

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**PROPUESTAS PARA EL INCREMENTO DE LA
CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS, BASADO EN
UN ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ.**

**CASO: SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA DE CALDERAS DE UNA
PLANTA PRODUCTORA DE METANOL.**

Elaborado por:

Jesús Adolfo Martínez Calderón

C.I. 15.875.564

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito
parcial para optar al título de**

INGENIERO MECÁNICO

Barcelona, Febrero de 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



PROPUESTAS PARA EL INCREMENTO DE LA
CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS, BASADO EN
UN ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ.

CASO: SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA DE CALDERAS DE UNA
PLANTA PRODUCTORA DE METANOL.

Asesores:

Ing. Edgar Rodríguez

Asesor Académico

Ing. Luis Salazar

Asesor Industrial

Barcelona, Febrero de 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



PROPUESTAS PARA EL INCREMENTO DE LA
CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS, BASADO EN
UN ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ.

CASO: SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA DE CALDERAS DE UNA
PLANTA PRODUCTORA DE METANOL.

El Jurado hace constar que ha asignado a esta tesis la calificación de:

EXCELENTE

Jurado:

Ing. Edgar Rodríguez
Asesor

Ing. Diógenes Suárez
Jurado

Ing. Luis Griffith
Jurado

Barcelona, Febrero de 2009

RESOLUCIÓN

De Acuerdo al Artículo 44 del Reglamento de Trabajos de Grado:

“Los trabajos son propiedad exclusiva de la Universidad de Oriente, y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento expreso del Consejo de Núcleo respectivo, quien participará al Consejo de Universidades.”

DEDICATORIA

A mi madre, a quien admiraré durante toda mi vida por ser ejemplo de rectitud, trabajo constante y sacrificio, por darme el amor incomparable y la atención que siempre necesite, a ti mamá dedico todo mi esfuerzo y mis primeros logros personales, se que sin ti y sin tu apoyo nunca hubiera llegado hasta aquí. Espero siempre estés orgulloso de mi así como siempre lo estaré yo de ti.

A mi Abuela Celsa, por todo el amor y todas las enseñanzas que pude obtener mientras fuiste mi abuela y madre, se que siempre has estado y siempre estarás cuidándome. Nunca olvidare todos los valores y los gestos de cariño que con tanto amor me diste.

A mi padre, que siempre has sido el mejor padre, gracias a todos tus consejos, cariños, atenciones, y sobre todo por enseñarme valores de constancia y perseverancia que necesitamos todas las personas para salir siempre adelante, a ti papa te dedico la primera alegría de muchas que se que están por venir en este y los próximos años.

A mis Tíos Yoleida y Carlos quienes han sido en mi vida, las mejores personas que he conocido, siempre están allí, para lo que sea y sin importar el donde ni cuando, me han mostrado con esmero y con paciencia todo lo que pueden enseñarme de la vida, además de trabajo y honestidad, mi vida no seria la misma si no hubiesen estado ustedes a mi lado. Espero siempre ser su sobrino, hijo y hermano. Los quiero muchísimo y no me cansare nunca de admirarlos.

A la Familia Rodríguez Collado, por darme todo su apoyo, consejos, cariño, gracias por creer en mí siempre, estaré eternamente agradecido por todas sus atenciones.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen del Valle, por darme la salud, fortaleza, sabiduría y paciencia en todas las etapas de mi vida, gracias por escucharme siempre.

A mis hermanas, Angela y Maria Fernanda, para ustedes hermanitas va este logro, espero tenerlas siempre cerca de mi ya que sus cariños y su presencia me hace muy bien, las quiero muchísimo, espero sigan sus estudios como lo han hecho hasta ahora, para así celebrar dentro de poco a dos nuevas profesionales.

A Numilza por su ayuda continua, consejos y brindarme todo el cariño que tiene, siempre orgulloso de tenerte cerca de mi y cuidar de la familia tan bella que has formado junto a mi padre y mis hermanas.

A todas mis primas y primos, seguimos formando profesionales en la familia, ya soy uno más de ustedes, y sigo estando muy orgulloso por que se que muy cerca vienen mas, andreina, stephanie, Gabriela, Sofía, y ahora mi nuevo primo Sebastián.

A mis amigos, siempre estaré agradecido por haberlos conseguido, ustedes saben que son mis hermanos, y que junto a ustedes esta vida ha sido única, a ustedes Frank, Julio, Javier, Marcos, Maria Valeria, Francisco, Daniela, Elda, Luis, Manuel, Eduardo, Jessica, Argenis, Yineska, Jesús, Mario, Liliana, Simón, Arturo, Julián, Rubén y Lisette. A todos ellos debo la mejor época de vida y estudio que pude tener.

A los Profesores Diógenes Suárez, Melida León y Darwin Bravo, por su valiosa colaboración, amistad y actitud siempre positiva e inspiradora, además de brindarme toda su amistad y apoyo incondicional, sin su ayuda no hubiese sido posible la realización de este trabajo de grado.

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo consiste en proponer mejoras para el incremento de la confiabilidad de los equipos pertenecientes al sistema de alimentación de agua de calderas de la planta Metor, S.A., mediante la metodología del análisis causa raíz. Para lograr este objetivo se realizó un diagnóstico de la situación actual de los equipos que conforman dicho sistema, recopilando información referente a sus características y funcionamiento. Luego se realizó un análisis de criticidad que permitió determinar los equipos críticos de dicho sistema. Seguidamente se realizó un estudio de confiabilidad para determinar la confiabilidad actual de los equipos críticos y así poder compararla con el valor de confiabilidad establecido por la empresa, lo cual arrojó que estos valores se encontraban por debajo del 90% y que se encuentran en la etapa de desgaste. Se aplicó la herramienta Análisis Causa Raíz, para determinar las causas que originan las fallas de los equipos críticos. Por último se analizaron dichas causas raíces, y en base a éstas se propusieron actividades que permitirán reducir la ocurrencia de las fallas de los equipos críticos, también se analizaron los resultados obtenidos, y en base a estos se obtuvieron una serie de conclusiones, entre las más resaltantes se pueden mencionar; Los equipos pertenecientes a dicho sistema carecen de controles estadísticos que permitan realizar estudios previos para establecer prioridades de mantenimiento; los equipos críticos son: E-205, P-621A y P-624A; el mayor porcentaje de las fallas en el sistema de agua de calderas son debidas a corrosión, fatiga, falla de cojinetes, fallas de los filtros de succión y fallas de los sellos mecánicos. Se recomienda la aplicación de las actividades propuestas ya que se estima que reducirá la ocurrencia de las fallas y por lo tanto se incrementará la confiabilidad del sistema.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESOLUCIÓN	ivv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	viii
ÍNDICE GENERAL	viii
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I	19
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1 Generalidades de la Empresa	19
1.1.1 Reseña Histórica	19
1.1.2 Ubicación.....	20
1.1.3 Accionistas	20
1.1.4 Visión de la Empresa.....	21
1.1.5 Misión de la Empresa	21
1.1.6 Estructura Organizativa	22
1.1.7 Descripción del Proceso de Producción de Metanol	26
1.2 Planteamiento del Problema.....	31
1.3 Objetivos	33
1.3.1 Objetivo General.....	33
1.3.2 Objetivos Específicos	33
1.4 Justificación	34
1.5 Alcance.....	34
1.6 Limitaciones.....	35
CAPÍTULO II	36
MARCO TEÓRICO	36
2.1 Antecedentes	36

