no mayor a veinte (20). (Ver Fig. # 7).

**Figura #7.**  
Jerarquización de Criticidad específico de MED-20

SUBSISTEMAS	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	PESADO - DISTRITO SOCIAL SAN TOME					CONSECUENCIAS REDONDEADAS	FACTOR CRITICIDAD	JERARQUIZACIÓN
			FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SHA	TOTAL CONSECUENCIAS	NIVEL DE CRITICIDAD			
BOMBA DE A/S #1	4	1	1	10	15	26	104	30	4-30	CRÍTICO
BOMBA DE A/S #2	4	1	1	10	15	26	104	30	4-30	CRÍTICO
BOMBA DE A/S #3	4	1	1	10	15	26	104	30	4-30	CRÍTICO
BOMBA DE A/S #4	4	1	1	7	15	23	92	30	4-30	CRÍTICO
BOMBA DE A/S #5	4	1	1	10	15	26	104	30	4-30	CRÍTICO
BOMBA DE A/S #6	4	1	1	5	15	21	84	30	4-30	CRÍTICO
BOMBA DE CRUDO #1	4	1	1	10	10	21	84	30	4-30	CRÍTICO
BOMBA DE CRUDO #2	4	1	1	10	10	21	84	30	4-30	CRÍTICO
BOMBA DE CRUDO #3	4	1	1	10	10	21	84	30	4-30	CRÍTICO
HORNO #5	4	1	1	10	10	21	84	30	4-30	CRÍTICO
MOTOR BOMBA CRUDO #3	4	1	1	10	10	21	84	30	4-30	CRÍTICO
HORNO #2	4	1	1	5	10	16	64	20	4-20	MEDIA CRITICIDAD
HORNO #3	4	1	1	5	10	16	64	20	4-20	MEDIA CRITICIDAD
HORNO #4	4	1	1	7	10	18	72	20	4-20	MEDIA CRITICIDAD
MOTOR BOMBA A/S #2	4	1	1	1	15	17	68	20	4-20	MEDIA CRITICIDAD
MOTOR BOMBA CRUDO #1	4	1	1	1	10	12	48	20	4-20	MEDIA CRITICIDAD
MOTOR BOMBA CRUDO #2	4	1	1	5	10	16	64	20	4-20	MEDIA CRITICIDAD
MOTOR BOMBA CRUDO #4	4	1	1	1	10	12	48	20	4-20	MEDIA CRITICIDAD
MOTOR BOMBA CRUDO #5	4	1	1	1	10	12	48	20	4-20	MEDIA CRITICIDAD
MOTOR BOMBA CRUDO #6	4	1	1	1	10	12	48	20	4-20	MEDIA CRITICIDAD
MOTOR BOMBA CRUDO #7	4	1	1	1	10	12	48	20	4-20	MEDIA CRITICIDAD
MULTIPLE DE CRUDO #1	4	1	1	10	6	17	68	20	4-20	MEDIA CRITICIDAD
SEPARADOR VERTICAL #1	4	1	1	10	6	17	68	20	4-20	MEDIA CRITICIDAD
TANQUE DE LAVADO #02 40000 BLS	4	1	1	1	10	12	48	20	4-20	MEDIA
MOTOR BOMBA A/S #1	3	1	1	5	15	21	63	30	3-30	MEDIA CRITICIDAD
MOTOR BOMBA A/S #5	3	1	1	1	15	17	51	20	3-20	MEDIA CRITICIDAD
MOTOR BOMBA A/S #6	3	1	1	1	15	17	51	20	3-20	MEDIA CRITICIDAD
SEPARADOR HORIZONTAL #3	3	1	1	7	6	14	42	20	3-20	MEDIA CRITICIDAD
BOMBA DE CRUDO #4	2	1	1	10	10	21	42	30	2-30	MEDIA CRITICIDAD
BOMBA DE CRUDO #5	2	1	1	10	10	21	42	30	2-30	MEDIA CRITICIDAD
HORNO #1	2	1	1	5	10	16	32	20	2-20	NO CRÍTICO
MOTOR BOMBA A/S #3	2	1	1	1	15	17	34	20	2-20	NO CRÍTICO
MOTOR BOMBA A/S #4	2	1	1	1	15	17	34	20	2-20	NO CRÍTICO
TANQUE DE CRUDO #04 80000 BLS	2	1	1	1	10	12	24	20	2-20	NO CRÍTICO
TANQUE DE CRUDO #5 (E-8002) 80000 BLS	2	1	1	1	10	12	24	20	2-20	NO CRÍTICO
TANQUE DE LAVADO #01 20000 BLS	2	1	1	1	10	12	24	20	2-20	NO CRÍTICO
SEPARADOR HORIZONTAL #4	2	1	1	1	6	8	16	10	2-10	NO CRÍTICO
BOMBA DE CRUDO #6	1	1	1	5	10	16	16	20	1-20	NO CRÍTICO
BOMBA DE CRUDO #7	1	1	1	7	10	18	18	20	1-20	NO CRÍTICO
CALENTADOR VERTICAL #1	1	1	1	1	15	17	17	20	1-20	NO CRÍTICO
CALENTADOR VERTICAL #2	1	1	1	1	15	17	17	20	1-20	NO CRÍTICO
CALENTADOR VERTICAL #3	1	1	1	1	15	17	17	20	1-20	NO CRÍTICO
TANQUE DE AGUA/S #01 1500 BLS	1	1	1	1	15	17	17	20	1-20	NO CRÍTICO
TANQUE DE AGUA/S #02 1500 BLS	1	1	1	1	15	17	17	20	1-20	NO CRÍTICO
TANQUE DE AGUA/S #03 5000 BLS	1	1	1	1	15	17	17	20	1-20	NO CRÍTICO
TANQUE DE CRUDO #01 20000 BLS	1	1	1	1	10	12	12	20	1-20	NO CRÍTICO
TANQUE DE CRUDO #02 20000 BLS	1	1	1	1	10	12	12	20	1-20	NO CRÍTICO
TANQUE DE CRUDO #03 20000 BLS	1	1	1	1	10	12	12	20	1-20	NO CRÍTICO
TANQUE DE CRUDO #06 1500 BLS	1	1	1	1	10	12	12	20	1-20	NO CRÍTICO
TANQUE DE LAVADO #03 40000 BLS	1	1	1	1	10	12	12	20	1-20	NO CRÍTICO

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Figura #8.**  
Matriz de Criticidad específico de MED-20



Fuente: Elaboración propia. (2006)

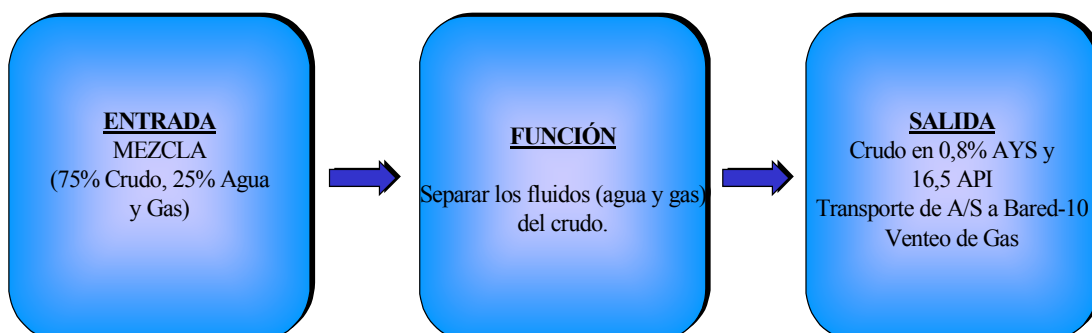
El Análisis de Criticidad muestra el sistema que se le debe desarrollar el plan de mantenimiento con rapidez. Esta evaluación no solo se basa en la afectación de la producción, sino en el ambiente, frecuencia de fallas, costos de mantenimiento, entre otros, debido a que no solo los equipos que afectan producción son los críticos.

El estudio de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), permitió controlar la ocurrencia de eventos críticos con la realización de una serie de tareas recomendadas, optimizando de esta manera los Planes de Mantenimiento de cada uno

de los sistemas y por ende de la estación MED-20. Para llevar a cabo la metodología se creó un equipo multidisciplinario, con la finalidad de obtener de forma rápida la información necesaria, a través de la experiencia de los ingenieros, inspectores, supervisores, operadores, entre otros, con respecto a la realización de las actividades de mantenimiento, recursos necesarios, tiempo promedio de reparación y costos. Las reuniones con el equipo de trabajo se realizaron los días Miércoles a la 08:00 a.m. Lo conformaba el personal de Mantenimiento Operacional y de Operaciones, de Mantenimiento y Extracción, Planificación, Electricistas, Instrumentación, y Sala de Control.

Para iniciar el MCC de MED-20 fue necesario realizar un Diagrama Entrada–Función–Salida (E-F-S), con la finalidad de visualizar de manera fácil el sistema en general, todo esto para que las tareas recomendadas vayan a la par con la función de la estación. En la entrada del diagrama se consideraron factores como los insumos, los servicios y controles de la instalación, en la Función, se visualiza el objeto de la estación y en la Salida, los productos primarios, secundarios, desechos, controles y alarmas. (Ver Fig. #9)

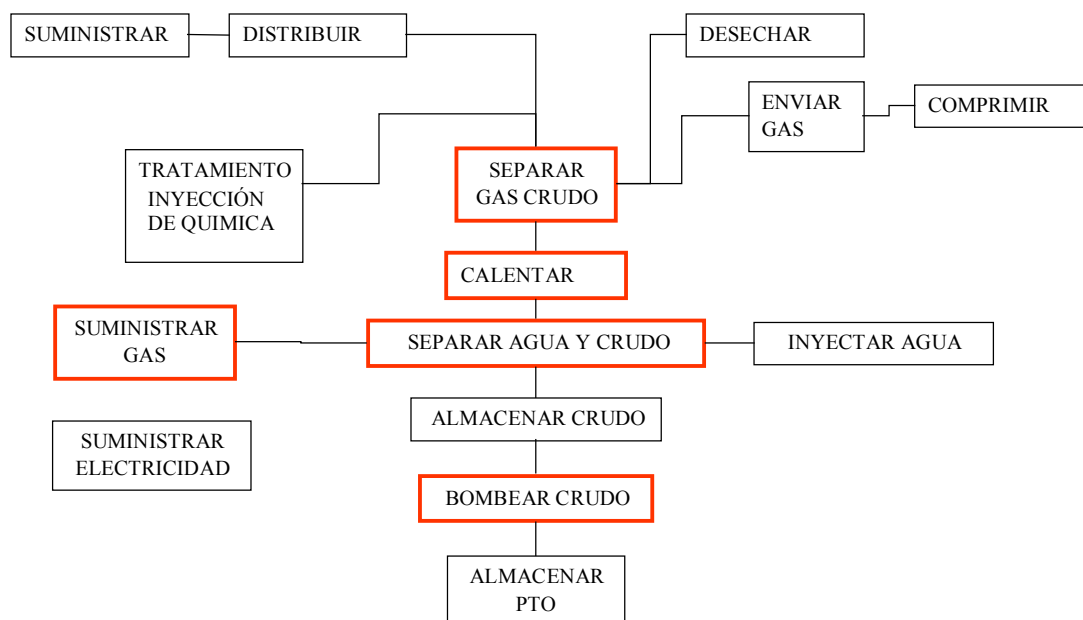
**Figura #9.**  
Diagrama E-F-S de MED-20



Fuente: Elaboración propia. (2006)

Luego se realizó el Diagrama Funcional de la estación, donde se visualiza de forma global el funcionamiento de cada uno de los sistemas, y su afectación aguas arriba o aguas debajo del mismo. Dicho diagrama se presenta en bloques, y la acción que genera un sistema sobre otro (Ver Fig. #10).

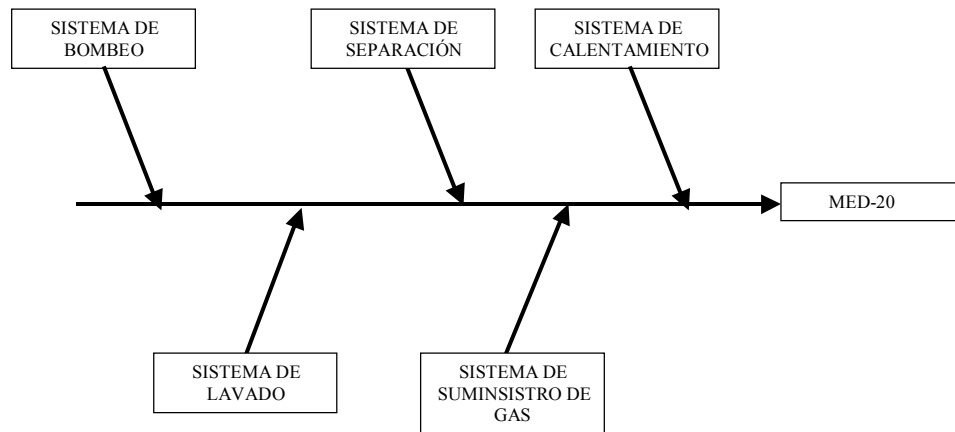
**Figura #10.**  
Diagrama E-F-S de MED-20



Fuente: Elaboración propia. (2006)

Para el desarrollo del MCC en MED-20 fue necesario la identificación de los posibles modos de falla por sistemas y sub-sistemas, permitiendo la selección adecuada de tareas de mantenimiento. Para ello se utilizó la metodología de “Espina de Pescado” a los equipos principales identificando partes y modos de fallas. En la Fig. #11 se muestra el diagrama principal de MED-20. En el Apéndice A, se muestra el detalle de los sistemas y sus posibles modos de fallas.

**Figura #11.**  
Diagrama Causa Efecto de MED-20



Fuente: Elaboración propia. (2006)

El Análisis de Modos y Efectos de Falla y Criticidad (FMECA) se realizó con la finalidad de establecer el orden de importancia de cada modo y causa de falla y observar en detalle las causas de falla para establecer de inmediato las estrategias de mantenimiento para cada causa de falla. Como se mencionó anteriormente estas tareas pueden ser Predictivas, Preventivas, Detectivas, de Prolongación, Operar hasta la Falla o Rediseño, según sea el caso. En el Apéndice B, se muestra el FMECA de cada uno de los sistemas de la Instalación, con sus tareas recomendadas, el ejecutor de la misma y la frecuencia para realizarla.

Una vez obtenidos los resultados del estudio de MCC, se realizó la agrupación de tareas. Esta puede ir desglosada bien sea por disciplina, por frecuencia, por tipo de tarea o por tipo de equipo. En este caso las tareas se agruparon por equipo y Disciplina, para un mayor entendimiento y desarrollo de la actividad de mantenimiento. Para este caso se tomó la opción de agrupar las tareas por disciplina.

El Software APT-Maintenance es una de las herramientas que permitió optimizar los costos, debido a que definió los intervalos óptimos de mantenimiento, gerencia del deterioro, confiabilidad, desempeño y efectos del ciclo de vida. Los parámetros suministrados en la herramienta de confiabilidad, al igual que sus pantallas con los resultados, no serán mostrados en el presente estudio, debido a políticas de la empresa, los cuales se especifican en las limitación de dicha investigación. Solo se dará la siguiente información:

**Descripción de tarea.**

- ◆ Tipo de análisis a realizar: Optimización del Intervalo de Mantenimiento Preventivo a los equipos de MED-20.
- ◆ Tarea de Mantenimiento: Preventivo, Predictivo, Prolongación, Detectivas o Rediseño.
- ◆ Moneda utilizada para el análisis: Bolívares (Bs).
- ◆ Intervalo actual de mantenimiento que se le realiza al equipo (Mostrado en el FMECA por cada sistema).
- ◆ Descripción del equipo a evaluar (Mostrado en el FMECA por cada sistema, en el tiempo de la tarea recomendada).
- ◆ Unidad de Tiempo para el análisis estos cinco (05) años.
- ◆ Costos relacionados a Materiales y labor (Mostrado en el FMECA por cada sistema, en la consecuencia de cada modo de falla).
- ◆ Costos de Penalización por Producción diferida por realizar la actividad Correctiva (Mostrado en el FMECA por cada sistema, en la consecuencia de cada modo de falla).

**Razones para realizar la Tarea de Mantenimiento.**

- ◆ Confiabilidad y Riesgo.
- ◆ Costos Operacionales.

**Modos de fallas.**

- ♦ Descripción del Modo de Falla del equipo en cuestión (Mostrado en el FMECA por cada sistema, en cada modo de falla)
- ♦ Acción de Reparación (Mostrado en el FMECA por cada sistema, en la severidad de cada modo de falla)
- ♦ Patrón de Falla a lo largo de su vida útil (Mortalidad Infantil, Operación Normal, Desgaste)

**Prolongación de Vida Útil del Equipo.**

- ♦ Tarea de Recomendación (Mostrado en el FMECA por cada modo de falla)
- ♦ Intervalo de tiempo para la ejecución de la tarea (Mostrado en el FMECA por cada modo de falla)
- ♦ Vida útil esperada posterior a la tarea recomendada Se estima alrededor del 45% de alargue de vida de los equipos estudiados.
- ♦ Costos de la Tarea recomendada Aproximadamente un 50% menos que los costos de reparación (Correctivo) mostrados en el FMECA.

En el Apéndice C, se muestran los resultados por cada sub-sistema, con respecto a los intervalos de tiempo para la realización del Mantenimiento Preventivo. Se podrá observar el tiempo en que ocurre la falla, el tiempo recomendado por el estudio de MCC y por último el intervalo recomendado por la herramienta APT-Lifespan.