2.2 Bases Teóricas.....	38
2.2.1 Bombas Centrifugas	38
2.2.1.1 Características Generales de las Bombas Centrifugas	38
2.2.1.2 Bombas Centrifugas Multietapas	38
2.2.1.3 Características de las Bombas Centrifugas Multietapas	39
2.2.2 Caldera.....	39
2.2.2.1 Funcionamiento de una Caldera	39
2.2.2.2 Tipos de Calderas	40
2.2.3 Mantenimiento.....	41
2.2.3.1 Objetivos del Mantenimiento.....	41
2.2.3.2 Tipos de Mantenimiento.....	42
2.2.3.2.1 Mantenimiento Correctivo:.....	42
2.2.3.2.2 Mantenimiento Preventivo.....	42
2.2.3.2.3 Mantenimiento Predictivo:	42
2.2.3.3 Parámetros de Mantenimiento.....	42
2.2.3.3.1 Confiabilidad $R(t)$	43
2.2.3.4 Indicadores de Gestión de Mantenimiento.....	47
2.2.4 Definición de Fallas.....	47
2.2.4.1 Tipos de Fallas	48
2.2.4.2 Registro de Fallas	48
2.2.5 Análisis de Criticidad (AC).....	49
2.2.5.1 Etapas a seguir en el AC	49
2.2.6 Análisis Causa Raíz.....	51
2.2.6.1 Beneficios del ACR.....	51
2.2.6.2 Problema o falla sustancial.....	51
2.2.6.3 Modo (causa de falla).....	52
2.2.6.4 Hipótesis.....	52
2.2.6.5 Tipos de causa raíz	52
2.2.6.6 Aplicación del ACR.....	53

CAPÍTULO III.....	54
MARCO METODOLÓGICO.....	54
3.1 Diseño y Tipo de Investigación	54
3.2 Población y Muestra.....	55
3.3 Técnicas de Recolección de Datos.....	55
3.4 Técnicas de Análisis.....	56
3.5 Procedimiento	58
CAPÍTULO IV	61
DESARROLLO.....	61
4.1 Diagnóstico de la Situación Actual de los Equipos Pertenecientes al Sistema de Alimentación de Agua de Calderas.	61
4.1.1 Descripción del Sistema	61
4.1.1.1 Características de los Equipos que Conforman el Sistema de Alimentación de Agua de Calderas	63
4.1.2 Recopilación de la Data de los Equipos que Conforman el Sistema de Alimentación de Agua de Calderas.	72
4.2 Identificación de los Equipos Críticos del Sistema Mediante Criterios Ponderados	75
4.2.1 Metodología Utilizada para la Recolección de la Información Necesaria para la Ejecución del Análisis de Criticidad.....	78
4.2.2. Ejecución del Análisis de Criticidad.	79
4.3 Estimación de la Confiabilidad de los Equipos Críticos del Sistema de Alimentación de Agua de Calderas.	80
4.3.1 Descripción Operacional del Software Autocon 1.0	83
4.4 Determinación del Origen de las Fallas de los Equipos Críticos Usando la Herramienta Técnica de Análisis Causa Raíz (Acr).....	85
4.5 Formulación de las Mejoras a los Planes de Mantenimiento de los Equipos Críticos del Sistema Basado en los Resultados del Análisis Causa Raíz.	91
4.6 Propuesta de Indicadores de Gestión que Permitan la Evaluación de las	

Mejoras Establecidas a los Planes de Mantenimiento.....	92
4.6.1 Disponibilidad (D).....	93
4.6.2 Cumplimiento de Programas de Mantenimiento Preventivo (CPMP).	93
4.6.3 Efectividad Operacional (E).	94
4.6.4 Mantenibilidad (M).....	94
CAPÍTULO V.....	96
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	96
5.1 Situación Actual.....	96
5.1.1 Diagnóstico de los Equipos del Sistema de Alimentación de Agua de Caldera.....	96
5.1.2 Recopilación de la Data.....	97
5.2 Resultados del Estudio de Criticidad.....	99
5.3 Resultados de la Estimación de Confiabilidad.....	102
5.4 Resultados del Análisis Causa Raíz (Acr)	105
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES.....	123
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA	125
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSOS.....	164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
4.1 Características del TK-620.....	47
4.2 Características de la P-621A.....	49
4.3 Características de la P-621B.....	50
4.4 Características del E-205.....	51
4.5 Características del V-201.....	52
4.6 Características de las bombas P-624 A/B.....	54
4.7 Características de las calderas B-620 A/B.....	55
4.8 Fallas TK-620.....	56
4.9 Fallas P-621A.....	57
4.10 Fallas P-621B.....	57
4.11 Fallas E-205.....	57
4.12 Fallas V-201.....	58
4.13 Fallas P-624A.....	58
4.14 Fallas P-624B.....	59
4.15 Fallas B-620A.....	59
4.16 Fallas B-620B.....	59
4.17 Matriz de criticidad basada en la metodología D.S.....	62
4.18 Criticidad de equipos basada en la metodología D.S.....	63
4.19 Encuestados y sus ponderaciones.....	64
4.20 Matriz de criticidad del equipo bomba auxiliar P-624A.....	65
4.21 Problemas y modos de ocurrencia de los equipos críticos.....	73
4.22 Matriz de verificación de hipótesis para el E-205.....	75
5.1 Listado de los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas.....	82
5.2 Valores de criticidad de los equipos del sistema de alimentación de agua de calderas.....	86

5.3	Comparación de las funciones de confiabilidad para el E-205.....	89
5.4	Resultados de estimación de confiabilidad para los equipos críticos.....	90
5.5	Actividades propuestas para la caldera E-205.....	93
5.6	Actividades propuestas para la caldera E-205.....	95
5.7	Actividades propuestas para la caldera E-205.....	98
5.8	Actividades propuestas para la bomba P-621A.....	103
5.9	Actividades propuestas para la bomba P-621A.....	105
5.10	Actividades propuestas para la bomba P-624A.....	109
5.11	Actividades propuestas para la bomba P-624A.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1.1 Ubicación geográfica de la planta Metor, S.A.....	2
1.2 Distribución accionista de Metor, S.A.....	3
1.3 Organigrama de la empresa Metor, S.A.....	6
1.4 Organigrama de la gerencia de mantenimiento de Metor, S.A.....	7
1.5 Diagrama global del proceso de producción de metanol.....	8
2.1 Matriz de criticidad de equipos basada en la metodología D.S.....	32
4.1 Diagrama del proceso de alimentación de agua de calderas.....	45
4.2 Tanque de acero inoxidable TK-620.....	46
4.3 Bomba centrífuga multietapa P-621A.....	48
4.4 Bomba centrífuga multietapa P-621B.....	48
4.5 Caldera E-205.....	51
4.6 Tambor de vapor de caldera V-201.....	52
4.7 Bomba centrífuga multietapa P-624A.....	53
4.8 Bomba centrífuga multietapa P-624B.....	53
4.9 Calderas de recuperación de vapor B-620 A/B.....	55
4.10 Equipo natural de trabajo (ENT).....	72
4.11 Esquema del problema y los modos de las fallas en el árbol lógico.....	73
4.12 Diagrama general del árbol lógico de decisión.....	76
5.1 Árbol lógico de decisión E-205 (1).....	92
5.2 Árbol lógico de decisión E-205 (2).....	94
5.3 Árbol lógico de decisión E-205 (3).....	97
5.4 Árbol lógico de decisión P-621A (1).....	102
5.5 Árbol lógico de decisión P-621A (2).....	104
5.6 Árbol lógico de decisión P-624A (1).....	108
5.7 Árbol lógico de decisión P-624A (2).....	110

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico	Pág.
5.1 Distribución del número de fallas de los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas.....	83
5.2 Pareto de las fallas presentadas por los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas.....	85
5.3 Jerarquización de los equipos del sistema de acuerdo a su nivel de criticidad.....	87
5.4 Weibull a mano alzada E-205.....	88
5.5 Weibull con Autocon 1.0 E-205.....	89

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento comprende todas aquellas actividades y estrategias que deben ser ejecutadas para aprovechar la vida de los equipos, maximizar sus funciones y prevenir fallas futuras en los mismos, lo que representa ahorros a largo plazo, garantizando la producción y seguridad de los trabajos.

Actualmente las industrias conservan cada vez más los bienes que le pertenecen y han empezado a comprender la importancia de la gestión del mantenimiento, con el propósito de garantizar la confiabilidad y disponibilidad, para mantener los niveles de productividad de acuerdo a los requerimientos de la empresa.

Los equipos mecánicos son activos primordiales en las plantas, y un mantenimiento confiable constituye un factor de suma importancia en la función para la cual fueron creados. En este sentido, la Planta Metanol de Oriente, METOR, S.A., dentro de su política operativa, mantiene una continuidad en sus procesos y equipos; con la finalidad de cumplir con su objetivo, el procesamiento del gas natural rico en metano y la obtención del producto final, metanol.

La empresa Metor S.A; cuenta con un sistema de alimentación de agua de calderas integrado por 9 equipos estáticos y rotativos además de agua previamente desmineralizada, los cuales proporcionan mediante un proceso, el vapor de media y alta presión necesario para el funcionamiento de los equipos y procesos en la producción del metanol. De allí la importancia de los equipos del sistema de alimentación de agua de calderas dentro del proceso de producción de metanol, razón por la cual requieren ser sometidos a diferentes aplicaciones de mantenimiento para garantizar su funcionamiento y la continuidad del proceso; a través de planes o procedimientos específicos para ello.

El estudio que se presenta a continuación, consta de cinco capítulos, donde se describe la problemática planteada en torno a las fallas que presentan los equipos del sistema de alimentación de agua de calderas, se determinan las causas raíces de estas fallas y se presentan propuestas de mejora.

Capítulo 1: Planteamiento del Problema; se presenta la descripción de la empresa de la Planta Metanol de Oriente, METOR, S.A. y se expone el planteamiento del problema, objetivos de la investigación, justificación, alcance y limitaciones de la misma; presentando claramente los motivos por los cuales se realiza la investigación.

Capítulo 2: Marco Teórico; se desarrolla la teoría referente a la investigación, así como los fundamentos teóricos, identificando de este modo la metodología a aplicar para el estudio de las fallas de los equipos del sistema..

Capítulo 3: Marco Metodológico; se describe el tipo de investigación, población, muestra, técnicas de recolección de datos, técnicas de análisis y el procedimiento para el logro de cada uno de los objetivos planteados, en donde se identifica el uso que se da a cada técnica de recolección y análisis.

Capítulo 4 Desarrollo: Se describe en forma detallada todo el procedimiento y cada una de las herramientas que permitieron alcanzar los objetivos planteados.

Capítulo 5 Análisis de los Resultados; se exponen los datos obtenidos y analizados para el desarrollo de los objetivos a través de tablas y gráficos; y se presenta las soluciones planteadas a las causas que generan las fallas.

Por último están las conclusiones y recomendaciones generadas de la investigación, culminando con la bibliografía y los diversos apéndices recabados durante el trabajo investigativo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Generalidades de la Empresa

Metanol de Oriente, METOR, S.A., es una empresa productora y comercializadora del producto químico METANOL (CH_3OH) con una capacidad de producción de 2200 toneladas métricas diarias de Metanol de alta pureza (superior a 99,85%) que cumplen con las Especificaciones Federales Grado AA, producto de amplio uso en la industria química y petroquímica.

1.1.1 Reseña Histórica

La planta Metanol de Oriente, METOR, S.A., se inauguró oficialmente el día 5 de mayo de 1.994, con un costo total del proyecto de aproximadamente 330 millones de dólares, de los cuales, cerca de 270 millones se invirtieron en la construcción de la planta. De la inversión destinada para la ejecución del proyecto, el 40% fue aportado por los accionistas de la empresa y el 60% restante a través de un financiamiento internacional liderizado por la International Finance Corporation (IFC). Su razón social es la de Sociedad Anónima.

De un total de 4 millones 500 mil horas-hombre invertidas en la ejecución del proyecto, aproximadamente el 95% correspondió a mano de obra venezolana. Con relación a la ingeniería y servicios técnicos el 77% fue realizado por empresas y personal adicional.

1.1.2 Ubicación

Las instalaciones de la planta, se encuentran ubicadas en el Complejo Petroquímico e Industrial “José Antonio Anzoátegui” Jose, a orillas del mar caribe, entre Puerto Píritu y Barcelona en el Estado Anzoátegui. Ver figura 1.1.



Figura 1.1. Ubicación Geográfica de la Planta METOR S.A.
Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A.

1.1.3 Accionistas

El capital accionario de METOR, S.A.; está integrado por las empresas:

- Pequiven
- Mitsubischi Corporation
- Mitsubischi Gas Chemical
- Empresas Polar
- IFC

Distribuida como se muestra en la figura 1.2.

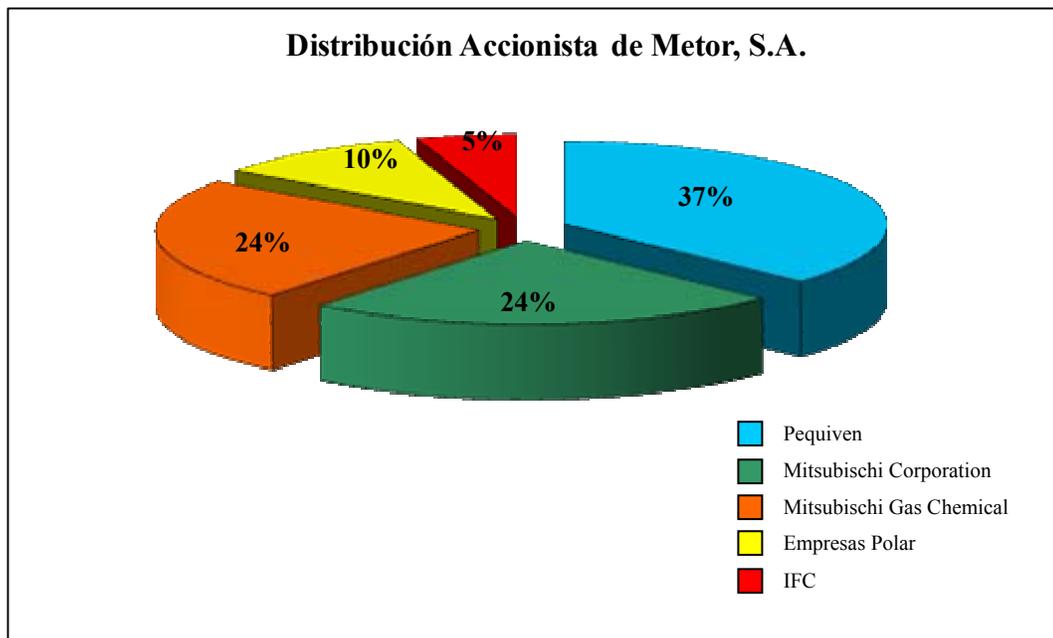


Figura 1.2. Distribución Accionista de Metor, S.A.

Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A.

Las contratistas principales de la construcción de la planta fueron: Mitsubishi Heavy Industries (MHI), de Japón, e Inelectra, firma venezolana de Ingeniería.

1.1.4 Visión de la Empresa

Ser una de las empresas líderes del negocio de metanol y consolidar su participación en el mercado mundial, en base al cumplimiento de los estándares de producción, entregas oportunas y seguras, satisfaciendo las expectativas de los clientes, en armonía con el ambiente y agregando valor a los accionistas, trabajadores y entorno social.