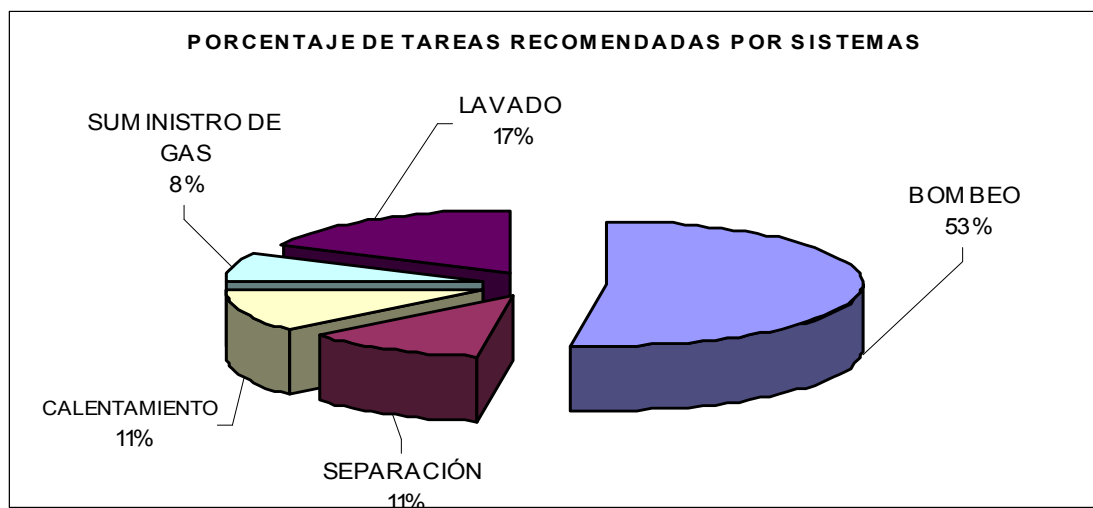




## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Como resultado del MCC en la Estación MED-20, se obtuvo un total de ciento treinta y dos (128) tareas recomendadas, donde el 53% corresponden al Sistema de Bombeo, 17% del Sistema de Lavado, 11% al Sistema de Separación, 11% al Sistema de Calentamiento, y el 08% restante pertenece al Sistema de Suministro de Gas (Ver Fig. #12).

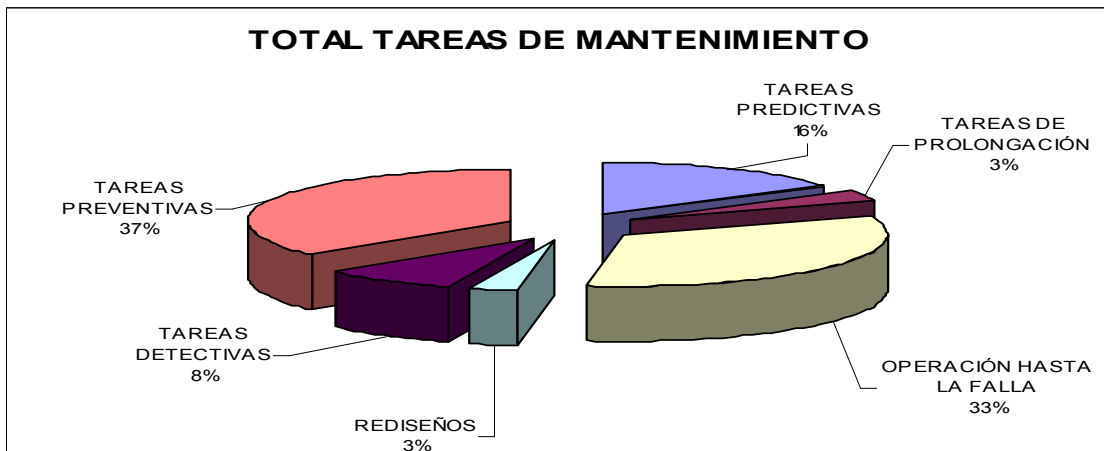
**Figura #12.**  
Tareas recomendadas por Sistemas



Fuente: Elaboración propia. (2006)

Para generar el plan de mantenimiento adaptado a la estación, fue necesario la identificación de las tareas de mantenimiento, donde las Preventivas generaron el porcentaje más alto, con un 37%, las que se debe esperar hasta la falla por ser más rentable un 33%, las predictivas con un total de 16%, las tareas detectivas con un 08%, las tareas de prolongación un 03% y por último las de Rediseño con un 03% (Ver Fig. #13).

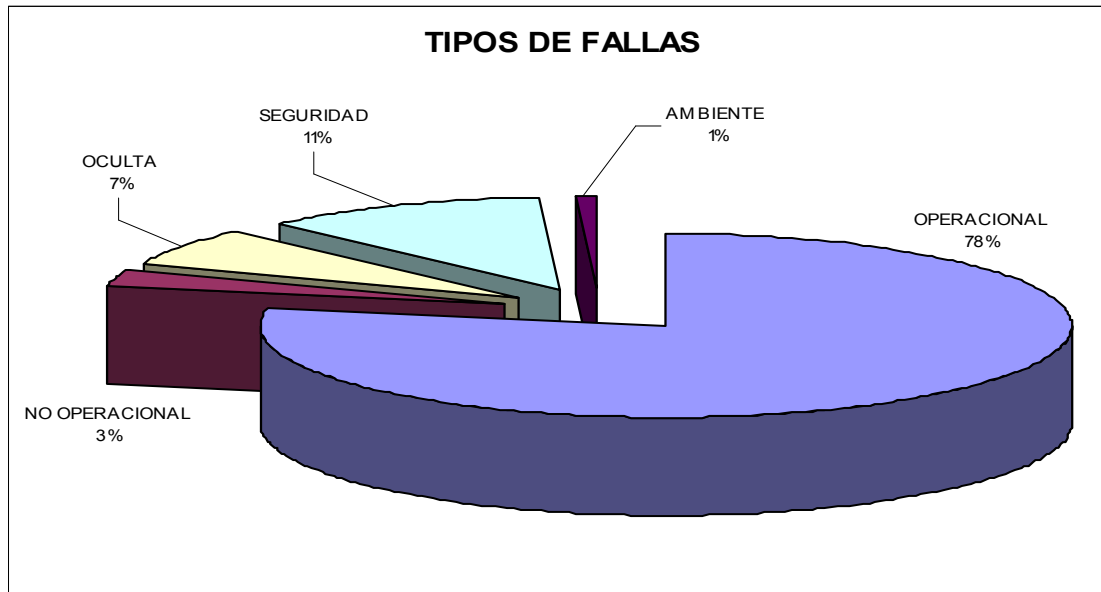
**Figura #13.**  
Tareas de Mantenimiento en MED-20



Fuente: Elaboración propia. (2006)

Cabe destacar que los diferentes Modos de Fallas, pueden traer consecuencias en las operaciones, en la Seguridad y el Ambiente, puede no tener nada que ver con las Operaciones siendo un modo de Falla “No Operacional” o puede ser una Falla Oculta, la cual se presenta mayormente en los dispositivos de seguridad, ya que son fallas no detectables por los operarios bajo circunstancias normales, haría falta un procedimiento para que sea detectado. En la Fig. #14, se muestran el total de tareas en función a su consecuencia, donde las fallas de mayor peso están asociadas a las Operaciones, con un 78%, las que afectan la Seguridad con un 11%, las Ocultas con un 07%, las No Operacionales con 03% y por último las que afectan el Ambiente poseen el 01%.

**Figura #14.**  
Tareas de Mantenimiento en función a su consecuencia.

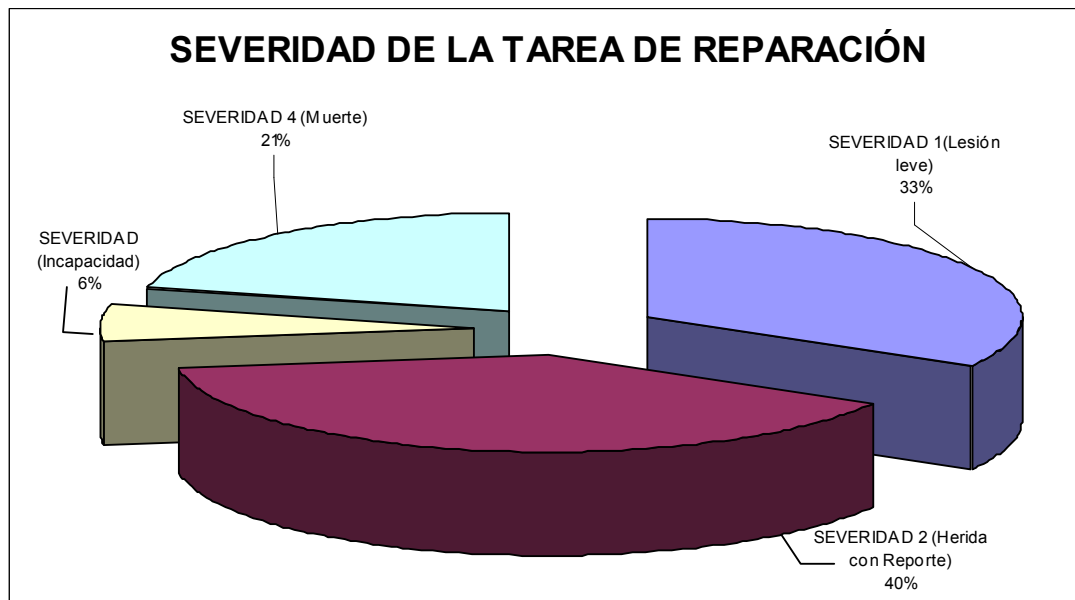


Fuente: Elaboración propia. (2006)

La realización del mantenimiento correctivo trae consigo una severidad, tanto en US\$ como en lesiones al personal. Este parámetro también se tomó en consideración, ya que con la aplicación de las tareas recomendadas este factor tan delicado disminuirá, debido a que los modos de fallas y sus causas serán eliminados o minimizados lo máximo posible. En la Fig. #15 se muestran los valores, donde el 40% posee riesgo de herida con reporte, el 33% con posibilidad de lesión leve, 21% posibilidad de muerte, y el 06% restante posibilidad de que el trabajador quede incapacitado.

Es necesario tomar medidas preventivas, debido a que el riesgo de muerte presenta un porcentaje considerable, al igual que la posibilidad de una herida con reporte, el total de estos dos factores representa un 51%, por lo que las tareas recomendadas van en función de disminuir la consecuencia y severidad de la situación (Ver Fig. #15).

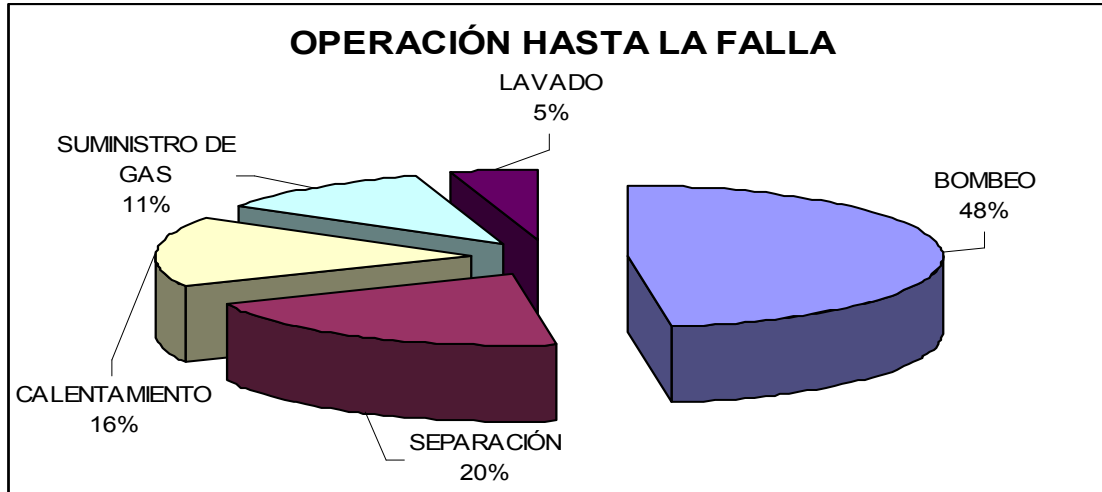
**Figura #15.**  
Tareas de Mantenimiento en función a su severidad



Fuente: Elaboración propia. (2006)

Según los resultados arrojados por el FMECA, en MED-20 existe un 07%, donde se debe contar con el plan de respuesta inmediata (Plan de Contingencia) para la estrategia de “Operar hasta la Falla”, ya que esta estrategia no requiere planes por adelantado o ninguna otra actividad más que la de asegurar que al momento de la falla se cuenta con las horas – hombres (H-H), las herramientas y los repuestos necesarios para atender dicha emergencia en el menor tiempo posible ya que son más factibles esperar hasta que falle debido a su rentabilidad (mantenimiento preventivo más costoso que el mismo componente), por lo que se detalló la información para contar con los materiales y repuestos en el tiempo oportuno a la falla. En la Fig. #16 se muestran los porcentajes de esta estrategia por sistema.

**Figura #16.**  
Estrategia de operación hasta la Falla por sistema.



Fuente: Elaboración propia. (2006)

Se especificó la caracterización de cada uno de los materiales y equipos que se requieren para realizar la actividad en el menor tiempo posible. Esto incluye, costo de los materiales, proveedores, catalogación en el sistema SAP, especificaciones técnicas, entre otras.

En el Apéndice D, se muestran las tablas con el detalle del agrupado de tareas por organización responsable de realizar la actividad de mantenimiento como resultado del FMECA de MED-20. La Tabla #13 muestra las tareas de mantenimiento que debe realizar la Organización de Mantenimiento Operacional; en la Tabla #14, Ingeniería de Mantenimiento; en la Tabla #15, Recursos Humanos; en la Tabla #16, Mantenimiento Mayor; en la Tabla #17, Talleres; en la Tabla #18, TyD y por último en la Tabla #19, Ingeniería y Construcción.

Como resultado visible de la comparación del agrupado de tareas, se puede observar que existió un 76% de asertividad entre las tareas recomendadas por el equipo de trabajo con respecto a las arrojadas por el APT-Maintenance, sin meter las

actividades de “operar hasta la falla”, si agregamos este último, el porcentaje aumenta a un 84%, lo cual permite optimizar un 16% los planes de mantenimiento de los sistema críticos de la Estación MED-20, adecuándolo a la situación actual de operación del ISED’s.

Es importante resaltar que las actividades de mantenimiento recomendadas están avaladas por el personal de Mantenimiento Operacional, Ingeniería de Mantenimiento, Producción u Operaciones y Seguridad Industrial, todo esto con la finalidad de minimizar los costos tanto de producción, correctivos, impacto ambiental y riesgos a las instalaciones y personal.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES.**

- En el Análisis de Oportunidades de Mejora, se determinó que existe un promedio de veintiséis (26) fallas, las cuales están restándole valor al negocio, debido a que los costos asociados a estos eventos son elevados.
- Los eventos crónicos que se presentan mayormente en la estación, son las fallas en los quemadores, motores eléctricos y controlador de nivel de los tanques, trayendo como consecuencia elevados costos de mantenimiento correctivo.
- Llevando a cabo los proyectos de confiabilidad, se lograrán mejoras a los sistemas sometidos a estudio con la finalidad de disminuir la criticidad de estos, aumentando su disponibilidad, confiabilidad y disminuyendo la incertidumbre en las operaciones de los mismos.
- El Análisis de Oportunidades de Mejora (Diagnóstico) permitió determinar la jerarquización y el orden para atacar los eventos crónicos en MED-20, esto con la finalidad de no dirigir los esfuerzos ni el presupuesto en fallas que no ocasionen mayor impacto, pudiendo atacar las que verdaderamente restan valor a la organización.
- La metodología de Análisis de Oportunidades de Mejoras permitió cuantificar los problemas repetitivos de procesos, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, y con ello facilitar el proceso de toma de decisiones en cuanto a la optimización de los planes de mantenimiento.
- El Análisis de Criticidad General de MED-20 determinó que ésta se ubicaba en la categoría de Alta Criticidad, y el específico reveló que el 22% de los equipos son



críticos, el 38% son de mediana criticidad y el 40% restantes son de baja criticidad, es importante resaltar que esta jerarquización puede ser modificada en el tiempo a través de la aplicación de las metodologías de Confiabilidad Operacional en la Etapa de Control y Optimización mediante la ejecución de los Planes de Mantenimiento Preventivo.

- Se evaluaron los sistemas eléctricos, ya que debido a la mala calidad de estos puede dar lugar a potenciales problemas electrónicos y podría reducir la vida útil del equipo eléctrico.
- Las tareas de prolongación representan el tres (03) % del total de tareas recomendadas, actividad delegada principalmente a los operarios, ya que es base fundamental para los equipos dinámicos, como es la completación de aceite o lubricación de algún componente.
- Además de los hallazgos generales sobre las posibles fallas funcionales del sistema, se encontró que el de Bombeo es un elemento clave para mejorar la función global del sistema, debido a que ocasionaba "cuellos de botella" en la producción, ya que si el sistema falla, no podrá bombear crudo provocando la pérdida de la capacidad de la estación.
- Es necesario llevar un registro histórico de las fallas, que permita a la gerencia tomar decisiones, planificando y programando el mantenimiento, para ser mucho más proactivos en la eliminación de las fallas.
- Todos los problemas serán vistos como oportunidades para el mejoramiento, sin buscar la culpabilidad. Usando el enfoque del mantenedor será más fácil desarrollar un sentido de trabajo en equipo para la resolución de determinado problema.
- El personal de Confiabilidad hará un seguimiento de las tareas recomendadas en el estudio, con la finalidad de ver los resultados y beneficios de su aplicación. Este se realizará en el mes de Diciembre del año 2007.

- Como resultado del estudio del MCC en MED-20, se encontraron casos donde las piezas de repuesto no estaban disponibles, eran de mala calidad o se encontraban fuera de especificación, en un momento de contingencia. Un factor contribuyente a esta problemática es que el Departamento de Materiales no posee el inventario requerido sin tomar en cuenta el impacto de una carencia de materiales y repuestos sobre la continuidad operacional.
- En la acción del operario y/o la del mantenimiento requerido, se observa que la combinación de operaciones y mantenimiento, lo mismo que acciones de diseño y compra, se requieren frecuentemente para el cabal funcionamiento de la estación.

#### **RECOMENDACIONES.**

- Llevar a cabo los proyectos propuestos para así aumentar la vida útil de los equipos, la confiabilidad y disponibilidad de estos.
- Mantener el grupo multidisciplinario, compuesto por operador, mantenedor, Ingeniería de Mantenimiento, Ingeniería de Procesos, para aplicar las metodologías de Confiabilidad Operacional, con el objeto de disminuir el número de fallas repetitivas y por ende los costos asociados por mantenimiento correctivo y reducir los niveles de riesgo de las instalaciones.
- Con respecto a los resultados del MCC a MED-20, se pudo observar que el siete (07) % del mecanismo de la falla es infantil, es decir, fallas que aparecen después de una instalación o un mantenimiento, por lo que es un importante factor en las pérdidas de la producción y se recomienda supervisión durante la tarea de mantenimiento y adiestramiento intensivo para el personal involucrado en la operación de la estación.
- Aplicar en cada falla repetitiva un estudio de Análisis Causa Raíz, con la finalidad de eliminarlas o disminuirlas al máximo, para optimizar la gestión tanto o en las operaciones como en el mantenimiento y minimizar el impacto global en las operaciones y en la rentabilidad de la corporación.