1.1.5 Misión de la Empresa

Mantener una posición competitiva en el mercado mundial de metanol, a través de la producción y suministro confiable de productos de calidad, creando valor para sus clientes, accionistas y trabajadores, cumpliendo con los principios de responsabilidad social. Enmarcado en nuestros valores rectores, mejoramos continuamente los procesos y reforzamos la excelencia del personal.

1.1.6 Estructura Organizativa

La estructura organizativa de METOR, S.A. está formada de la siguiente manera:

Gerencia General: Es una unidad de línea adscrita directamente a la Junta Directiva. Tiene como misión dirigir la administración y funcionamiento de la empresa hacia el logro de los objetivos previstos y en consecuencia con las disposiciones de la Junta Directiva.

Consultoría Jurídica: Tiene como misión mantener las actuaciones de la empresa dentro del marco legal vigente, orientado a la administración en la adecuada interpretación de las leyes, decretos y reglamentos que condicionan su gestión.

Gerencia de Administración y Finanzas: Su misión es dirigir la gestión administrativa Financiero-Contable de la empresa, garantizando la contabilización de sus operaciones y la captación y eficiente aplicación de los fondos necesarios para las operaciones presentes y futuras, dentro de la política y estrategias aprobadas por la alta dirección, con apego a las leyes y disposiciones que rigen la materia.

Gerencia de Recursos Humanos y Servicios Generales: Es una unidad línea funcional adscrita a la Gerencia General. Su misión es asegurar la disponibilidad de recursos humanos, con los requerimientos de la empresa y las condiciones para que la

actividad laboral se desarrolle en concordancia con los parámetros de eficiencia y productividad exigidos. Además, cumple con la misión de garantizar la gestión de procura de insumos, bienes y servicios en las mejores condiciones de oportunidad, calidad, costos y el resguardo, control y despacho de los materiales requeridos.

Gerencia de Planta: Es una unidad que tiene como misión planificar y controlar la producción de metanol de acuerdo con los estándares de calidad establecidos. Garantiza que las actividades de producción, mantenimiento e ingeniería, estén basados en una operación segura y se realicen oportunamente.

Gerencia de Mantenimiento: Es una unidad que reporta a la Gerencia de Planta y tiene por misión, garantizar la disponibilidad operativa de equipos, instalaciones y sistemas industriales bajo su ámbito de responsabilidad, en concordancia con los parámetros de calidad, rentabilidad, oportunidad del servicio y proveer planes y condiciones orientadas a la optimización de la gestión de mantenimiento planificado.

Gerencia Técnica: Su misión es proveer soporte técnico para garantizar un eficiente control del proceso productivo de metanol, asegurando que los cambios de diseño y mejoras sean revisados, documentados e implantados de acuerdo con los requerimientos de los estándares conocidos y aprobados.

Gerencia de Operaciones: Su misión es garantizar el cumplimiento de la meta de producción de metanol, de acuerdo al plan anual de producción y en concordancia con los parámetros de calidad, rentabilidad y seguridad.

En la figura 1.3, se muestra el organigrama de la empresa, y en la figura 1.4 el organigrama de la gerencia de mantenimiento de Metor, S.A.

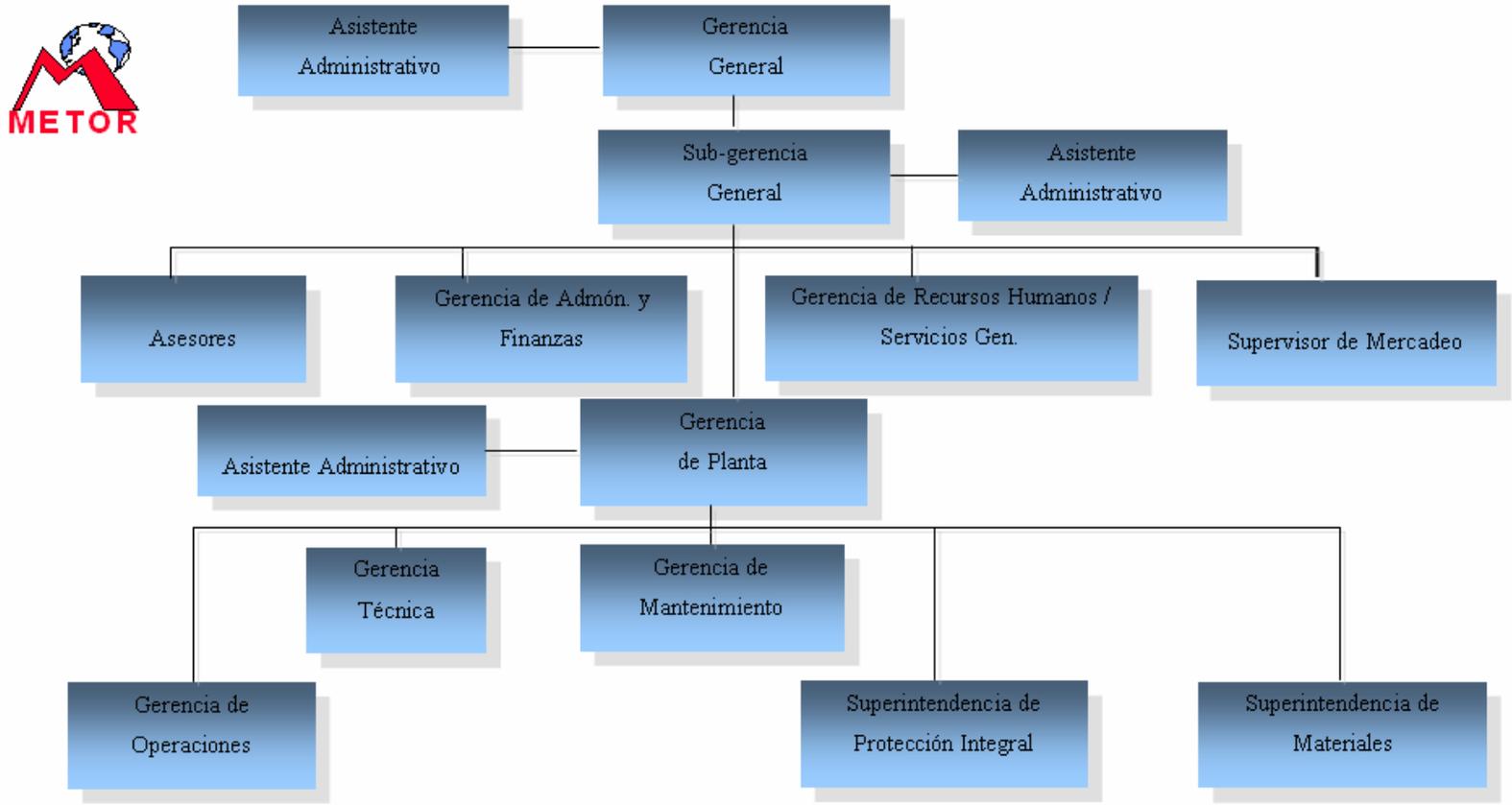


Figura 1.3. Organigrama de la Empresa METOR, S.A

Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A.

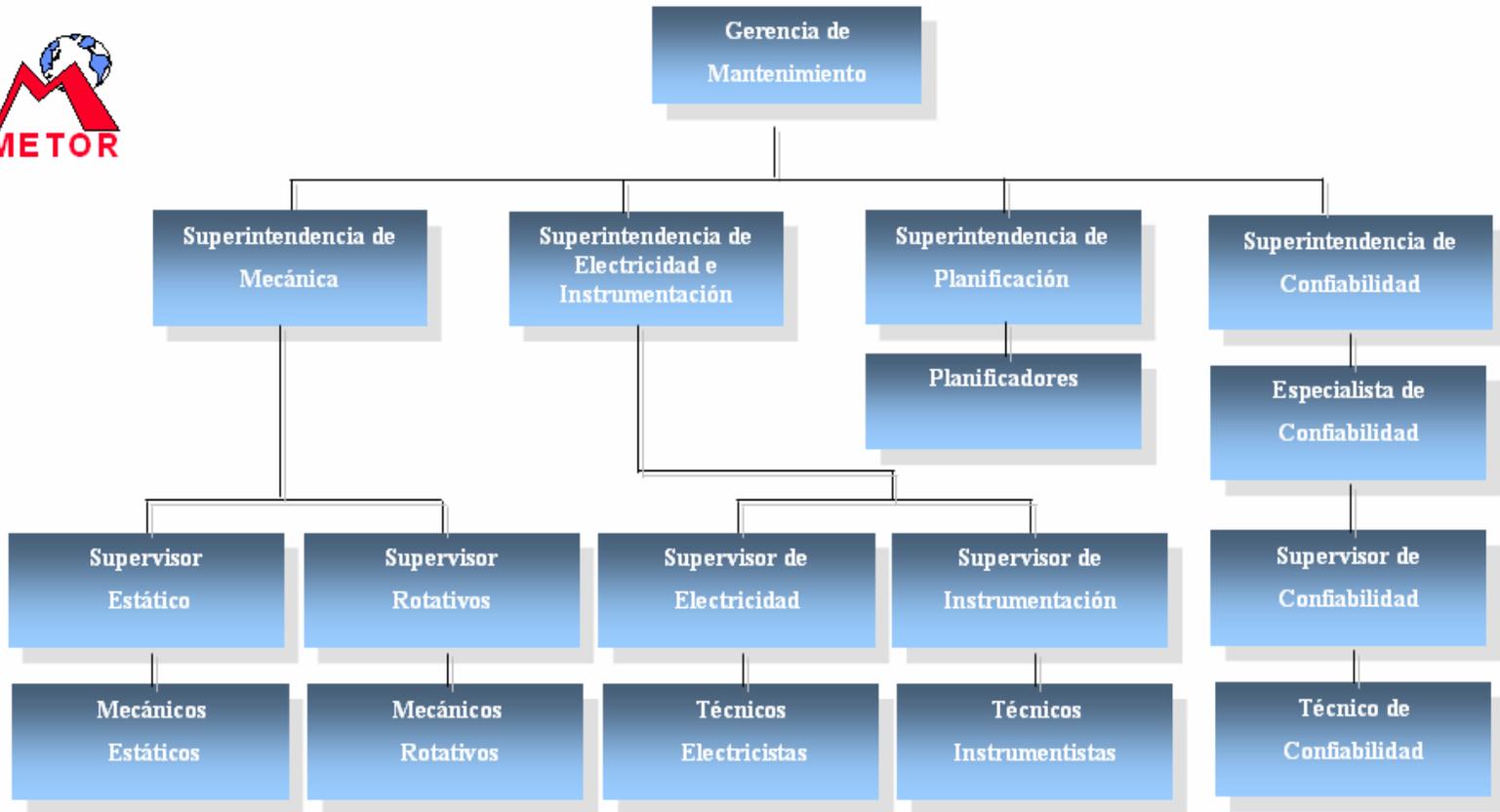


Figura 1.4. Organigrama de la Gerencia de Mantenimiento de METOR, S.A.

Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A.

1.1.7 Descripción del Proceso de Producción de Metanol

El proceso de producción ha sido licenciado por Mitsubishi Gas Chemical y el mismo consiste, básicamente, en la reformación catalítica del gas natural, seguida por la síntesis y purificación del metanol.

Tal como se muestra en la figura 1.5 este proceso consta de 8 etapas, donde es llevado a cabo a través de una secuencia establecida, por secciones compuestas, por operaciones y procesos unitarios, en los que se involucran una serie de variables y parámetros operacionales de gran importancia para la obtención de un producto bajo las especificaciones.

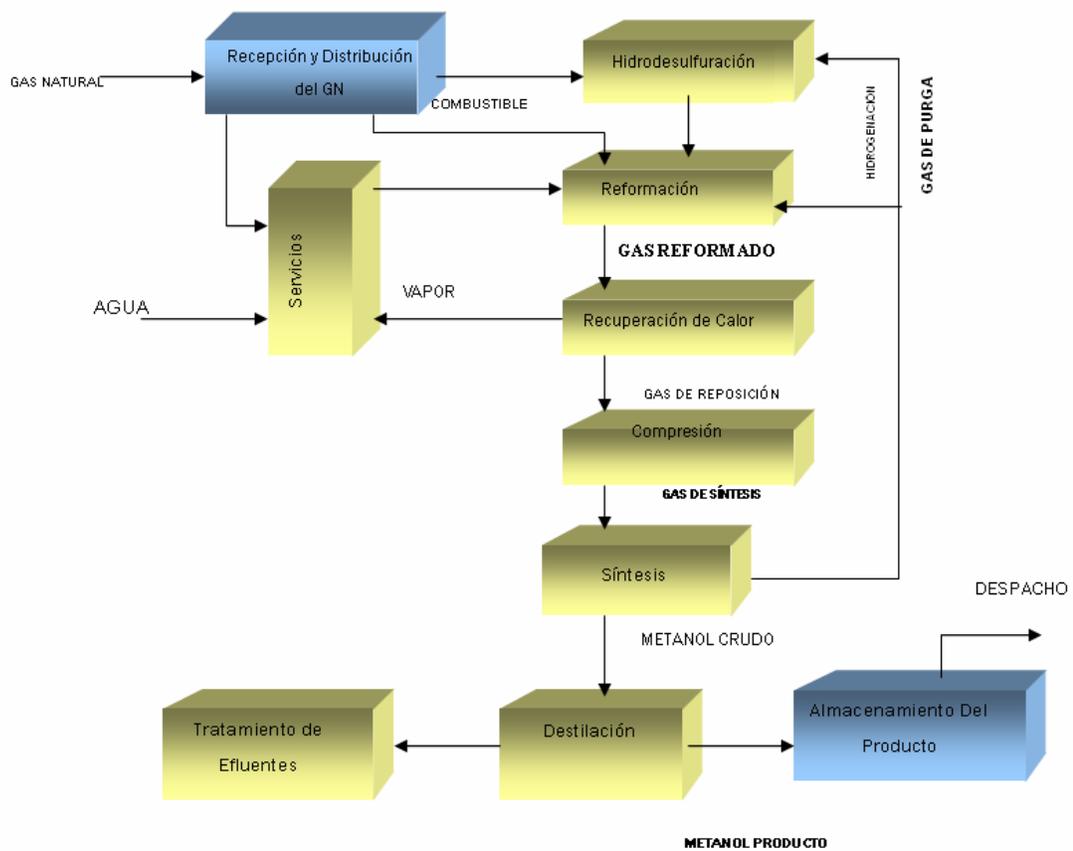


Figura 1.5. Diagrama Global del Proceso de Producción de Metanol.

Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A.

1. Recepción y distribución del gas natural

El Gas Natural (GN) es usado como alimentación principal y como combustible. El GN a la entrada presenta los siguientes componentes: metano, etano, propano, butano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrogeno y sulfuro de carbonilo

A estas condiciones, el GN es enviado a un tambor separador V-651, donde se separa el contenido de componentes pesados y la corriente de tope se divide en dos: una parte se emplea como combustible a las calderas, al incinerador y como fuente de calor para suplir energía necesaria al horno de reformación. La parte restante libre de componentes pesados se lleva al tambor de succión del compresor K-101 para ser acondicionada como Gas Natural de Proceso (GNP).