- Maximizar los esfuerzos en función de mejorar la data que se ingresa al SAP-PM, para lograr realizar estudios más confiables y con mayor efectividad en el tiempo.
- Se debe contar con un grupo de calidad el cual debe velar por la integridad de las especificaciones técnicas de los equipos y materiales, para evitar o disminuir el mecanismo de deterioro por mortalidad infantil o fallas tempranas.
- Llevar un seguimiento de los equipos o componentes que deben ser cambiados por el tiempo de uso (vida útil), con la finalidad de tener una respuesta inmediata a la hora de la falla. Este tipo de modalidad representa aproximadamente un 4% del total de las fallas.
- Las fallas ocultas, las cuales se presentan comúnmente en dispositivos de seguridad, presentan un siete 07% del total de las fallas, donde el impacto es elevado ya que se requiere sea activado por una contingencia. Por ello se recomendaron tareas para evitar este tipo de inconvenientes, realizando pruebas funcionales en determinadas frecuencias que dependen del uso o la función del dispositivo.
- Es necesario realizar un estudio más profundo de las tareas de rediseño, debido a que son para mejoras del sistema como tal.
- Reestructurar y/o adaptar el programa de mantenimiento actual en el sistema SAP-PM, según lo recomendado en el estudio del APT-Maintenance.
- Realizar un Análisis Causa Raíz en el sistema de Deshidratación, específicamente en el *Radar Sensor de Nivel*, debido a que presenta un modo de falla por lectura errónea a causa de la descalibración, el estudio arrojó una frecuencia aproximada de 36 veces al año, con un costo asociado por cada falla de 500\$, por lo que es necesaria la actuación inmediata del caso.

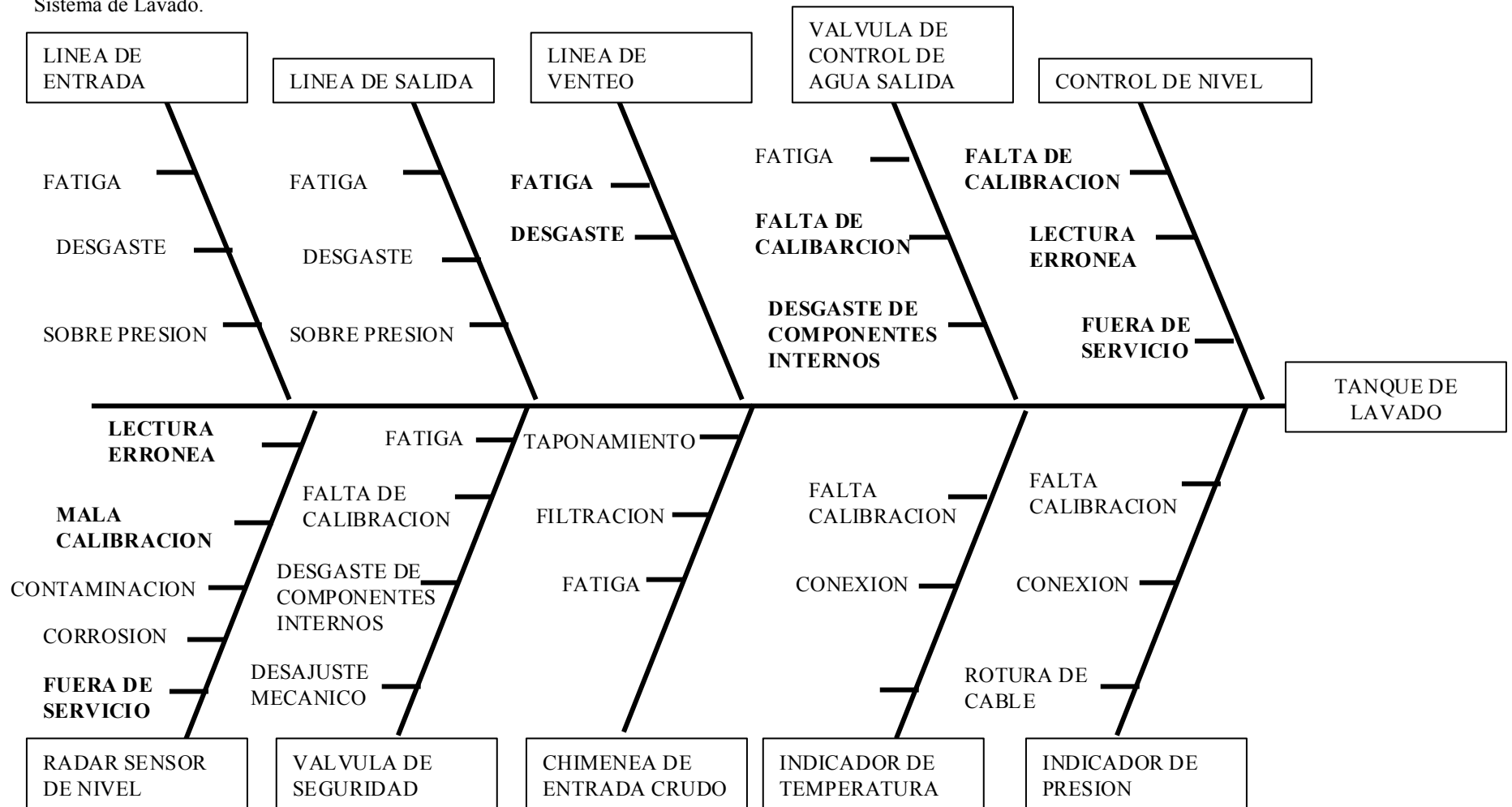
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- BARBERII Efraín E., El Pozo Ilustrado, Monte Avila Editores, 1976; ediciones de Lagoven S.A., 1982-1983, 1983, 1985; editor técnico y traductor principal de Thermal Recovery, de Michael Prats; Procesos Térmicos de Extracción de Petróleo, Ediciones Técnicas Intevep.
- HERNANDEZ SAMPIERI, R. Y OTROS. (1.988) Metodología de la Investigación, México, MC Graw Hill.
- Hernandez Sampieri, R. y otros. (1.988) Metodología de la Investigación, México, MC Graw Hill.
- <http://www.apa.com> .
- <http://www.confiableidad.net>.
- [http://www.galeon.com/pcazau/guia\\_met\\_ref.htm](http://www.galeon.com/pcazau/guia_met_ref.htm).
- <http://www.google.com>.
- <http://www.intranet.pdvsa.com>.
- <http://www.mantenimientomundial.com>.
- <http://www.monografias.com>.
- Mario Tamayo y Tamayo (1998). EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.
- MONCHY, Francois (1990). “Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial”.
- PDVSA – Cied, “Curso de Introducción a la Confiabilidad Operacional”.
- SABINO , C. (1.980)El proceso de Investigación , Bogotá . El Cid.
- Sabino, Carlos (1992) El Proceso de Investigación, editorial PANAPO, Caracas.
- Selltiz, C. et al. (1.965), Métodos de investigación en las relaciones sociales.
- Zambrano Sony y Leal Sandra, (2005). Fundamentos Básicos de Mantenimiento. San Cristóbal, Táchira, Venezuela. FEUNET 2005. P. 36.

## **APÉNDICE A.**

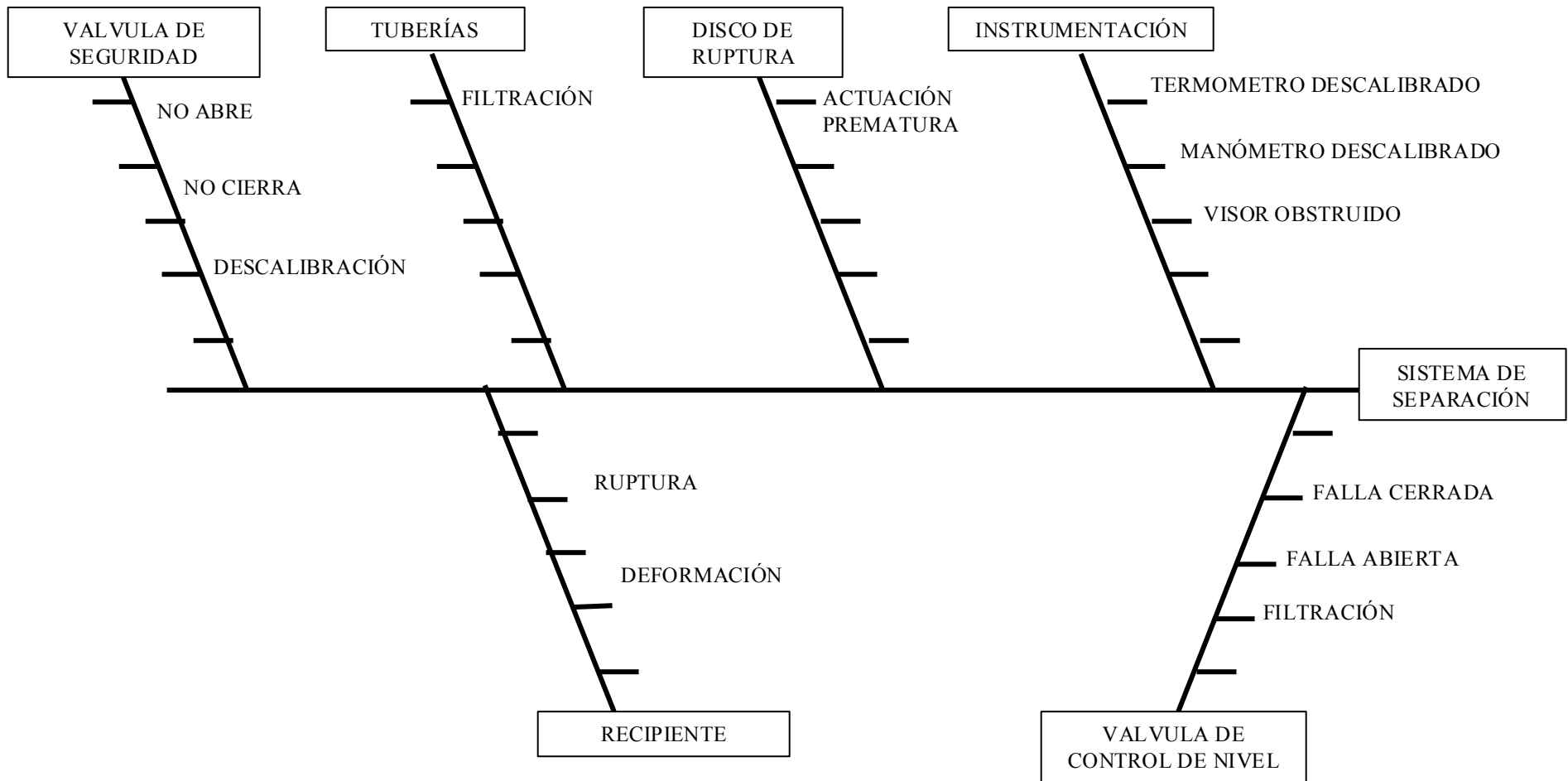
### **Diagrama Causa Efecto por Sistema.**

**Figura #17.**  
Sistema de Lavado.



Fuente: Elaboración propia (2006)

**Figura #18.**  
Sistema de Separación.

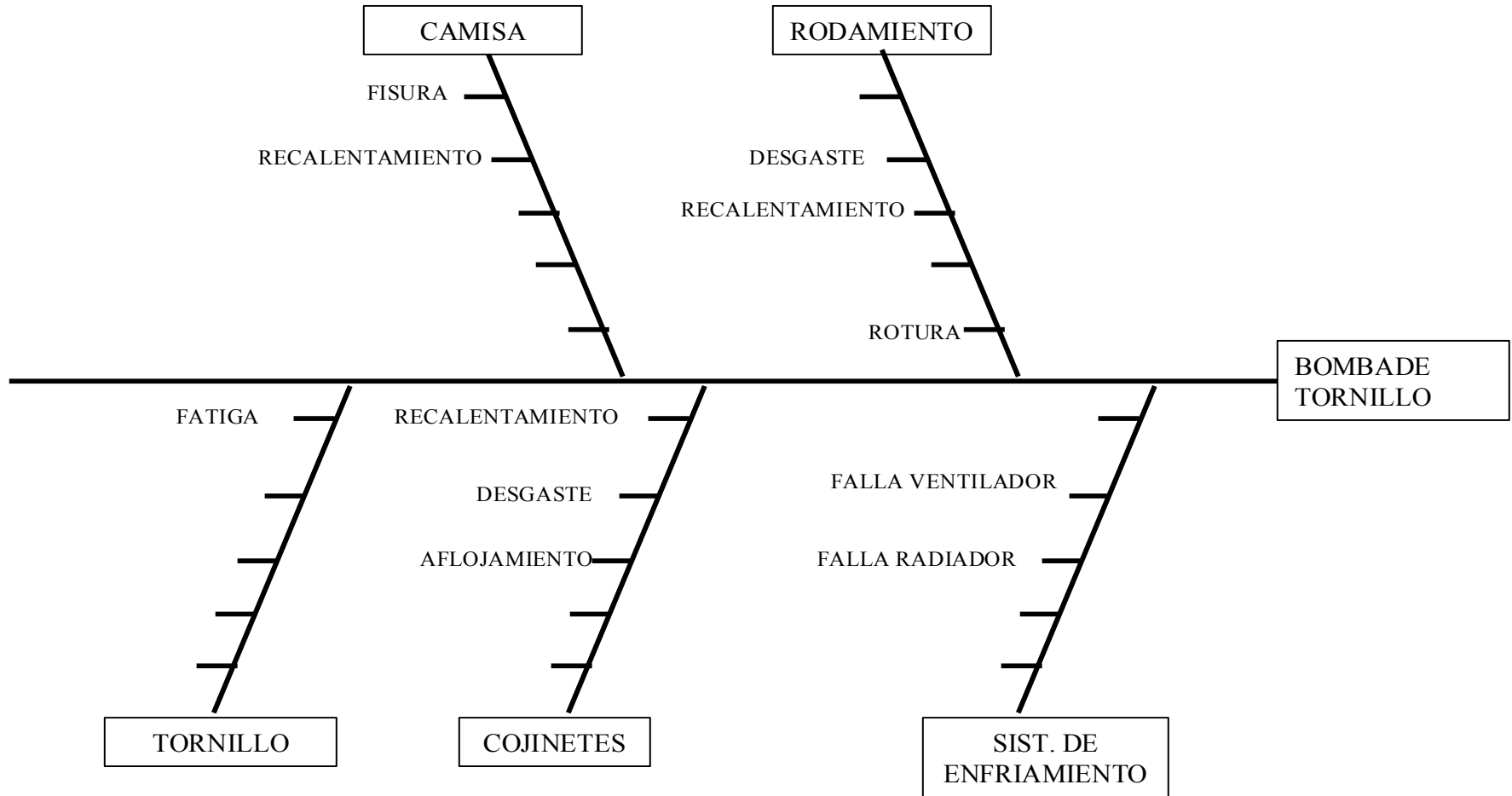


Fuente: Elaboración propia (2006)



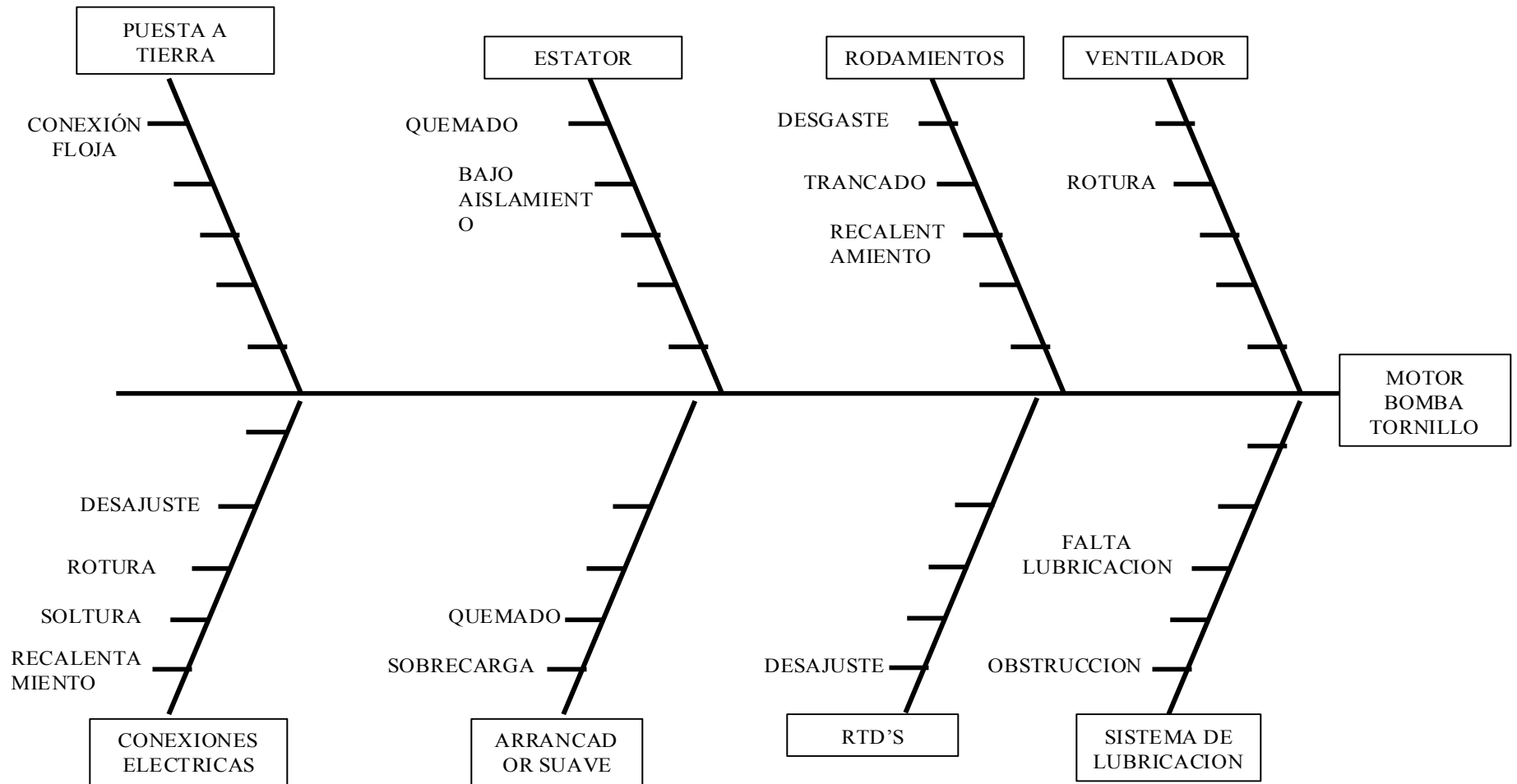


**Figura #20.**  
**SISTEMA DE BOMBEO (BOMBA DE TORNILLO)**



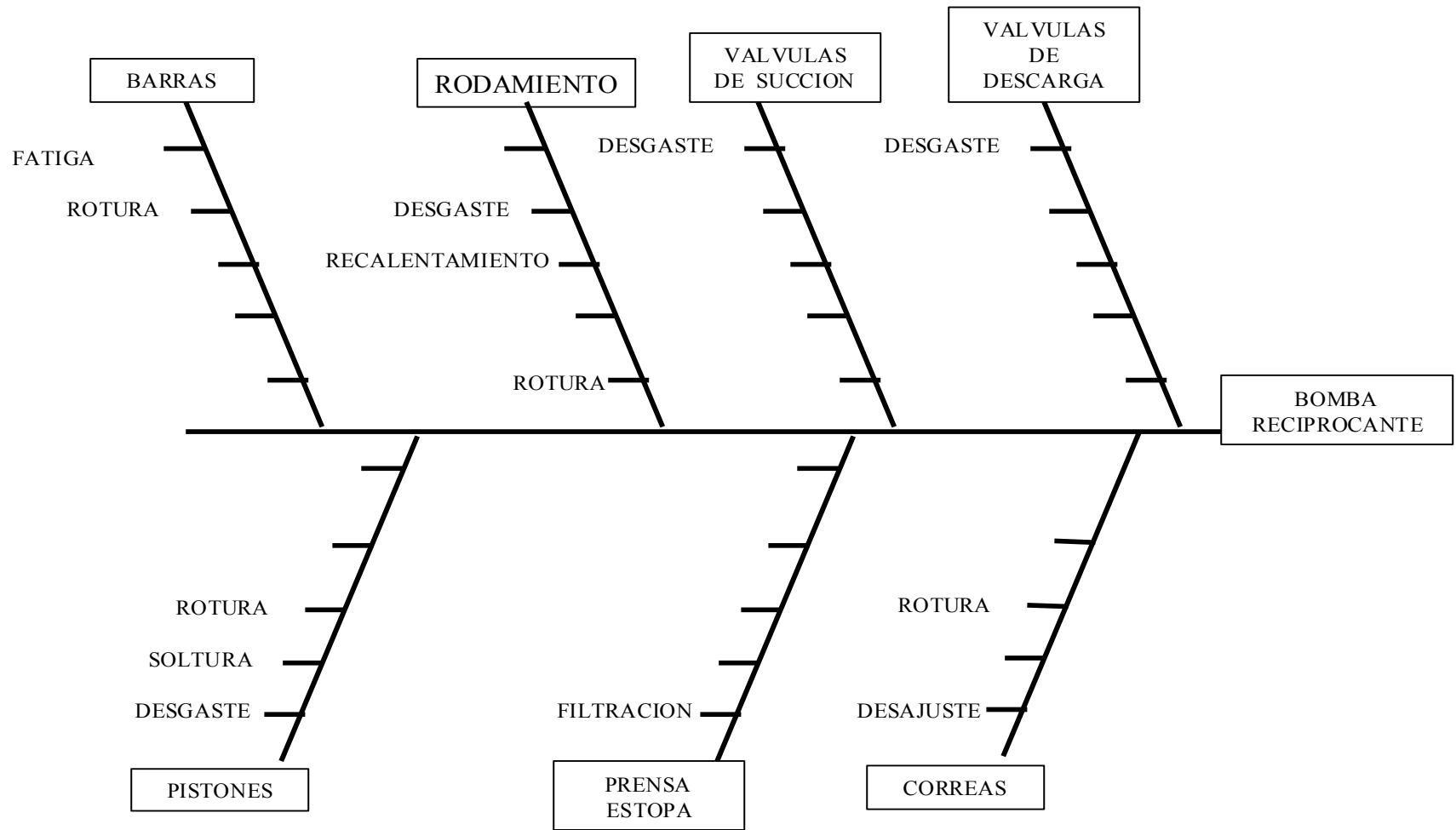
Fuente: Elaboración propia (2006)

**Figura #21.**  
**SISTEMA DE BOMBEO. (MOTOR BOMBA DE TORNILLO)**



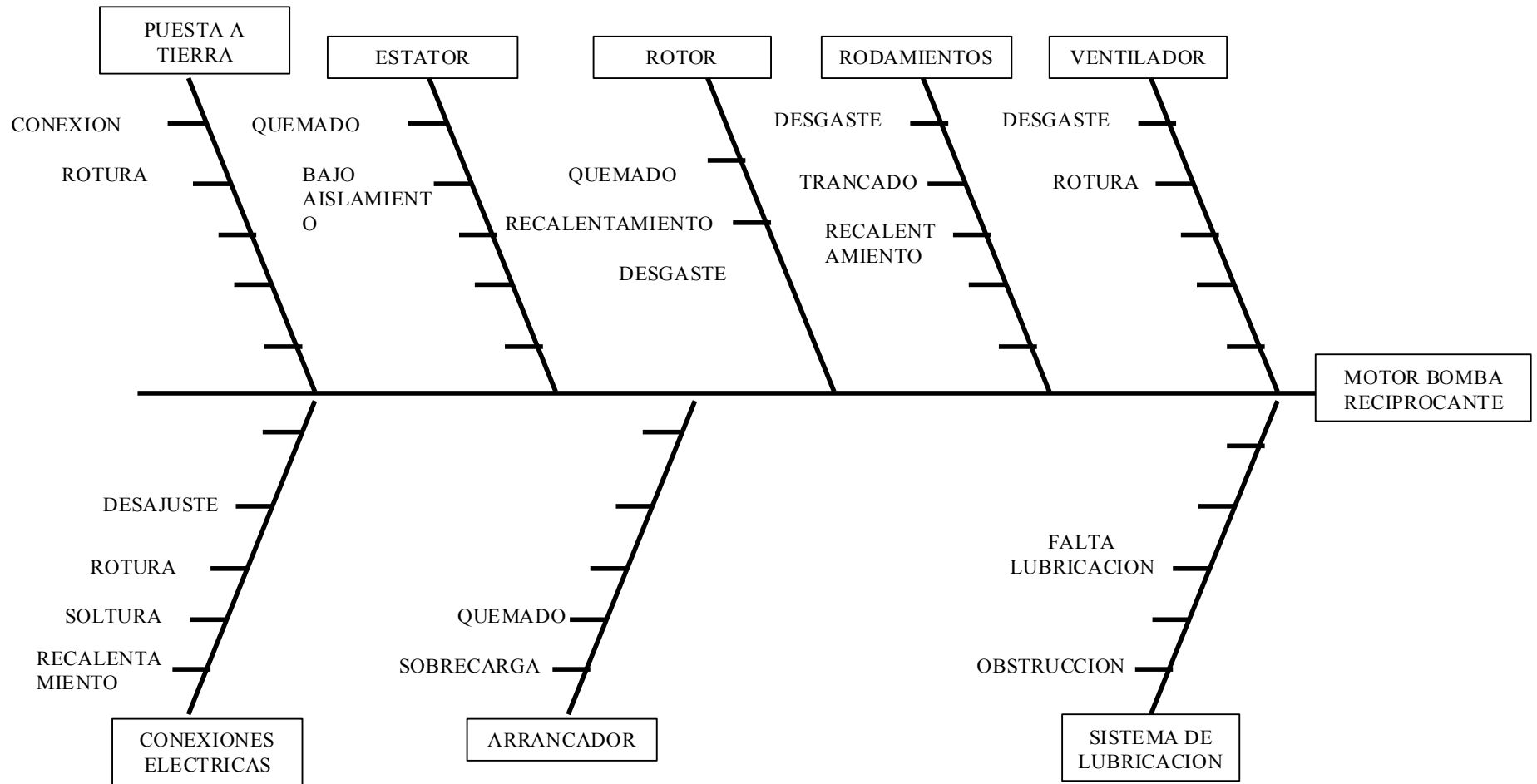
Fuente: Elaboración propia (2006)

**Figura #22.**  
**SISTEMA DE BOMBEO. (BOMBA RECIPROCANTE)**



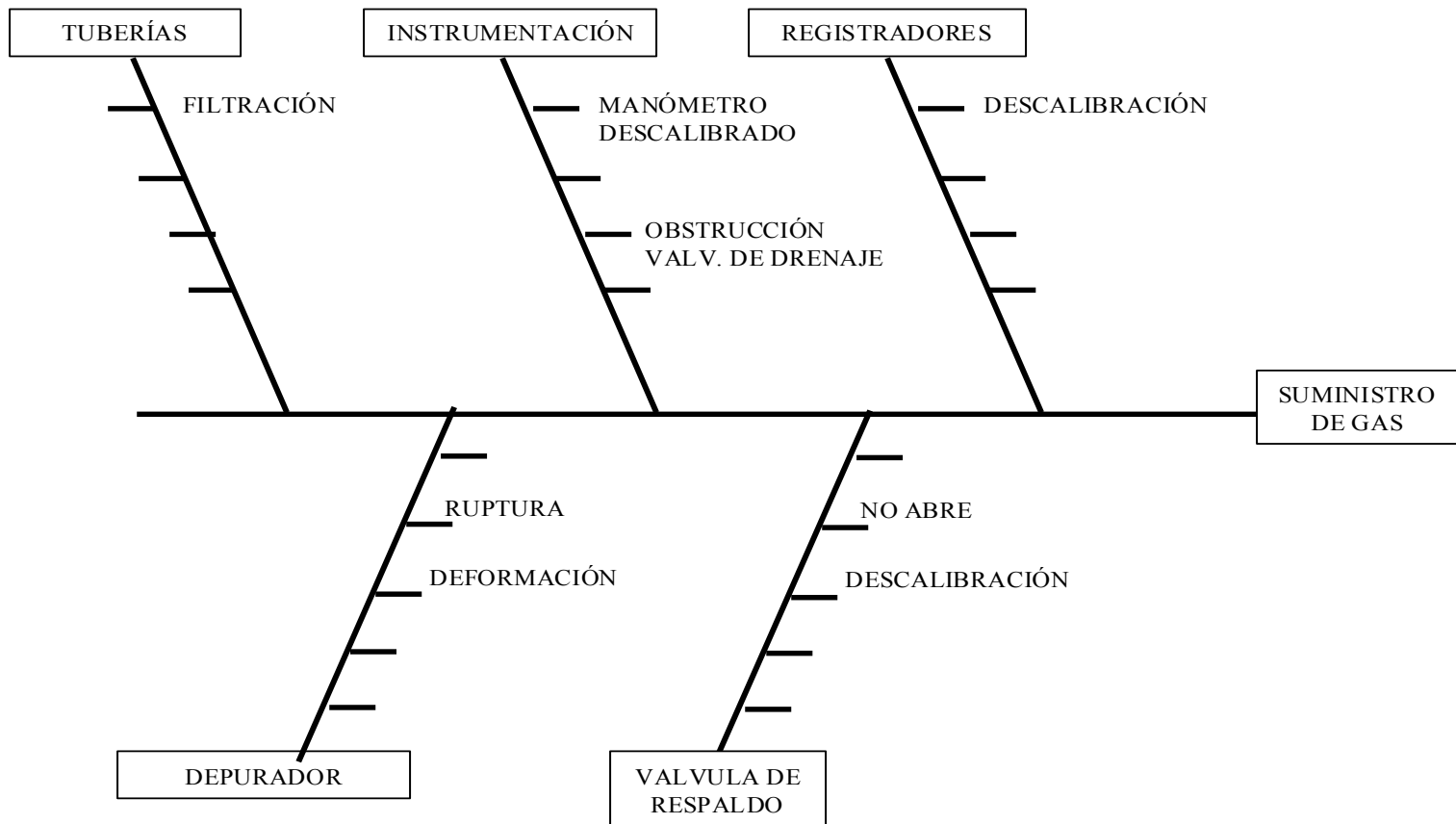
Fuente: Elaboración propia (2006)

**Figura #23.**  
**SISTEMA DE BOMBEO (MOTOR BOMBA RECIPROCANTE)**



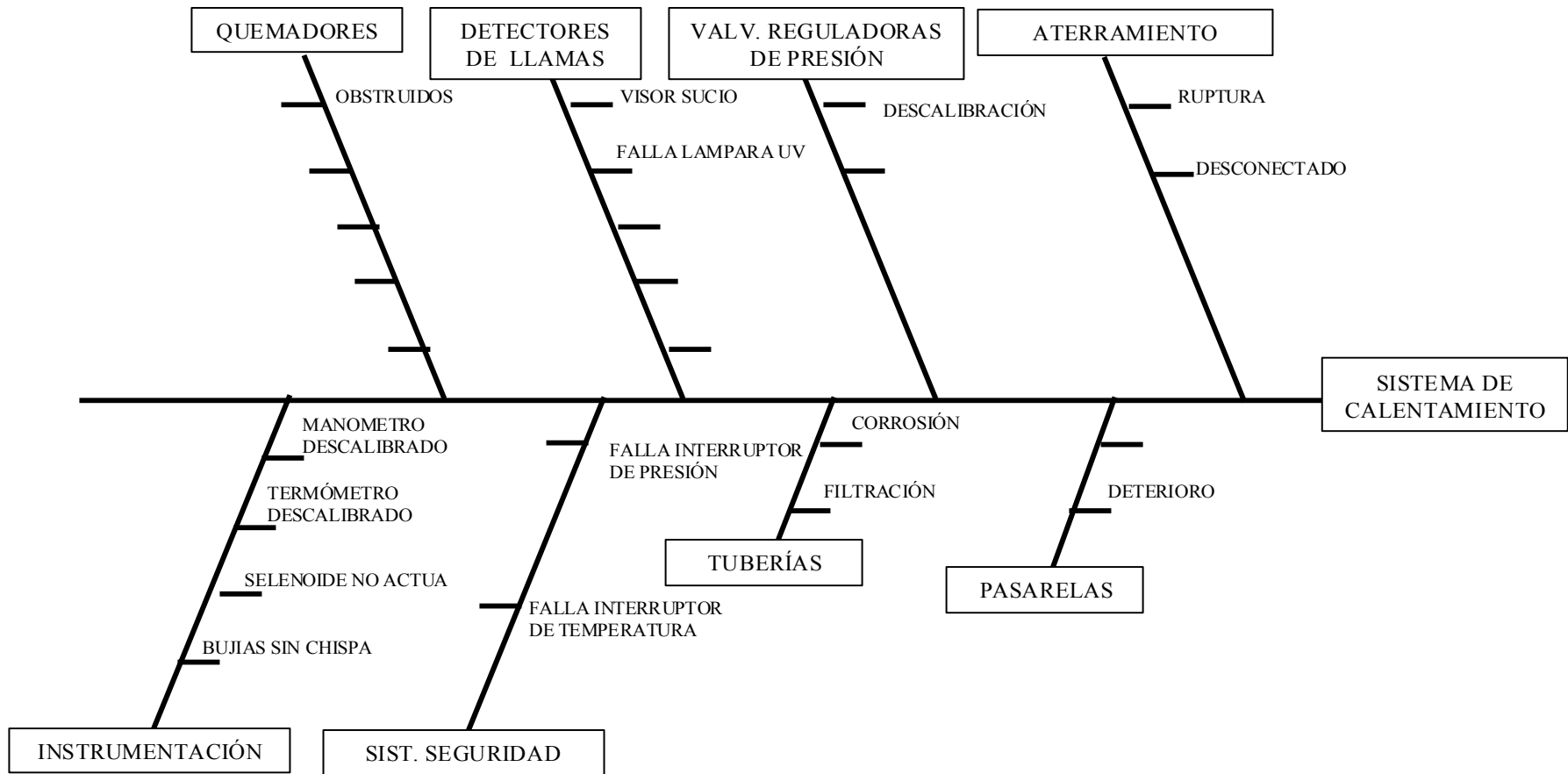
Fuente: Elaboración propia (2006)

**Figura #24.**  
**SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS**



Fuente: Elaboración propia (2006)

**Figura #25.**  
**SISTEMA DE CALENTAMIENTO**



Fuente: Elaboración propia (2006)