2. Hidrodesulfuración (Sección 100)

Ya que los compuestos de azufre contenidos en el GN son muy venenosos tanto para el catalizador de síntesis de metanol como para el catalizador de reformación; ellos deben ser removidos hasta un nivel de 0,1 ppm o menos antes de ser alimentado al reformador.

El azufre en la alimentación está presente en forma de compuestos de azufre, tales como: mercaptanos, tiofenos, COS, sulfuro de hidrógeno (H_2S), etc. Estos compuestos deben ser convertidos primero en H_2S el cual puede ser removido fácilmente por el catalizador de óxido de zinc (ZnO) en la desulfurización.

3. Reformación (Sección 200)

El gas proveniente de los desulfuradores es alimentado a la sección de reformación con las siguientes componentes: metano, etano, propano, butano, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno y nitrógeno.

El gas de alimentación de proceso pasa primero a través del saturador de GN

(E-222) donde el gas se satura con vapor de agua al ponerse en contacto con el condensado caliente del proceso.

4. Recuperación de Calor

El gas reformado el cual consiste de una mezcla de gases secos tales como hidrógeno, óxido de carbono, metano residual e inertes que no reaccionaron; pasa a través de la caldera de alta presión (E-205) en donde se genera vapor de alta presión (105 Kg/cm² y 515 °C). Posteriormente, la corriente se divide en dos: una pasa a través del precalentador E-206, en donde es enfriado por intercambio de calor con agua desmineralizada proveniente de las calderas; mientras que la otra parte pasa a través del saturador de gas natural E-222 donde el gas es enfriado por intercambio de calor con el condensado de proceso. El calor del gas reformado es recuperado adicionalmente al pasar a través del rehervidor de la columna de refinación E-505 A/B y el rehervidor de la columna estabilizadora E-517 en la sección de destilación, además del precalentador de agua de desmineralizada E-207.

5. Compresión (Sección 300)

El gas reformado después de ser enfriado con agua, es comprimido en un compresor de gas de síntesis de tres etapas K-301. Al ser succionado, el gas reformado tiene las siguientes condiciones: metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y agua. El gas reformado y comprimido es alimentado a la sección de síntesis como gas de reposición.

6. Síntesis (Sección 400)

El gas de reposición proveniente del compresor de gas de síntesis K-301 es mezclado con el gas de reciclo a la descarga del circulador K-302. La mezcla tiene los siguientes compuestos: metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y otras impurezas impurezas.

7. Destilación (Sección 500)

El metanol crudo contiene alrededor de 80% en peso de metanol, 20% de agua y pequeñas cantidades de impurezas orgánicas y gases disueltos producidos simultáneamente con la síntesis del metanol. Las impurezas consisten en dimetil éter, formato de metilo, cetona, etanol, alcoholes pesados hidrocarburos parafínicos y otros complejos.

Columna Estabilizadora (T-501)

La T-501 es una columna de 60 platos perforados con 50% de efectividad. En ella se lleva a cabo una separación eficiente de los productos más livianos (parafinas y sustancias de bajo punto de ebullición) mediante un proceso de Destilación Extractiva basado en la adición de agua a la solución por el plato 15, eliminando así los azeótropos presentes en la mezcla de metanol crudo. Además, como el crudo metanol es ácido debido a la presencia de ácido acético formado en la sección de síntesis, se añade soda cáustica por el plato 5 para controlar el pH del agua del fondo de la columna de refinación el cual debe variar entre 9 y 11 y además proteger la columna de la corrosión.

El crudo metanol proveniente de los tanques de almacenamiento (TK-802 A/B) es calentado en el precalentador E-501 a 68 °C y luego alimentado por el plato 15 a la columna estabilizadora. El producto de fondo de la columna se usa como alimentación a la columna de refinación T-502.

Columna de Refinación (T-502)

Esta columna posee 100 platos perforados que operan al 65% de efectividad obteniéndose metanol al 95% como destilado con una relación de reflujo igual a 2,0 según diseño. El líquido libre de impurezas livianas proveniente del fondo de la columna estabilizadora a 80 °C, es alimentado a los platos 65, 70, 75 y 80 de la columna de refinación. El líquido que contiene los productos pesados es tomado de

una corriente lateral cercana al fondo y alimentados a la columna de recuperación.

Columna de Recuperación (T-503)

Esta columna consta de 70 platos perforados con una efectividad del 65%, y es usada para recuperar el metanol contenido en la corriente proveniente del corte lateral de la T-502.

El agua que sale por el fondo se une a la corriente proveniente de la torre T-502 y pasa al E-516 de donde sale a 45 °C y es enviada a la planta de tratamiento efluentes.

8. Servicios (sección 600)

Esta sección se encarga, entre otras cosas, de suministrar el GN utilizado como combustible en el horno reformador y calderas auxiliares, el agua desmineralizada empleada en la generación de vapor y el agua de proceso, además se cuenta con el sistema de enfriamiento.

Tratamiento de efluentes (sección 700)

Los efluentes provenientes de diferentes áreas de la planta son tratados, para evitar daños al ambiente y además para garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes, antes de ser enviados hacia el Mar Caribe.

Almacenamiento y despacho (sección 800)

El sistema de almacenamiento de la planta consiste en tanques cilíndricos para almacenar producto intermedio (metanol crudo), producto terminado (metanol 99,85% en peso) y subproductos; el metanol producto se despacha a través de barcos y cisternas.

1.2 Planteamiento del Problema

Metanol de Oriente, METOR, S.A., es una empresa petroquímica que representa una contribución significativa para el proceso de industrialización del potencial de gas natural con que cuenta Venezuela. Se encuentra ubicada en el “Complejo Petroquímico e Industrial General de División José Antonio Anzoátegui”, con una capacidad instalada para producir 750.000 toneladas métricas anuales de metanol, lo que equivale a producir 2.200 toneladas métricas diarias de Metanol grado AA, producto de amplio uso en la Industria Química y Petroquímica.

La gerencia de mantenimiento de Metanol de Oriente METOR S.A. está conformada por un equipo de trabajo que garantiza el implemento de los planes de mantenimiento y demás estrategias que permitan la continuidad operacional de los equipos e instalaciones, mediante un ordenado registro de fallas, además de un marco de mejoramiento continuo de sus procesos de producción, protección integral y seguridad; mediante la detección e implantación de nuevas tecnologías.

El metanol se produce a partir de la deformación del gas natural en presencia de vapor de agua, su proceso de producción se divide en ocho etapas las cuales son: recepción y distribución del gas natural, hidrosulfuración, reformación del gas natural con vapor, recuperación de calor, compresión del gas reformado, síntesis del metanol, destilación y por último el de almacenamiento.

Para la puesta en marcha de todas las etapas excepto la de recepción, distribución, y almacenamiento, es indispensable el uso del vapor de agua. Por esta razón la empresa cuenta con un sistema de alimentación de agua de calderas integrado por equipos estáticos y rotativos tales como, un tanque de almacenamiento de acero inoxidable, calderas acuotubulares y pirótubulares, bombas centrifugas multietapas, además de agua previamente desmineralizada, los cuales proporcionan

mediante un proceso, el vapor de media y alta presión necesario para el funcionamiento de los equipos y procesos de producción del metanol.

Debido al tiempo de uso de los equipos, se ha generado un aumento significativo en las fallas, tales como daños en los rodamientos de los ventiladores y fugas en la prensaestopa de las válvulas en las calderas acuotubulares, así como fugas de aceite en las bombas centrifugas entre otras, lo que ha originado paradas de planta no programadas, aunado a esto, las deficiencias en algunas actividades programadas en los planes de mantenimiento aplicados, han traído como consecuencia a la empresa un fuerte impacto en el sistema productivo, ocasionando grandes pérdidas económicas, además de generar un incremento de horas hombres no aprovechadas debido a la frecuencia de mantenimiento no adaptada a las condiciones actuales de funcionamiento de los equipos.