## **APÉNDICE B.**

### **Análisis de Modos de Fallas y Criticidad (FMECA).**

**FMECA SISTEMA DE LAVADO**



**FMECA SISTEMA DE BOMBEO**

**FMECA SISTEMA DE SEPARACIÓN**

**FMECA SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS**

**FMECA SISTEMA DE CALENTAMIENTO**

## **APÉNDICE C.**

**Comparación de los resultados emitidos con la Metodología MCC y los  
resultados del APT-Maintenance en MED-20**

**APÉNDICE D.**  
**Agrupado de Tareas.**

## ACTIVIDADES A REALIZAR MANTENIMIENTO OPERACIONAL

**Tabla # 13**  
Sistema de Deshidratación

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
LINEA DE ENTRADA	FATIGA	VIBRACIÓN	GRADUAL	24 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Colocación de soportes y ajuste de anclajes
LINEA DE VENTEO	FATIGA	VIBRACIÓN	GRADUAL	24 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Inspección periódica
VALVULA DE CONTROL DE AGUA SALIDA	DESCALIBRACION	FALTA DE CALIBRACIÓN	GRADUAL	4 H-H, Calibrar válvula con un costo aproximado de 500 \$	Calibración y modificación de sistemas
VALVULA DE CONTROL DE AGUA SALIDA	FILTRACIÓN	DESCALIBRACIÓN	GRADUAL	6 H-H, Calibrar válvula con un costo aproximado de 250 \$	Calibración periódica
VALVULA DE CONTROL DE AGUA SALIDA	DESGASTE	CORROSIÓN	GRADUAL	6 H-H, Reemplazo de válvula con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Inspección periódica
CONTROL DE NIVEL	DESCALIBRACION	FALTA DE CALIBRACIÓN	GRADUAL	4 H-H, Calibrar válvula con un costo aproximado de 500 \$	Inspección periódica
CONTROL DE NIVEL	FUERA DE SERVICIO	FALLA ELECTRICA	SUBITA/ALEATORIA	4 H-H, Reconexión con un costo aproximado de 250 \$	Chequeo y Mantenimiento
RADAR SENSOR DE NIVEL	LECTURA ERRONEA	NIVELACION	GRADUAL	4 H-H, Nivelación del radar con un costo aproximado de 250 \$	Inspección y Nivelación periódica
RADAR SENSOR DE NIVEL	FUERA DE SERVICIO	FALLA ELECTRICA	SUBITA/ALEATORIA	10 H-H, Reemplazo del Radar sensor de Nivel con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Inspección y stock de almacen
VALVULA DE SEGURIDAD	NO OPERA	DESCALIBRACIÓN	SUBITA	6 H-H, Reemplazo del Radar sensor de Nivel con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Pruebas Funcionales
LINEA DE DESCARGA	FATIGA	VIBRACIÓN	GRADUAL	8 H-H, Inspección con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Colocación de soportes y ajuste de anclajes
INDICADOR DE TEMPERATURA	DESCALIBRACION	VIDA UTIL	EDAD	2 H-H, Reemplazo del Indicador de Temperatura con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Operar hasta la Falla
INDICADOR DE TEMPERATURA	CONEXIÓN	DESAJUSTE	GRADUAL	2 H-H, Ajuste del Indicador de Temperatura con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Inspección y ajuste de conexiones
INDICADOR DE PRESIÓN	DESCALIBRACION	VIDA UTIL	EDAD	2 H-H, Reemplazo del Indicador de Presión con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Operar hasta la Falla
INDICADOR DE PRESIÓN	CONEXIÓN	DESAJUSTE	GRADUAL	2 H-H, Ajuste del Indicador de Presión con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Inspección y ajuste de conexiones

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 14**  
Sistema de Bombeo

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
LÍNEA DE DESCARGA	FATIGA	VIBRACIÓN	GRADUAL	28 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Colocación de soportes y ajuste de anclajes
PROTECCIONES DE BOMBA	MAL FUNCIONAMIENTO	DESCALIBRACIÓN	GRADUAL	3 H-H, Reemplazar Y Calibración con un costo aproximado de 250 \$	Revisión y Calibración
COUPLING	FISURA	CALIDAD DE MATERIAL	SUBITA	8 H-H, Reemplazar de Coupling con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Control de calidad al momento de la compra
COUPLING	DESAJUSTE	VIBRACIÓN O FALTA DE AJUSTE	GRADUAL	8 H-H, Reemplazar de Coupling con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Ajuste de Coupling
COUPLING	ALTA VIBRACIÓN	DESALINEACIÓN	GRADUAL	8 H-H, Alineación de Coupling con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Ajuste y revisión de alineación.
VALVULA DE CONTROL	DESGASTE	VIDA UTIL	GRADUAL	8 H-H, Reemplazo de Válvula de Control con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Operación hasta la Falla
SWITCH DE NIVEL	DESCALIBRACIÓN	DESAJUSTE	INFANTIL	2 H-H, Calibrar Switch con un costo aproximado de 250 \$	Revisión de procedimientos de instalación
SWITCH DE NIVEL	TRABADO	SULFATACIÓN	GRADUAL	2 H-H, Reemplazar Switch con un costo aproximado de 100 a 500 \$	Limpieza y mantenimiento periódico
PANEL ELECTRICO	FALLA ELECTRICA	FALTA DE ENERGÍA	SUBITA	2 H-H, Reparación del Panel con un costo aproximado de 100 a 500 \$	Operación hasta la Falla
PANEL ELECTRICO	CONEXIONES	DESAJUSTE	GRADUAL	2 H-H, Ajuste con un costo aproximado de 250 \$	Revisión y ajuste de conexiones
PANEL ELECTRICO	FALLA EN LOS ARRANCADORES SUAVES	VARIACIÓN DE TENSIÓN	SUBITA	4 H-Panel con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Operación hasta la Falla

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 15**  
Bomba de Tornillo.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
RODAMIENTO	DESGASTE	VIDA UTIL	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Suministro y completación de aceite
RODAMIENTO	RECALENTAMIENTO	FALTA DE LUBRICACIÓN	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Suministro y completación de aceite
RODAMIENTO	ROTURA	FALTA DE LUBRICACIÓN	SUBITA	72 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Suministro y completación de aceite
COJINETES	RECALENTAMIENTO	LUBRICACIÓN	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Suministro y completación de aceite
COJINETES	DESGASTE	VIDA UTIL	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Suministro y completación de aceite
CAMISAS	FISURA	SOBRECARGA	SUBITA	72 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Instalación de un sistema de protección de sobrecarga
SIST. ENFRIAMIENTO	FALLA EN VENTILADOR	FALLA ELECTRICA	SUBITA	2 H-H, Chequeo de Camisa con un costo aproximado de 250\$	Operar hasta la falla
SIST. ENFRIAMIENTO	FALLA EN RQADIADOR	OBSTRUCCIÓN	GRADUAL	2 H-H, Limpieza del sistema de enfriamiento con un costo aproximado de 250\$	Mtto preventivo (limpieza periodica)
SIST. ENFRIAMIENTO	FALLA EN RQADIADOR	FILTRACIÓN	GRADUAL	2 H-H, Limpieza del sistema de enfriamiento con un costo aproximado de 250\$	Operar hasta la falla

Fuente: Elaboración propia (2006)



**Tabla # 16**  
Motor de la Bomba de Tornillo.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
ESTATOR	BAJO AISLAMIENTO	DETERIORO	EDAD	4 H-H, Reemplazar estator con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Operar hasta la Falla
CONEXIONES ELECTRICAS	RUPTURA	RECALENTAMIENTO	SUBITA	3 H-H, Reemplazar Motor con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Operar hasta la Falla
ARRANCADOR SUAVE	SOBRECARGA	VARIACIÓN DE TENSIÓN	ALEATORIA	8 H-H, Reemplazar Motor con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Operar hasta la Falla
ARRANCADOR SUAVE	QUEMADO	VARIACIÓN DE TENSIÓN	ALEATORIA	4 H-H, Reemplazar Motor con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Operar hasta la Falla
RTD's	DESAJUSTE	VIBRACIÓN	GRADUAL	3 H-H, Reemplazar Motor con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Operar hasta la Falla
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	OBSTRUCCIÓN	PRESENCIA DE SEDIMENTOS	GRADUAL	3 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Colocación de filtros a la entrada del tanque de aceite

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 17**  
Bomba Reciprocante.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
BARRAS	RUPTURA	FATIGA	SUBITA	4 H-H, Reemplazar de barra con un costo aproximado de 2000 a 5000 \$	Operación hasta la Falla
BARRAS	RUPTURA	SOBREPRESION	SUBITA	4 H-H, Reemplazar de barra con un costo aproximado de 2000 a 5000 \$	Calibración de Válvulas de Seguridad
RODAMIENTOS	RUPTURA	DESGASTE	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar rodamientos con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Lubricación periodica
RODAMIENTOS	RUPTURA	RECALENTAMIENTO	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar rodamientos con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Lubricación periodica
VALVULAS DE SUCCIÓN	DESGASTE	VIDA UTIL	EDAD	2 H-H, Reemplazar válvula con un costo aproximado de 2000 a 5000 \$	Engrase
VALVULAS DE DESCARGA	DESGASTE	VIDA UTIL	EDAD	2 H-H, Reemplazar válvula con un costo aproximado de 2000 a 5000 \$	Engrase
PISTONES	RUPTURA	DESGASTE	GRADUAL	2 H-H, Reemplazar válvula con un costo aproximado de 2000 a 5000 \$	Operación hasta la Falla
PRENSA ESTOPA	FILTRACIÓN	DESGASTE	GRADUAL	4 H-H, Reemplazar prensaestopa con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Operación hasta la Falla
CORREAS	RUPTURA	DESGASTE	GRADUAL	2 H-H, Reemplazar correas con un costo aproximado de 1000 a 2000 \$	Mantenimiento a Condicion
CORREAS	DESAJUSTE	ESTIRAMIENTO	EDAD	2 H-H, Reemplazar correas con un costo aproximado de 1000 a 2000 \$	Mantenimiento a Condicion

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 18**  
Motor de la Bomba Reciprocante.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
ESTATOR	BAJO AISLAMIENTO	DETETRIORO	EDAD	4 H-H, Reemplazar estator con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Operar hasta la Falla
CONEXIONES ELECTRICAS	RUPTURA	RECALENTAMIENTO	SUBITA	3 H-H, Reemplazar Motor con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Operar hasta la Falla
ARRANCADOR SUAVE	SOBRECARGA	VARIACIÓN DE TENSIÓN	ALEATORIA	8 H-H, Reemplazar Motor con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Operar hasta la Falla
ARRANCADOR SUAVE	QUEMADO	VARIACIÓN DE TENSIÓN	ALEATORIA	4 H-H, Reemplazar Motor con un costo aproximado de 500 a 10000 \$	Operar hasta la Falla
RTD's	DESAJUSTE	VIBRACIÓN	GRADUAL	3 H-H, Reemplazar Motor con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Operar hasta la Falla
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	OBSTRUCCIÓN	PRESENCIA DE SEDIMENTOS	GRADUAL	3 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Colocación de filtros a la entrada del tanque de aceite

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 19**  
Sistema de Separación.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
TUBERÍAS	FILTRACIÓN	EMPACADURAS VENCIDAS	EDAD	4 H-H, Reemplazar tubería con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Operar hasta la falla
DISCO DE RUPTURA	ACTUACIÓN PREMATURA	CORROSIÓN	GRADUAL	2 H-H, Reemplazar disco con un costo aproximado de 100 a 500 \$	Operar hasta la falla
INSTRUMENTACIÓN	TERMOMETRO DESCALIBRADO	DETERIORO	EDAD	4 H-H, Reemplazar termometro con un costo aproximado de 100 \$	Operar hasta la falla
INSTRUMENTACIÓN	MANÓMETRO DESCALIBRADO	DETERIORO	EDAD	4 H-H, Reemplazar manómetro con un costo aproximado de 100 \$	Operar hasta la falla
INSTRUMENTACIÓN	MANÓMETRO DESCALIBRADO	OBSTRUCCIÓN	GRADUAL	4 H-H, Reemplazar manómetro con un costo aproximado de 100 \$	Operar hasta la falla
INSTRUMENTACIÓN	VISOR OBSTRUIDO	ACUMULACIÓN DE SOLIDOS	GRADUAL	4 H-H, Reemplazar visor con un costo aproximado de 100 \$	Limpieza periodica
VALVULA DE CONTROL DE NIVEL	FALLA ABIERTA/CERRADA	DETERIORO DEL MECANISMO INTERNO	GRADUAL	4 H-H, Reemplazar de válvula con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Realizar pruebas funcionales
VALVULA DE CONTROL DE NIVEL	FILTRACIÓN	DETERIORO DE LOS ASIENTOS	GRADUAL	8 H-H, Reemplazar válvula con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Operar hasta la falla
RECIPIENTE	RUPTURA	SOBREPRESIÓN	SUBITA	72 H-H, Reemplazar estator con un costo aproximado de 50 a 10 M\$	Operar hasta la falla
RECIPIENTE	DEFORMACIÓN	SOBREPRESIÓN	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar estator con un costo aproximado de 50 a 10 M\$	Operar hasta la falla

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 20**  
Sistema de Suministro de Gas.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
DEPURADOR	RUPTURA	SOBREPRESIÓN	SUBITO	72 H-H, Reemplazar Depurador con un costo aproximado de 10 a 20 M\$	Operar hasta la falla
DEPURADOR	DEFORMACIÓN	SOBREPRESIÓN	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar Depurador con un costo aproximado de 10 a 20 M\$	Operar hasta la falla
DEPURADOR	DEFORMACIÓN	EMPACADURAS VENCIDAS	EDAD	4 H-H, Reemplazar empacadura con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Operar hasta la falla
INSTRUMENTACIÓN	MANÓMETRO DESCALIBRADO	DETERIORO	EDAD	2 H-H, Reemplazar Manómetro con un costo aproximado de 100 \$	Operar hasta la falla
INSTRUMENTACIÓN	MANÓMETRO DESCALIBRADO	OBSTRUCCIÓN	GRADUAL	2 H-H, Reemplazar Manómetro con un costo aproximado de 100 \$	Operar hasta la falla
INSTRUMENTACIÓN	OBSTRUCCIÓN VALV. DE DRENAJE	ACUMULACIÓN DE SOLIDOS	GRADUAL	16 H-H, Drenaje y limpieza con un costo aproximado de 250 a 500 \$	Limpieza
REGISTRADORES	DESCALIBRACIÓN	ACUMULACIÓN DE CRUDO EN LA	GRADUAL	8 H-H, Limpieza con un costo aproximado de 100 a 250 \$	Limpieza
VALVULA DE RESPALDO	DESCALIBRACIÓN	ACUMULACIÓN DE CRUDO EN LA	GRADUAL	8 H-H, Limpieza con un costo aproximado de 100 a 250 \$	Limpieza
VALVULA DE RESPALDO	NO ABRE	ACUMULACIÓN DE CRUDO EN LA	GRADUAL	8 H-H, Limpieza con un costo aproximado de 100 a 250 \$	Limpieza

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 21**  
Sistema de Calentamiento.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
INSTRUMENTACIÓN	TERMOMETRO DESCALIBRADO	DETERIORO	EDAD	2 H-H, Reemplazar termómetro con un costo aproximado de 100 \$	Operar hasta la falla
INSTRUMENTACIÓN	MANÓMETRO DESCALIBRADO	DETERIORO	EDAD	2 H-H, Reemplazar manómetro con un costo aproximado de 100 \$	Operar hasta la falla
INSTRUMENTACIÓN	MANÓMETRO DESCALIBRADO	OBSTRUCCIÓN	GRADUAL	2 H-H, Reemplazar manómetro con un costo aproximado de 100 \$	Operar hasta la falla
INSTRUMENTACIÓN	SELENOIDE DEL HORNO NO ACTUA	DETERIORO DEL DIAFRAGMA	GRADUAL	2 H-H, Reemplazar Selenoide con un costo aproximado de 250 a 500 \$	Limpieza
INSTRUMENTACIÓN	BIJIAS SIN CHISPA	FORMACIÓN DE COQUE EN EL	GRADUAL	2 H-H, Limpieza y calibración con un costo aproximado de 100 \$	Limpieza y calibración
QUEMADORES	OBSTRUIDOS	ACUMULACIÓN DE CRUDO	GRADUAL	8 H-H, limpieza con un costo aproximado de 100 \$	Drenaje del depurador de gas y limpieza
DETECTORES DE LLAMAS	VISOR SUCIO	ACUMULACIÓN DE SOLIDOS	GRADUAL	2 H-H, Limpieza con un costo aproximado de 100 \$	Limpieza
DETECTORES DE LLAMAS	FALLA EN LAMPARA UV	VIDA UTIL	GRADUAL	2 H-H, Reemplazar de la lámpara UV con un costo aproximado de 300 \$	Operar hasta la falla
SISTEMA DE SEGURIDAD	FALLA EN INTERRUPTOR DE PRESIÓN	DESCALIBRACIÓN	GRADUAL	2 H-H, Calibración de equipo con un costo aproximado de 100 \$	Pruebas Funcionales
SISTEMA DE SEGURIDAD	FALLA EN INTERRUPTOR DE TEMPERATURA	DESCALIBRACIÓN	GRADUAL	2 H-H, Calibración de equipo con un costo aproximado de 100 \$	Pruebas Funcionales
PASARELAS	DETERIORO	CORROSIÓN	GRADUAL	8 H-H, Reemplazar de pasarelas con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Operar hasta la falla

Fuente: Elaboración propia (2006)

## ACTIVIDADES A REALIZAR POR INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**Tabla # 22**  
Sistema de Deshidratación

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
LINEA DE VENTEO	DESGASTE	CORROSIÓN	GRADUAL	8 H-H, Reemplazo de la línea de venteo con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Inspección especializada
RADAR SENSOR DE NIVEL	LECTURA ERRONEA	DESCALIBRACIÓN	GRADUAL	8 H-H, Calibrar del Sensor de Nivel con un costo aproximado de 500 \$	Estudio de Confiabilidad (Análisis Causa Raíz)

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 23**  
Sistema de Bombeo

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
LINEA DE DESCARGA	FATIGA	VIBRACIÓN	GRADUAL	8 H-H, Reemplazo de línea con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Inspección especializada
LINEA DE DESCARGA	DESGASTE	CORROSIÓN	GRADUAL	2 H-H, Calibrar Switch con un costo aproximado de 250 \$	Inspección especializada
COUPLING	DESAJUSTE	VIBRACIÓN O FALTA DE AJUSTE	GRADUAL	8 H-H, Reemplazar de Coupling con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Inspección especializada
LINEA DE SUCCIÓN	FATIGA	VIBRACIÓN	GRADUAL	8 H-H, Reemplazar de línea con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Análisis de vibración y electrónico
LINEA DE SUCCIÓN	FILTRACIÓN	DESGASTE	GRADUAL	8 H-H, Reemplazar de línea con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Análisis de Ultrasonido

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 24**  
Bomba de Tornillo

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
RODAMIENTO	DESGASTE	VIDA UTIL	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar rodamiento con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Análisis de Vibración
RODAMIENTO	RECALENTAMIENTO	FALTA DE LUBRICACIÓN	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar rodamiento con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Análisis de Vibración
RODAMIENTO	ROTURA	FALTA DE LUBRICACIÓN	SUBITA	72 H-H, Reemplazar rodamiento con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Análisis de Vibración
TORNILLO	FATIGA	VIDA UTIL	GRADUAL	168 H-H, Reemplazar tornillo con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Análisis de Vibración
COJINETES	RECALENTAMIENTO	LUBRICACIÓN	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar cojinete con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Análisis de Vibración
COJINETES	DESGASTE	VIDA UTIL	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar cojinete con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Análisis de Vibración
COJINETES	AFLOJAMIENTO	VIBRACIÓN	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar cojinete con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Chequeo de Alineación
CAMISAS	FISURA	VIBRACIÓN	GRADUAL	72 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 5000 a 10000 \$	Análisis de Vibración

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 25**  
Bomba Reciprocante.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
PISTONES	SOLTURA	VIBRACIÓN	GRADUAL	8 H-H, Ajuste mecánico con un costo aproximado de 1000 a 2000 \$	Análisis de Vibración

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 26**  
Motor Bomba de Tornillo.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
PUESTA A TIERRA	CONEXIONES FLOJAS	VIBRACIÓN	GRADUAL	2 H-H, Ajuste de conexiones con un costo aproximado de 250\$	Análisis de Vibración
VENTILADOR	RUPTURA	VIBRACIÓN	GRADUAL	4 H-H, Reemplazo de ventilador con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Análisis de Vibración
CONEXIONES ELECTRICAS	DESAJUSTE	VIBRACIÓN	GRADUAL	2 H-H, Reajuste de conexiones con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Análisis de Vibración

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 27**  
Motor Bomba Reciprocante.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
PUESTA A TIERRA	CONEXIONES FLOJAS	VIBRACIÓN	GRADUAL	2 H-H, Ajuste de conexiones con un costo aproximado de 250\$	Análisis de Vibración
VENTILADOR	RUPTURA	VIBRACIÓN	GRADUAL	4 H-H, Reemplazo de ventilador con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Análisis de Vibración
CONEXIONES ELECTRICAS	DESAJUSTE	VIBRACIÓN	GRADUAL	2 H-H, Reajuste de conexiones con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Análisis de Vibración

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 28**  
Sistema de Separación.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
TUBERÍAS	FILTRACIÓN	CORROSIÓN	GRADUAL	4 H-H, Reemplazar de válvula con un costo aproximado de 5 a 10 M\$	Estudios de Espesores

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 29**  
Sistema de Suministro de Gas.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
TUBERÍAS	FILTRACIÓN	CORROSIÓN	GRADUAL	8 H-H, Soldadura con un costo aproximado de 5 y 10 M\$	Estudios de Espesores

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 30**  
Sistema de Calentamiento.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
SERPENTINES	FILTRACIÓN	CORROSIÓN	GRADUAL	72 Hrs, Soldadura con un costo aproximado de 5 a 10 M\$	Estudios de Espesor

Fuente: Elaboración propia (2006)

## ADiestramientos PARA EL PERSONAL DE MANTENIMIENTO OPERACIONAL

**Tabla # 31**  
Sistema de Deshidratación.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
INDICADOR DE TEMPERATURA	DESCALIBRACION	MALA CALIBRACIÓN	INFANTIL	2 H-H, Calibración del Indicador de Temperatura con un costo aproximado de 250 \$	Adiestramiento del personal para la calibración de los Indicadores de Temperatura
INDICADOR DE PRESIÓN	DESCALIBRACION	MALA CALIBRACIÓN	INFANTIL	2 H-H, Calibrar del Indicador de Presión con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Adiestramiento del personal para la calibración de los Indicadores de Presión
CONTROL DE NIVEL	LECTURA ERRONEA	MALA OPERACIÓN	SUBITA	2 H-H, Limpieza de columna un costo aproximado de 250 \$	Adiestramiento del personal para la operación de los controles de Nivel.

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 32**  
Sistema de Bombeo.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
SWITCH DE NIVEL	DESCALIBRACIÓN	DESAJUSTE	INFANTIL	2 H-H, Calibrar Switch con un costo aproximado de 250 \$	Adiestramiento del Personal para la calibración de Switch de Nivel

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 33**  
Bombas de Tornillo.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
CAMISAS	FISURA	SOBRECARGA	SUBITA	72 H-H, Reemplazar camisa con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Adiestramiento del personal para el manejo y operación de Bombas de Tornillo

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 34**  
Motor de la Bomba de Tornillo y Reciprocante.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
ESTATOR	QUEMADO	SOBRECARGA	SUBITA	4 H-H, Reemplazar estator con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Adiestramiento del personal para la operación de Motores
RODAMIENTOS	DESGASTE	FALTA DE LUBRICACIÓN	INFANTIL	8 H-H, Reemplazar Motor con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Adiestramiento del personal en materia de lubricación de motores
RODAMIENTOS	ATASCAMIENTO	FALTA DE LUBRICACIÓN	INFANTIL	8 H-H, Reemplazar Motor con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Adiestramiento del personal en materia de lubricación de motores
RODAMIENTOS	RECALENTAMIENTO	FALTA DE LUBRICACIÓN	INFANTIL	8 H-H, Reemplazar Motor con un costo aproximado de 1000 a 5000 \$	Adiestramiento del personal en materia de lubricación de motores
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	FALTA DE LUBRICACIÓN	MALA LUBRICACIÓN	INFANTIL	2 H-H, Reemplazar línea con un costo aproximado de 500 a 1000 \$	Adiestramiento del personal en materia de lubricación de motores

Fuente: Elaboración propia (2006)

#### ACTIVIDADES A REALIZAR MANTENIMIENTO MAYOR

**Tabla # 35**  
Sistema de Deshidratación

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
CHIMENEA DE ENTRADA DE CRUDO	TAPONAMIENTO	DESPRENDIMIENTO DE SÓLIDOS	GRADUAL	100 H-H, Limpieza de la Chimenea con un costo aproximado de 5000 a 1000 \$	LIMPIEZA Y PINTURA

Fuente: Elaboración propia (2006)

**Tabla # 36**  
Sistema de Calentamiento.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
SERPENTINES	FILTRACIÓN	OBSTRUCCIÓN	GRADUAL	72 Hrs, Soldadura con un costo aproximado de 5 a 10 M\$	Operar hasta la falla

Fuente: Elaboración propia (2006)



## ACTIVIDADES A REALIZAR TALLERES

**Tabla # 37**  
Sistema de Deshidratación

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
VALVULA DE SEGURIDAD	NO ABRE	ACUMULACIÓN DE CRUDO EN DIAFRAGMA	GRADUAL	8 H-H, Reemplazar de válvula con un costo aproximado de 5 a 10 M\$	Limpieza y Calibración
VALVULA DE SEGURIDAD	NO CIERRA	ACUMULACIÓN DE CRUDO EN DIAFRAGMA	GRADUAL	8 H-H, Reemplazar de válvula con un costo aproximado de 5 a 10 M\$	Limpieza y Calibración
VALVULA DE SEGURIDAD	NO CIERRA	PERDIDA DE LA ELASTICIDAD DEL RESORTE	SUBITA	8 H-H, Reemplazar de válvula con un costo aproximado de 5 a 10 M\$	Limpieza y Calibración
VALVULA DE SEGURIDAD	DESCALIBRACIÓN	PERDIDA DE LA ELASTICIDAD DEL RESORTE	GRADUAL	8 H-H, Reemplazar de válvula con un costo aproximado de 5 a 10 M\$	Limpieza y Calibración

Fuente: Elaboración propia (2006)

## ACTIVIDADES A REALIZAR TYD

**Tabla # 38**  
Sistema de Calentamiento.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
SERPENTINES	FILTRACIÓN	OBSTRUCCIÓN	GRADUAL	72 Hrs, Soldadura con un costo aproximado de 5 a 10 M\$	Operar hasta la falla

Fuente: Elaboración propia (2006)

## ACTIVIDADES A REALIZAR INGENIERÍA &amp; CONSTRUCCIÓN

**Tabla # 39**  
Sistema de Deshidratación.

Componente/Parte Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Súbita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Efectos de Falla Consecuencia(C) Severidad(S)	Tarea Recomendada
CHIMENEA DE ENTRADA DE CRUDO	FATIGA	SOBREPRESIÓN	GRADUAL	2 H-H, Soldadura de la Chimenea con un costo aproximado de 250 \$	Estudio para el rediseño de la chimenea
CHIMENEA DE ENTRADA DE CRUDO	FILTRACIÓN	SOBREPRESIÓN	GRADUAL	2 H-H, Soldadura de la Chimenea con un costo aproximado de 250 \$	Estudio para el rediseño de la chimenea

Fuente: Elaboración propia (2006)

## **APENDICE D.**

**Manual para el manejo de la Herramienta APT-Maintenance.**



SERIAL

TITULO	PAGINAS	EDICION No.
<b>APT MAINTENANCE</b>	<b>22</b>	<b>1</b>

<b>0</b>	<b>03-02</b>	<b>EMISION ORIGINAL</b>			
REV	FECHA	BREVE DESCRIPCION DEL CAMBIO	PAG.	REVISADO	
FECHA DE EMISION <b>11 de Marzo del 2. 002</b>			ELABORADO ' POR.		
REVISADO POR		FECHA	APROBADO POR		FECHA

## APT Maintenance

El APT Maintenance es una de las herramientas de Optimización Costo Riesgo diseñada por el Grupo de Mantenimiento del Proyecto MACRO, el cual es utilizado para definir intervalos óptimos de mantenimiento, gerencia del deterioro, confiabilidad, desempeño y efectos del ciclo de vida.

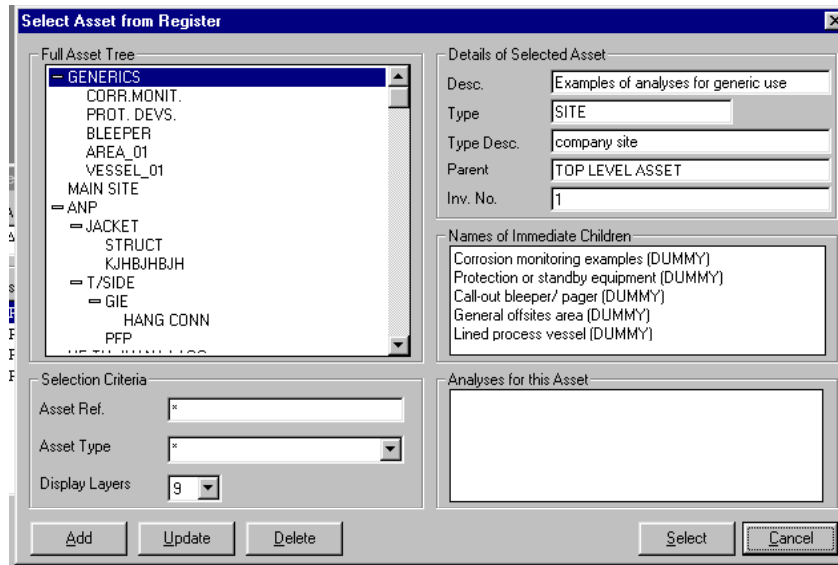
Para entrar al programa es necesario suministrar un nombre de usuario y una clave de acceso. Este es el icono por medio del cual se reconocerá el APT Maintenance

The image shows a login dialog box titled "Enter ID & Password". It has a grey background and a black border. The dialog contains two input fields: "Enter your User ID" with the text "TEST" entered, and "Enter your password" which is currently empty. To the right of the "Enter your User ID" field is an "OK" button, and to the right of the "Enter your password" field is a "Cancel" button.

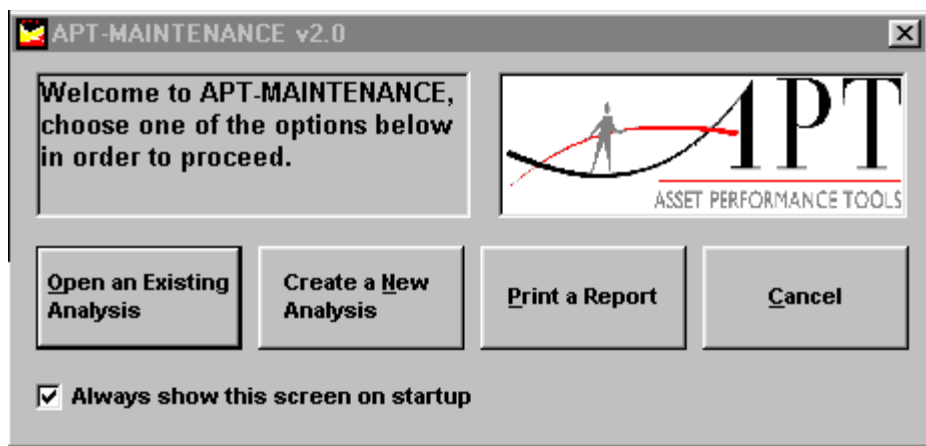
Es importante destacar que para ingresar a la versión 2.0 es necesario que se tenga conectado a su computadora la llave física de protección; sin ella el programa no podrá operar. Luego de hacer click en el icono anterior, se verá la siguiente pantalla

Y es aquí, en esta pantalla en donde se introducirá su clave de identificación, así como el usuario o identificación del mismo.

Luego que se ha accedido al programa, se podrá observar la pantalla donde se muestra el árbol de análisis, que permite la creación la base de datos para la elaboración del análisis.



Después de haber elaborado el árbol de análisis, aparecerá la siguiente pantalla

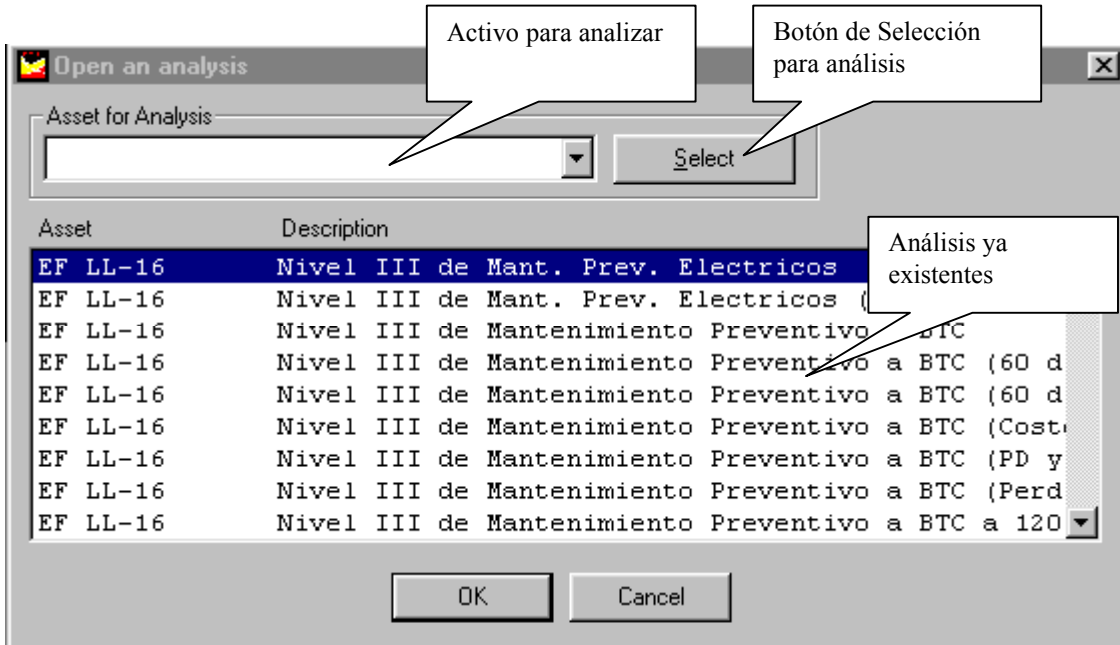


En esta pantalla se tendrá cuatro (04) opciones, las cuales son de izquierda a derecha

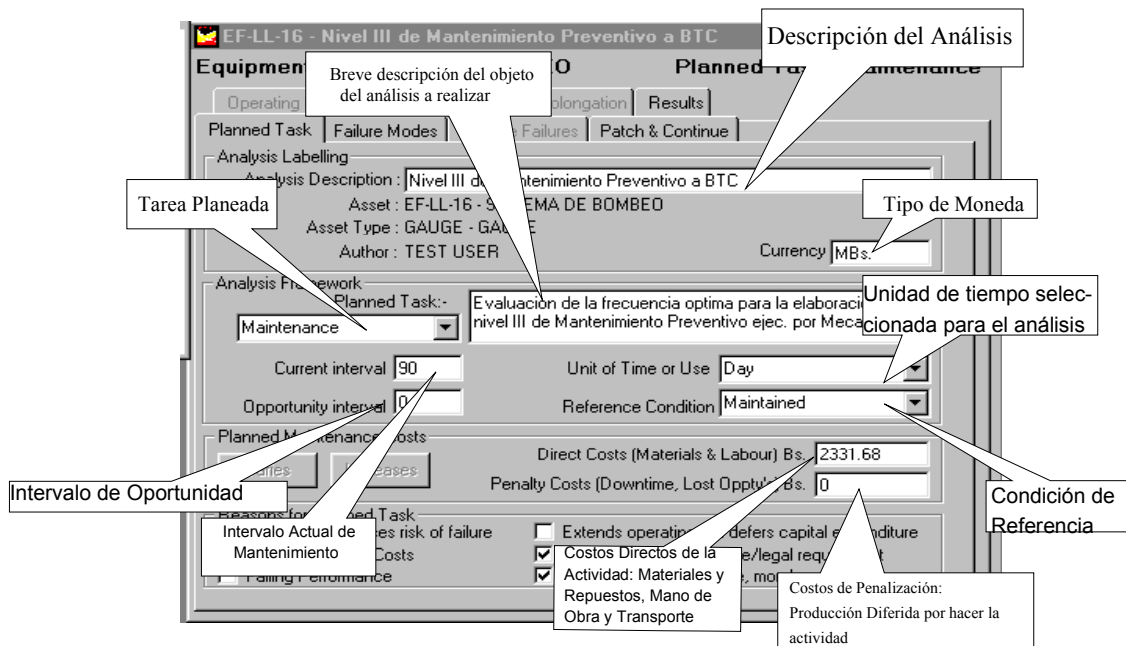
- Abrir un análisis ya existente

- Crear un nuevo análisis
- Imprimir un reporte
- Cancelar

Si se seleccionó la 1ra de las opciones, entonces se verá lo siguiente



Luego de haber realizado la selección del análisis, aparecerá la pantalla de inicio del análisis



## Descripción de la Tarea Planeada

Información requerida en esta pantalla

- Descripción del Análisis En esta celda se debe describir el análisis a realizar.
- Breve descripción del objeto del análisis a realizar En esta celda se debe suministrar el propósito que persigue con la ejecución del análisis.
- Tipo de Moneda En esta celda se debe indicar el tipo de moneda utilizada para el análisis.
- Tarea Planeada En esta celda se debe seleccionar entre un grupo de actividades, la actividad que va a evaluar durante el análisis. Estas actividades pueden ser Mantenimiento, Inspección, Servicio, Reemplazo o una Reparación General.
- Condición de Referencia esta condición estará sujeta a la selección de la tarea planeada.