Debido a la vital importancia de este sistema para Metor S.A; La gerencia de mantenimiento a través de la superintendencia de mantenimiento mecánico demanda acciones de mantenimiento que permitan un incremento en la confiabilidad de los equipos críticos de este sistema mediante un diagnóstico de la situación actual de los equipos que pertenecen al sistema. Esto para familiarizarse y revisar cuales están operativos, tipo de mantenimiento que se les aplica, si es preventivo o correctivo, entre otras. Seguido, un estudio de criticidad para determinar los equipos más críticos y así estimar la confiabilidad actual de cada uno ellos conjuntamente con la del sistema mediante la aplicación de un software, para incrementar la exactitud de los resultados, minimizando así los márgenes de error. Continuando con el uso de la metodología análisis causa raíz que permita dar con el origen y causas de las fallas, así mismo se sugerirán indicadores de gestión que permitan seguir la evolución de dichas propuestas. Todo esto, con el fin de aplicar mejoras a los planes de mantenimiento que ayuden a solventar a corto plazo los problemas ocasionados al proceso de producción.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Proponer acciones de mantenimiento que permitan el incremento de la confiabilidad de los equipos críticos del sistema de alimentación de agua de calderas basado en un análisis causa raíz, en la planta productora de metanol Metor, S.A.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diagnosticar la situación actual de los equipos pertenecientes al sistema de alimentación de agua de calderas.
2. Identificar los equipos críticos del sistema mediante criterios ponderados.
3. Estimar la confiabilidad de los equipos críticos del sistema de alimentación en estudio basándose en los historiales de falla.
4. Determinar el origen de las fallas de los equipos críticos usando la herramienta técnica de Análisis Causa Raíz (ACR).
5. Formular mejoras a los planes de mantenimiento de los equipos críticos del sistema basado en los resultados del Análisis Causa Raíz.
6. Proponer indicadores de gestión que permitan la evaluación de las mejoras establecidas a los planes de mantenimiento.

1.4 Justificación

Las fallas recurrentes de los equipos que conforman los procesos industriales pueden ocasionar el paro parcial o total de estos, asimismo como forzar paradas de planta no programadas.

La empresa en su afán de mantener una continuidad operativa, busca reducir las fallas de los equipos mediante análisis y técnicas actualizadas, de manera de mejorar las frecuencias y aplicar acciones de mantenimiento, que permitan establecer un equilibrio entre los esfuerzos de los trabajadores, la seguridad y el medio ambiente, lo que conllevaría a una disminución de los costos de producción.

La presencia de fallas en el sistema de alimentación de agua de caldera generaran como consecuencia a la empresa un fuerte impacto en el sistema productivo, ya que dicho sistema es el que genera el vapor de media y alta presión necesario para la activación de los equipos involucrados en el proceso de producción del metanol, por tal motivo se busca reducir la incidencia de las fallas, realizando un estudio basado en un análisis causa raíz a los equipos considerados como críticos, con la finalidad de atacar los orígenes de las fallas, logrando así un aumento de la confiabilidad del sistema, que a su vez brindara mayor seguridad a los trabajadores y al medio ambiente, conduciendo a la empresa a obtener mayor rentabilidad al disminuir los costos de producción.

1.5 Alcance

El desarrollo del proyecto abarca el estudio de las condiciones de los equipos pertenecientes al sistema de alimentación de agua de caldera del proceso de producción de metanol, en la Planta Metor, S.A., y la necesidad de realizar un estudio centrado en comprobar y analizar las causa de los problemas, con la finalidad de

determinar como estos problemas se pueden solucionar o prevenir; estableciendo prioridades y el mantenimiento requerido que ameriten los equipos de acuerdo a su estado crítico. Los resultados son objetos de estudio para investigaciones y acciones futuras.

1.6 Limitaciones

Los factores considerados como limitantes del proyecto son los siguientes:

- No existe información por escrito del sistema en estudio, solo se cuenta con manuales generales del fabricante. Se consideraron las opiniones y experiencias del personal de la empresa Metanol de Oriente para recopilar toda la información referente al sistema.
- La disponibilidad que el personal de equipos rotativos y estáticos posea, en función de las actividades diarias de esta área de la planta y las actividades previstas por el investigador para ser desarrolladas. En tal sentido, la toma de los datos y la información requerida para el desarrollo del proyecto estará subordinada a la disponibilidad del tiempo del equipo.
- Inexistencia parcial de la información sobre las fallas y paradas no programadas que han presentado los equipos involucrados desde el inicio de sus operaciones, debido a que las averías se vienen reportando como datos duros desde que la empresa adquirió e implementó la herramienta SAP, el cual es un software informático donde propiamente se tiene información de las ordenes de mantenimientos realizadas y no de un historial de falla como tal.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Cedeño, J. (2006) “Análisis Causa Raíz de las Cajas Reductoras de Velocidad de los Enfriadores por Aire de los Motocompresores de una Planta de Gas”. Tesis de Grado, Departamento de Mecánica, Universidad de Oriente.

Se utilizó la metodología de Análisis Causa Raíz (ACR), para identificar las causas que originaron las fallas de las cajas reductoras de velocidad de los enfriadores por aire de los motocompresores. Se determinó que las fallas fueron producidas por los siguientes factores: desviaciones operacionales, contaminación del lubricante, utilización de lubricante inadecuado; con la aplicación de esta metodología se espera disminuir la ocurrencia de las fallas de las cajas reductoras de velocidad.

Simoza, P. (2002) “Aplicación del Análisis Causa Raíz para el Estudio de Fallas Recurrentes en Cabezales Rotatorios para Bombas de Cavidad Progresiva”. Tesis de Grado, Departamento de Mecánica, Universidad de Oriente

Se aplicó el Análisis Causa Raíz (ACR), para identificar las causas que originaron las fallas en los cabezales rotatorios para bombas de cavitación progresiva. Entre las conclusiones mas relevantes se puede mencionar que las fallas fueron causadas por los siguientes factores: procedimientos de operación en los talleres, frecuencia de lubricación y contaminación de la grasa utilizada; con la aplicación de esta metodología se espera disminuir la ocurrencia de estas fallas recurrentes en los cabezales.

Máiz, Yenny. (2005) “Mejoras de los Planes de mantenimiento Preventivos de los Equipos Críticos Utilizados en el Mantenimiento de Vías Férreas”. Tesis de Grado, Departamento de Mecánica, Universidad de Oriente.

Se implementó un plan de mejora a los planes de mantenimiento preventivos, mediante la evaluación de la situación actual, además de la metodología de análisis de criticidad que determinó los equipos críticos a los cuales se le aplicó mejoras, luego se utilizó la distribución de Weibull para determinar en que etapa de vida se encontraban los equipos para luego estimar la confiabilidad y mantenibilidad de los mismos. Mediante este estudio se pudo determinar que existe un mayor mantenimiento correctivo que preventivo debido a que las reparaciones se efectúan de emergencia y esto origina interrupciones no previstas, con la aplicación de este plan de mantenimiento se logra evitar este tipo de eventos, además de aumentar la confiabilidad de los equipos críticos.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Bombas Centrifugas

Una bomba centrifuga es un equipo que basa su trabajo en la fuerza centrifuga, esto hace que se suministre una energía al liquido de un modo diferente a como lo hacen las bombas de desplazamiento positivo.

El fluido entra a la bomba cerca del centro del impulsor y es lanzado a la periferia por la acción de fuerza centrifuga.