- Intervalo Actual de Mantenimiento este intervalo representa la frecuencia con la cual es realizada la tarea planeada.
- Intervalo de Oportunidad en esta celda se debe indicar el intervalo de tiempo estimado por se para la ejecución de la tarea, en función de sus observaciones.
- Unidad de tiempo a utilizar para el análisis esta celda se refiere a la unidad de tiempo seleccionada para indicar el intervalo actual de mantenimiento- Estas pueden ser Horas, Días, Semanas, Meses o Años.
- Costos Directos de la Actividades estos costos están representados por el costo de materiales y repuestos utilizados para la ejecución de la actividad, el costo la mano de obra (labor) que intervino en la ejecución de la tarea y el costo de transporte. Estos costos pueden ser variados, incrementales o pueden ser puntuales. Si son variados se verá la siguiente pantalla

Variable Cost Entry

EF LL-16

Nivel III de Mantenimiento Preventivo a BTC

Maintenance - Direct Cost

Unknown	Cost per Occasion
<input type="text"/> %	MBs. <input type="text"/>
<input type="text"/> %	MBs. <input type="text"/>
<input type="text"/> %	MBs. <input type="text"/>

OK Cancel

Porcentaje de oportunidades en las que cuesta x cantidad de Bs

Costo en Bs correspondiente al % anteriormente descrito



Si estos son incrementales, entonces se verá la siguiente pantalla

Increasing Cost Entry

PUMPATOA

When to replace 5 year old Pump A with a new Pump A

Age of asset (Years)	Cost per Occasion
<input type="text"/>	£ <input type="text"/>
<input type="text"/>	£ <input type="text"/>
<input type="text"/>	£ <input type="text"/>

Graph

OK Cancel

- Costos de Penalización En esta celda se deben colocar los costos generados de la paralización del equipo para la ejecución de la actividad, siempre y cuando esto ocurra; es decir, si el equipo necesita ser sacado momentáneamente de operación y esto produce pérdidas de producción. Estos costos pueden ser variados, incrementales o pueden ser puntuales. Si son variados se vera la siguiente pantalla

Variable Cost Entry

EF LL-16

Nivel III de Mantenimiento Prev... a BTC

Maintenance - Direct Cost

Unknown	Cost per Occasion
<input type="text"/> %	MBs. <input type="text"/>
<input type="text"/> %	MBs. <input type="text"/>
<input type="text"/> %	MBs. <input type="text"/>
<input type="text"/>	

OK Cancel

Porcentaje de oportunidades en las que cuesta x cantidad de Bs.

Costo en Bs. correspondiente al % anteriormente descrito

Si estos son incrementales, entonces se verá la siguiente pantalla

**Increasing Cost Entry**

PUMPATO A

When to replace 5 year old Pump A with a new Pump A

Age of asset (Years)	Cost per Occasion
<input type="text"/>	£ <input type="text"/>
<input type="text"/>	£ <input type="text"/>
<input type="text"/>	£ <input type="text"/>

Graph

OK Cancel

En esta misma pantalla también se pueden seleccionar las razones por las que realiza esta tarea planeada. A continuación se presentan estas opciones

**EF LL-16 - Nivel III de Mantenimiento Preventivo a BTC**

Equipment: ESTACION DE FLUJO Planned Task: Maintenance

Operating Costs | Falling Performance | Prolongation | Results

Planned Task | Failure Modes | Restore Failures | Patch & Continue

Analysis Labelling

Analysis Description: Nivel III de Mantenimiento Preventivo a BTC  
Asset: EF LL-16 - ESTACION DE FLUJO  
Asset Type: GALIGE - GALIGE  
Author: TEST USER Currency: MBs.

Analysis Framework

Planned Task: Evaluacion de la frecuencia optima para la elaboracion del nivel III de Mantenimiento Preventivo ejec. por Mecanicos

Current interval: 90 Unit of Time or Use: Day  
Opportunity interval: 0 Reference Condition: Maintained

Planned Maintenance Costs

Direct Costs (Materials & Labor) Bs. 2682.02  
Penalty Costs (Downtime - Cost Oppty's) Bs. 0

Reasons for Planned Task

- Prevents or reduces risk of failure
- Rising Operating Costs
- Falling Performance
- Extends operating life of asset - reduces expenditure
- Compliance with absolute/legal requirement
- Intangibles - public image, morale

Confiability y Riesgo

Costos Operacionales

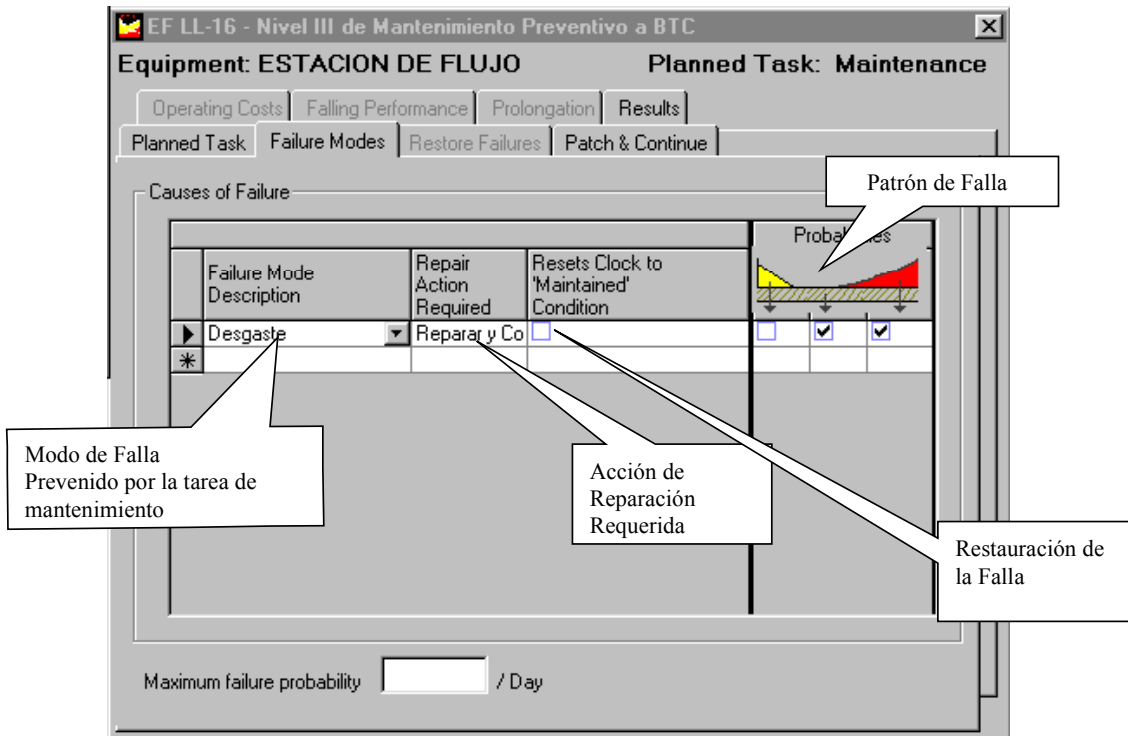
Perdida de Desempeño

Extensión de vida útil

Cumplimiento de las normativas legales

Imagen pública

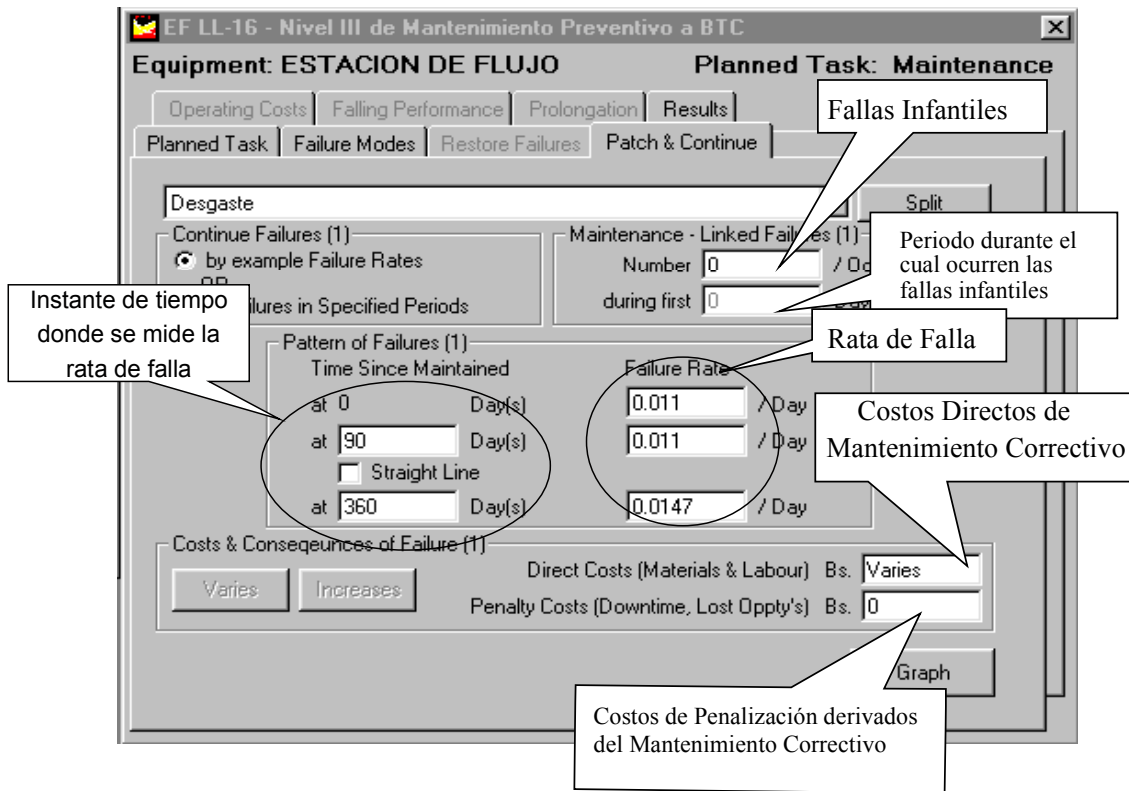
1. **Confiabilidad y Riesgo** (prevención o reducción, pero incluyendo también cualquier riesgo introducido por la Tarea Planeada)



- **Modo de Falla.** Se debe describir cada modo de falla pertinente y/o causa de falla que sea posible. Intente pensar en los modos de falla potenciales o las razones para considerar una acción preventiva. Cualquier historial de fallas o experiencias de fallas reales es evidentemente útil.
- **Acción de Reparación Requeridas** Esta celda debe contener la acción a realizar para corregir el modo de falla.
- **Restauración de la falla** Esta celda se activa cuando la corrección de uno o más de los modos de falla considerados en el análisis, producen que los relojes de deterioro se restablezcan.

- Probabilidades de Falla En esta celda se coloca cual es el patrón de falla seleccionado para el modo de falla anteriormente descrito. La zona amarilla corresponde a una probabilidad de falla infantil, la zona del medio de la curva corresponde a una probabilidad de falla aleatoria y la zona roja de la curva corresponde a una probabilidad de falla por envejecimiento.

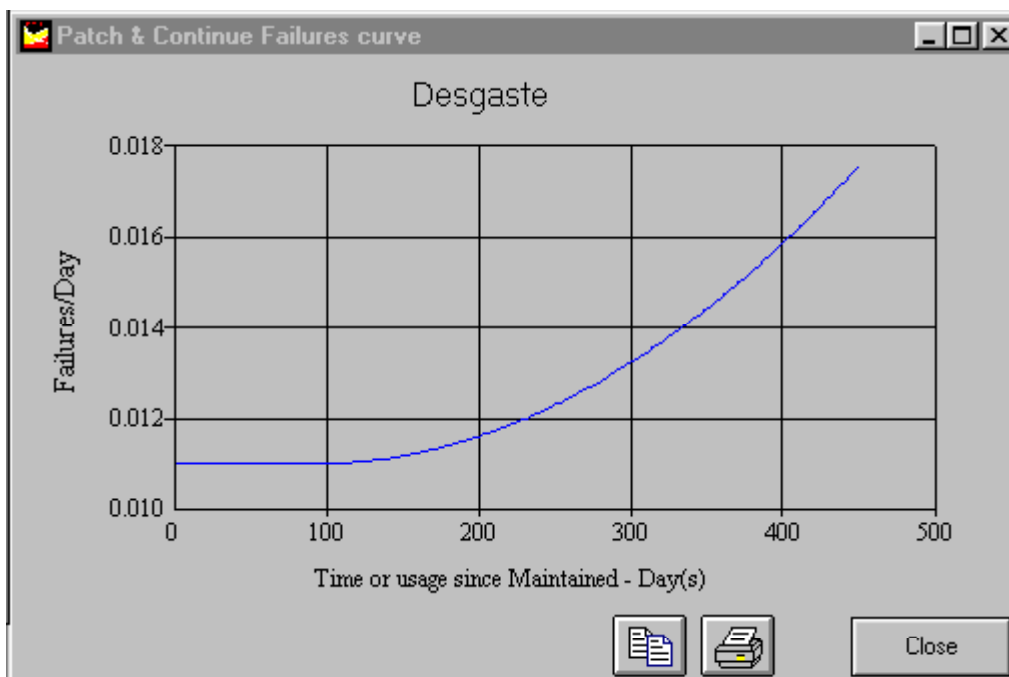
Cuando la acción de reparación es **reparar y continuar**, se abre la siguiente ventana



- Fallas Infantiles Número de fallas ocurridas durante períodos de tiempo inmediatos a la ejecución de la actividad.
- Rata de Falla Se obtiene dividiendo el número de fallas entre el periodo de tiempo seleccionado. El modelo de ratas de falla es determinado por 3 puntos. El primero de estos, está en una fase predeterminada, cualquiera que siga inmediatamente a la tarea

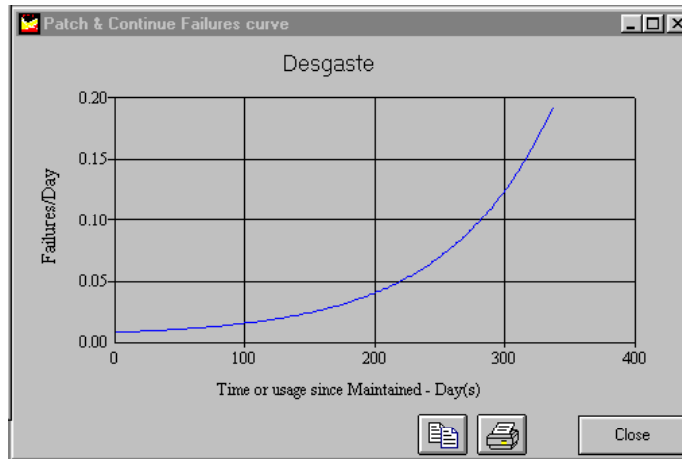
planeada (si no hay ningún riesgo introducido) o al final del periodo de arranque o re arranque (si hay cualquier riesgo introducido).

Se deben introducir los datos (tiempos y ratas de falla) y examinar el modelo de confiabilidad implícito resultante apretando el botón del Gráfico. Se puede acotar el modelo en un formato lineal en lugar de introducir un tercer punto, seleccionando la opción de la “Línea Recta”. El gráfico que representa las ratas de falla cuando se tienen la descripción de 3 puntos, se muestra a continuación



El modelo de fallas en periodos específicos de tiempo, describe una distribución de fallas observadas o proyectadas en períodos de tiempo. Para seleccionar este formato, se debe hacer click delante de la opción “por fallas en periodos específicos”. La tabla de entrada de datos cambia para presentar una tabla de períodos de tiempo consecutivos y el número de fallas observadas/esperadas en cada período. La frecuencia de falla equivalente es calculada para cada período y desplegada en el lado derecho de la tabla. El programa ajusta en una curva a estas ratas de falla implícitas

El formato permite describir 3 periodos; y puede usarse una restricción, en lugar de ingresar un tercer periodo se puede reprimir el modelo a una progresión lineal (seleccionando la opción de línea recta). Se puede ver la curva de ratas de fallas que se ajusta a la información apretando el botón del gráfico y, aquí podemos observar la gráfica resultante cuando se describen los 3 puntos.

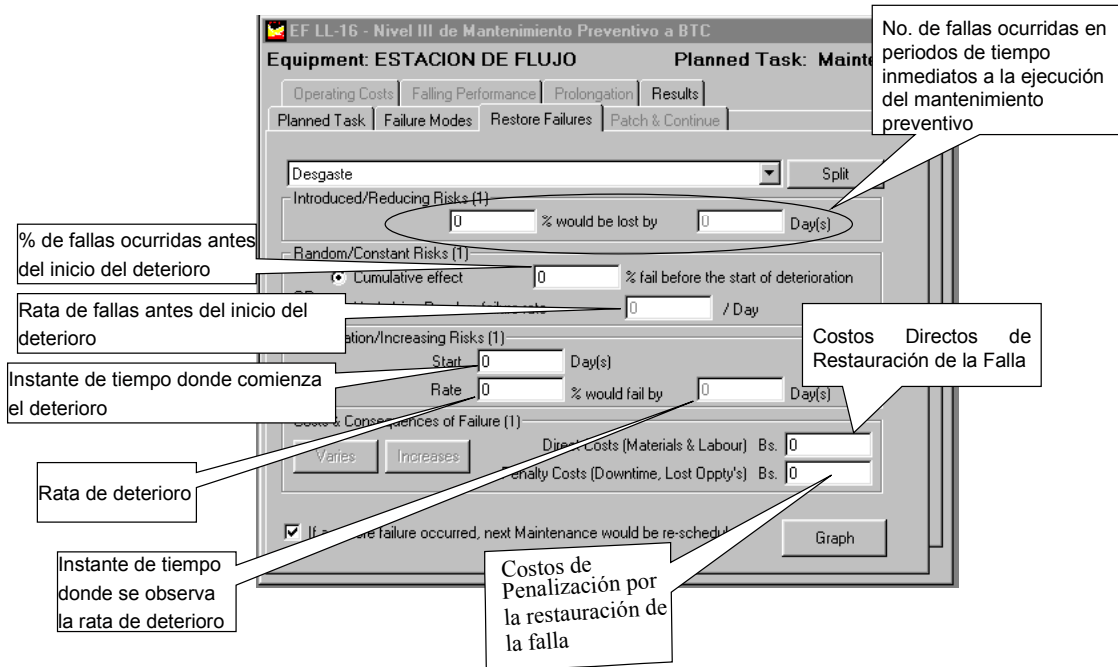


Ambos modelos ofrecen en la primera parte la oportunidad de especificar inicialmente los riesgos o fallas introducidas, o una rata de fallas reducida. Esto corresponde a especificar los problemas de puesta en servicio, que siguen a la tarea planeada; esto incluye errores de mantenimiento, materiales defectuosos u otros riesgos introducidos. Esto es igual a la ‘mortalidad infantil’ o el fallo temprano de vida si se está describiendo un modelo de riesgos de un equipo o vida de un componente. Se deben introducir el número típico de tales problemas iniciales, y el periodo durante el que ellos normalmente serían evidentes.

Es importante que si se seleccionó el patrón de fallas aleatorio y se seleccionó la opción de ratas de fallas, entonces la rata de fallas para el período inicial deber ser igual a la rata de falla para el período siguiente ya que se considera que la falla puede ocurrir en cualquier instante de tiempo.

- Costos de Mantenimiento Correctivo Estos costos corresponden a los egresos por transporte, mano de obra, materiales y repuestos; generados por la aplicación de mantenimiento correctivo. Estos costos pueden ser variados, incrementales, representándose por porcentajes.
- Costos de Penalización Estos costos representan la penalización derivada de la parálisis del activo por causa de la reparación del equipo. Estos costos pueden ser variados o pueden ser puntuales.

Cuando la acción de reparación seleccionada es de Restaurar la falla, entonces se abre la siguiente ventana.



- Riesgos Introducidos o Reducidos Se debe estimar el porcentaje de ocasiones que una falla sería el resultado de la tarea planeada. Esto incluye errores de mantenimiento, materiales defectuosos u otros riesgos introducidos. Esto es igual a la mortalidad infantil o el fallo temprano de vida si se está describiendo solo la

probabilidad de los tipos de falla indicados. El segundo campo describe el período durante el que estas fallas normalmente aparecerían, en absoluto.

- Riesgos Aleatorios o Constantes Los riesgos aleatorios o constantes son introducidos en cualquiera de los 2 formato
  - El efecto acumulativo de todos hasta el punto donde el deterioro empieza a afectar las probabilidades de falla (el porcentaje que ha fallado antes del ataque de deterioro).
  - La rata aleatoria de fallas subyacente, independiente de cuando o cuanto ocurre la tarea planeada. Si se tiene alguna historia de mantenimiento o evidencia de frecuencia de fallas específicas; se puede ingresar el elemento aleatorio directamente. En el caso de restaurar las fallas, cualquier evento puede ser de importancia, afectando la proporción de los equipos que pudieran sufrir deterioro.
- Riesgos de Deterioro o Crecientes Para este modelo es necesario describir el deterioro entre 2 puntos en el tiempo
  - El comienzo del deterioro Este es el primer punto, en donde el deterioro podría ser responsable de uno o más de los modos de falla indicados.
  - El segundo punto puede ser cualquier punto en el modelo de supervivencia que se ha seleccionado. El porcentaje se refiere a las fallas que ocurren por razones de deterioro. Así que el porcentaje aplica solo a la proporción de equipos que todavía está en posición de fallar (es decir, que no ha fallado por otras razones, como las causas inducidas o aleatorias).
- Costos de la Restauración de Fallas Luego de haber estimado el modelo de probabilidad para los modos de falla seleccionados, se deben ingresar los costos directos derivados de esta acción. Se puede hacer una simple suma global estimada, o describir una distribución de posibles costos de falla, o una tendencia. Si una



estimación de la suma global es apropiada, simplemente se ingresa la cantidad en el costo directo, para los materiales y mano de obra.

## 2. Costos Operacionales

Esta ventana se muestra el incremento en los costos de operación para un determinado sistema en un periodo de tiempo finito.

EF LL-16 - Nivel III de Mantenimiento Preventivo a BTC

Equipment: ESTACION DE FLUJO Planned Task: Maintenance

Planned Task Failure Modes Restore Failures Patch & Continue

Operating Costs Falling Performance Prolongation Re...

Increasing Operating Costs

Time Since Last Maintenance Operating

0 Day(s) B.s. 0 / Day

0 Day(s) B.s. 0 / Day

Straight Line

0 Day(s) B.s. 0 / Day

Instante de tiempo donde se estiman los costos operacionales

Costos de Operación para el periodo que se toma como referencia

Costos de Operación para los periodos siguientes

Graph

Sólo se necesita describir los costos de operación si ellos pueden influenciarse por el intervalo de la tarea planeada. Esto significa que los costos de operación están cambiando en el tiempo o deben ser usados desde la condición de la referencia. Si hay un modelo de deterioro, y los costos de operación están subiendo para compensarlo (y se mantienen los niveles del rendimiento), entonces se debe de haber indicado que esos costos de operación están entre las razones para la tarea planeada.

Hay dos (02) formatos para ingresar la información

1. Los costos de operación reales, es decir, las proporciones del gasto en momentos diferentes desde la última tarea planeada.
2. Las cantidades de aumento; es decir los costos adicionales, comparados con los niveles que siguen inmediatamente a la tarea planeada.

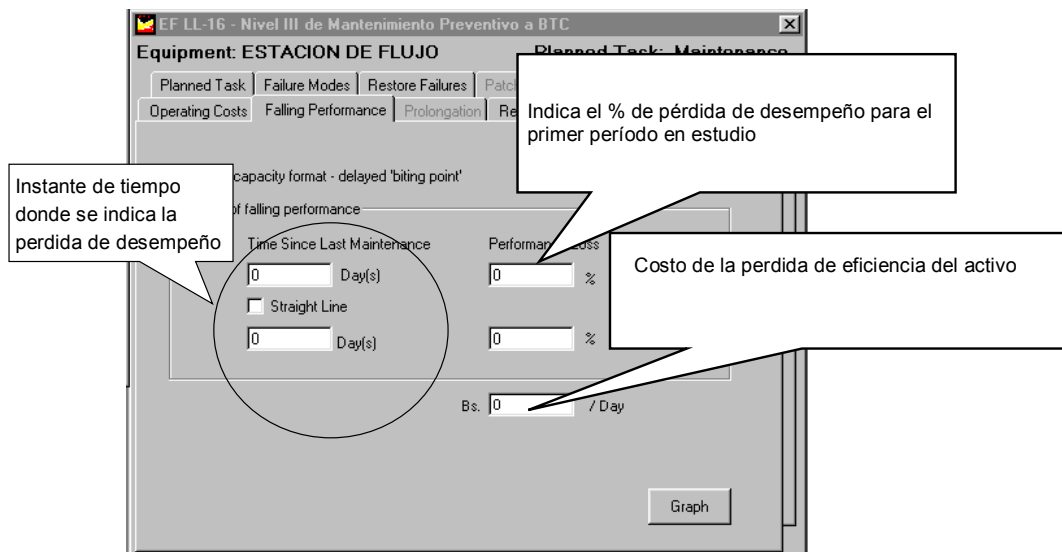
La etiqueta de entrada despliega tres (03) ejemplos de los costos de operación.

El primer punto siempre se refiere al nivel costos que siguen inmediatamente a la tarea planeada (el mejor nivel logable). Si se desea describir que el costo de operación solo se incrementa, simplemente se introduce un “’0” en este primer punto, se notará que los 2 puntos restantes cambian a “costo base + ‘”, indicando que ellos son los costos adicionales; el nivel más sencillo de costos de operación.

En cualquier formato (los costos reales, o solo incrementándose), se pueden restringir el deterioro a un modelo lineal pulsando el botón de la casilla de verificación de la “Línea Recta” en lugar de introducir el último punto del ejemplo.

### 3. Pérdida de Desempeño

En esta ventana se muestra la pérdida de desempeño experimentada por el activo durante el periodo de estudio.



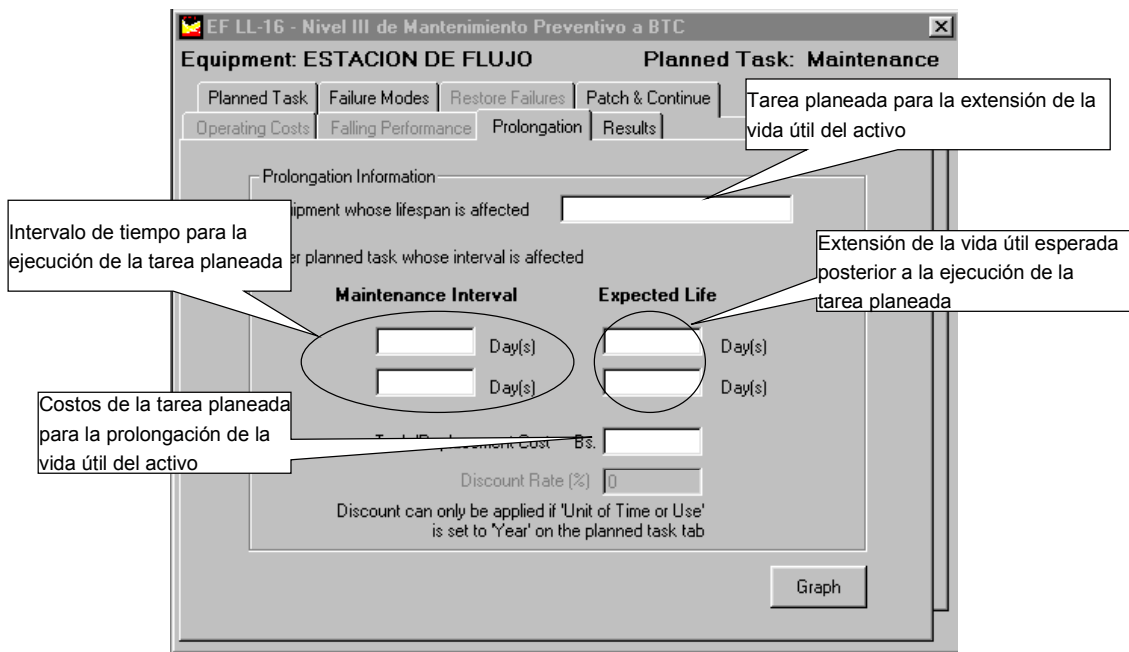
Este es el formato más directo para describir las pérdidas de eficiencia progresivas. Si el volumen del rendimiento o la calidad se está deteriorando, y puede recuperarse por la tarea planeada, entonces se necesita describir el modelo de pérdidas y el valor (monetario) del proceso que está siendo afectado.

Hay 2 formatos para describir la pérdida de eficiencia

- Normal, deterioro progresivo del rendimiento representado un efecto económico directo. En el formato normal, se pueden entrar 2 ejemplos (el programa asume que la máxima eficiencia se alcanza inmediatamente después de la tarea planeada, hay 0% de pérdida a 0 horas/meses/etc.). Una curva se encaja a estos puntos, esta se puede observar apretando el botón del gráfico.
- Formato de capacidad de respaldo; las pérdidas sólo empiezan a incurrir en el impacto financiero cuando la capacidad de respaldo ya se ha agotado y el punto de mínima eficiencia requerida se ha alcanzado. Se puede cambiar entre un formato o el otro haciendo click en la casilla de verificación del formato de capacidad de respaldo. Entonces ocurre un cambio en los requisitos de entrada de datos. Para poder ingresar los datos en este formato se debe conocer cuando el punto de mínima eficiencia requerida probablemente será alcanzado, y un punto después de esto para indicar la proporción subsecuente de deterioro (que se asume como lineal).

#### **4. Prolongación de la vida del activo**

En este formato se describe como cierto tipo de tareas planeadas de mantenimiento se diseñan para extender la vida de los recursos con que se cuentan. Pintura y la lubricación son los ejemplos más comunes. En ese caso, el intervalo de la tarea planeada estará influyendo en un ciclo más grande, más largo de deterioro. Este normalmente es el ciclo de vida del equipo (el intervalo del reemplazo para el recurso afectado), pero no siempre. Es la prolongación de la vida el rasgo que APT- Maintenance también puede usar para modelar las interacciones entre las tareas de mantenimiento y los recursos una tarea más pequeña, frecuente, puede afectar la necesidad de acciones más grandes, menos frecuentes.



En esta ventana se busca la descripción de las tareas de mantenimiento que persiguen la extensión de la vida útil del activo, así como también la frecuencia con que estas son realizadas.

## 5. Imagen Pública y Restricciones Legales

EF LL-16 - Nivel III de Mantenimiento Preventivo a BTC

Equipment: ESTACION DE FLUJO      Planned Task: Maintenance

Operating Costs | Falling Performance | Prolongation | Results

Planned Task | Failure Modes | Restore Failures | Patch & Continue

Analysis Labelling

Analysis Description: Nivel III de Mantenimiento Preventivo a BTC

Asset: EF LL-16 - ESTACION DE FLUJO

Asset Type: GALIGE - GALIGE

Author: TEST USER      Currency: MBs.

Analysis Framework

Planned Task: Maintenance

Current interval: 90      Unit of Time or Use: Day

Opportunity interval: 0      Reference Condition: Maintained

Planned Maintenance Costs

Direct Costs (Materials & Labour) Bs. 2682.02

Penalty Costs (Downtime, Lost Oppty's) Bs. 0

Reasons for Planned Task

Prevents or reduces risk of failure       Extends operating life/defers capital expenditure

Rising Operating Costs       Compliance with absolute/legal requirement

Falling Performance       Intangibles, public image, morale

Estas dos (02) categorías seleccionadas indican el cumplimiento de las normativas legales existentes para la gerencia de activos, así como también lo concerniente a la imagen pública de la empresa.

## 6. Cálculo de los Resultados

Luego de que se ha descrito la tarea planeada, y se han cuantificado todas las razones para hacerla, es tiempo de perfeccionar la combinación. En la etiqueta de los resultados, se pueden explorar todos los costos, riesgos e implicaciones de la actuación de las alternativas de estrategias de mantenimiento. Primeramente, sin embargo, se debe especificar un rango de intervalos de la tarea para el examen. Se puede hacer esto entrando en un punto de inicio del cálculo (el primer intervalo de mantenimiento que se debe considerar) y el tamaño del intervalo (el valor a incrementar para los intervalos subsecuentes a ser evaluados).

## CÁLCULO DE RESULTADOS

The screenshot shows the 'Planned Task: Maintenance' window for 'ESTACION DE FLUJO'. It features several input fields and a results table. Callout boxes provide the following explanations:

- Punto de inicio para el calculo de resultados:** Points to the 'First interval calculated' field.
- Salto de tiempo para el calculo de resultados:** Points to the 'Calculate every' field.
- Máximo intervalo para la ejecución del mantenimiento:** Points to the 'Maximum maintenance interval' field.
- Intervalo actual de mantenimiento:** Points to the 'Current interval' field.
- Intervalo seleccionado para el mantenimiento:** Points to the 'Selected interval' dropdown menu.
- Intervalo de Mantenimiento Resultante:** Points to the 'Maintenance Interval' column in the table.
- Costos Directos de realizar la tarea de Mantenimiento resultante:** Points to the 'Direct Costs' column in the table.
- Impacto total en el negocio:** Points to the 'Total Business Impact' column in the table.

Maintenance Interval (Day(s))	Direct Costs (MBs./Day)	Total Business Impact (MBs./Day)
100	57.7	57.7
120	55.8	55.8
140	55.6	55.6
160	56.9	56.9
180	59.5	59.5
200	63.3	63.3
220	68.6	68.6
240	75.4	75.4

El tamaño de la tabla variará con los factores contribuyentes del análisis, y el número de intervalos de mantenimiento calculados. El APT- Maintenance busca el óptimo y, si uno se encuentra (o el Impacto Total está incrementándose), despliega cinco intervalos mas allá de él. Si ningún óptimo se encuentra (o el Impacto total está disminuyendo), entonces diez intervalos son calculados y desplegados.

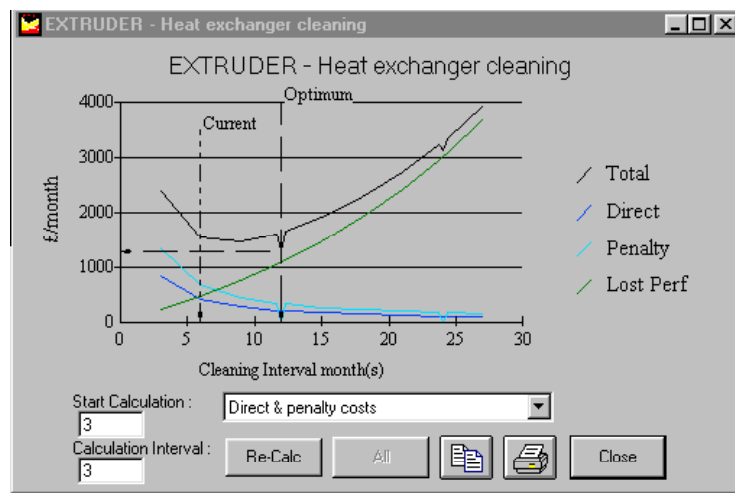
Si el rango inicial incluye una solución Óptima, se debe ver una fila resaltada en que el impacto comercial total (la columna de la mano derecha) está en un mínimo. Este intervalo de mantenimiento logra la mejor combinación de costos, riesgos, confiabilidad, etcétera (cualquier cosa que se haya considerado para la tarea planeada).

Si no hay ninguna estrategia óptima resaltada, se debe verificar la tendencia en el Impacto Comercial Total. Si los Costos se están reduciendo con los intervalos de mantenimiento más largos, puede ser que su rango del calculo simplemente no ha alcanzado el óptimo todavía. Pruebe recalculando con un punto de inicio mayor y/o los

tamaños del paso más grandes. Alternativamente, si el Impacto Total esta subiendo inmediatamente del primer intervalo calculado, quizás se tiene el punto de inicio por encima del óptimo Pruebe reduciendo la salida y los tamaños del paso (y recalcular).

Una vez se ha calculado la tabla de resultados, se puede pulsar el botón de gráfico para desplegar la información en forma gráfica.

Pantalla de Resultados - Costos Directos y de Penalización



Pantalla de Resultados - Costos Planeados y No Planeados