La energía cinética del fluido se incrementa desde el centro del impulsor hasta las extremidades de las aspas, esta energía de velocidad es convertida a energía de presión al salir el fluido de la bomba. ^[1]

2.2.1.1 Características Generales de las Bombas Centrifugas

- Amplio rango de capacidades, presión y condiciones de operación.
- Requiere de un área relativamente pequeña para su instalación.
- Dificultades para obtener flujos pequeños a presiones medianas o altas. ^[2]

2.2.1.2 Bombas Centrifugas Multietapas

Son bombas de varios impulsores en serie que transmita cada uno energía al fluido. Se utilizan para altas presiones de descarga. ^[1]

2.2.1.3 Características de las Bombas Centrifugas Multietapas

- Cuerpo de bomba en acero inoxidable con tapas en acero gris, soporte motor en fundición de acero gris.
- Impulsor en acero inoxidable y difusor en resina termoplástica.
- Sello mecánico en carbón/cerámica.
- Motor eléctrico de construcción cerrada con ventilación exterior
- Rotor montado sobre rodamientos de bolas prelubricados. [2]

2.2.2 Caldera

Una caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería que está diseñado para generar vapor. El cual se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado. Las calderas son un caso particular de intercambiadores de calor, en las cuales se produce un cambio de fase. Además son recipientes a presión, por lo cual son construidas en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas. [3]

2.2.2.1 Funcionamiento de una Caldera

Tiene como función principal proporcionar energía a través de la generación de vapor, el cual tiene muchas aplicaciones en un proceso químico, como por ejemplo: calentar y sobrecalentar corrientes de procesos por medio de intercambiadores de calor, evaporadores y otros, dar movilidad a compresores por medio de turbinas a vapor y otras muchas aplicaciones. [3]

2.2.2.2 Tipos de Calderas

Calderas de Recuperación: Existen dos formas de aprovechamiento del nivel térmico de los gases de escape de un motor de cogeneración:

- Uno es utilizar directamente los gases de escape en procesos de secado.
- La otra consiste en la generación de vapor para transportar y distribuir energía térmica a temperaturas moderadas, hasta los puntos de consumo.

Con este último método es necesaria la utilización de las llamadas calderas de recuperación (Heat Recovery Steam Generator, HRSG). La caldera de recuperación aprovecha la entalpía de los gases calientes para generar vapor, por lo que se pueden describir de forma sencilla diciendo que consiste en una serie de intercambiadores de calor que utilizan un gas como fluido caliente y como fluido frío un líquido. ^[2]

Calderas Pirótubulares: También conocidas como calderas de tubos de humo, están provistas de unos tubos a través de cuyo interior circulan los gases de combustión, estando rodeados de agua por el exterior. Los tubos se instalan normalmente en la parte inferior de un tambor sencillo, debajo del nivel de agua, de forma que nunca estén secos. Son generalmente de un solo paso y el fluido frío absorbe únicamente el calor de convección procedente de los gases. Tienen un peso elevado en relación con la potencia que pueden desarrollar, ya que la superficie exterior de su envolvente no puede utilizarse como superficie de intercambio de calor y además, las temperaturas de los gases son relativamente bajas.

Calderas Acuotubulares: En las calderas acuotubulares, los tubos contienen en su interior el vapor de agua, mientras que el fuego es aplicado en la superficie exterior de los mismos. Los tubos generalmente se encuentran unidos a uno o más

domos o recipientes.

La diferencia fundamental entre las calderas de tubos de agua y las de tubos de humo, es que en las primeras el agua circula por dentro de los tubos, mientras que en la pirótubulares fluye el líquido alrededor de ellos. ^[3]

2.2.3 Mantenimiento

Es un conjunto de actividades que permiten mantener un equipo o sistema en condición operativa, de tal forma que cumplan las funciones para las cuales fueron diseñadas y designadas, o restablecer dicha condición cuando esta se pierde. ^[4]

2.2.3.1 Objetivos del Mantenimiento.

El objetivo principal del mantenimiento es la maximización de la efectividad del sistema y para lograrlo su organización e información debe de estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes aspectos: ^[5]

- Mejorar la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Mejora del capital humano.
- Aprovechar al máximo de la vida útil de los equipos.
- Disminuir el impacto de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Minimizar la ocurrencia de accidentes.
- Minimizar las detenciones inútiles o paradas no planificadas.

2.2.3.2 Tipos de Mantenimiento

2.2.3.2.1 Mantenimiento Correctivo: Es aquel que consiste en restablecer un equipo a sus condiciones normales de operaciones luego de la ocurrencia de una falla. Es una actividad no planificada, pero si medible, cuantificable considerando las repeticiones por fallas o averías ocurridas en funcionamiento. Después del reporte de averías o fallas viene la aplicación del mantenimiento correctivo, con el fin de corregir dicha avería y poner en funcionamiento al sistema.

2.2.3.2.2 Mantenimiento Preventivo: Es una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener los equipos bajo condiciones específicas de operación.

Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales y la historia de fallas de los equipos.

2.2.3.2.3 Mantenimiento Predictivo: Se basa en el monitoreo y análisis de comportamiento de los equipos para predecir la intervención, según los niveles de admisibilidad. ^[5]

2.2.3.3 Parámetros de Mantenimiento

La información estadística permite estimar los parámetros de mantenimiento como son: confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad. Además sirve para determinar el comportamiento que se produce al fallar los equipos y ayuda a cuantificar los costos que esta generando la gestión de mantenimiento.

Todo sistema y equipo debe tener un historial de funcionamiento que no es otra cosa que un banco de datos que esta conformado por los tiempos entre fallas que son

los que van a servir para calcular las funciones propias de la gestión de mantenimiento para predecir, con cierto grado de incertidumbre el comportamiento.

La magnitud y complejidad que presentan los nuevos equipos y los sistemas de planta exige establecer algunos parámetros que lleven a cuantificar los resultados y ayuden a establecer políticas que permitan mejorar los recursos disponibles. A continuación se estudiara la confiabilidad como parámetro de mantenimiento, factor analizar en unas de las metodologías a usar en este trabajo. [5]

2.2.3.3.1 Confiabilidad R(t)

La confiabilidad o fiabilidad es una característica de un sistema, equipo o componente expresada por la probabilidad de que ese sistema equipo o componente cumpla una función para la cual fue diseñado en condiciones de utilización y en un periodo dado. [6]

Es la probabilidad que tiene un equipo o sistema de operar en un tiempo determinado sin presentar ninguna falla, bajo ciertas condiciones de uso. El tiempo en que tarda en fallar un sistema, no se puede determinar precisamente, por lo tanto; es una variable aleatoria. Por ello, la confiabilidad se debe cuantificar asignándole una función de probabilidad a la variable aleatoria del tiempo de falla. [5]

Si T denota la variable aleatoria del tiempo de falla entonces la confiabilidad en cualquier tiempo t_i está dada por:

$$R(t) = \text{Prob}(T > t_i) \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Periodo de tiempo: Se trata de definir la duración de la gestión. Se fija un mínimo R(t) para una duración de la gestión de t_i para cada t_i de la gestión asociada a un R(t_i).

Para estimar la confiabilidad es necesario conocer los parámetros utilizados:

- Tiempo promedio entre fallas (TPEF): es el tiempo más probable entre dos fallas sucesivas.

$$TPEF = \sum_i^n \frac{TEF_i}{n} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

- Tasa de falla ($\lambda(t)$): Representa el número de fallas que se presentan en un instante t. frecuentemente se expresa como fallas/horas.

Entre los métodos estadísticos para estimar la confiabilidad se encuentran:

Distribución de Weibull: Permite estimar la confiabilidad de un equipo o sistema en cualquier período de vida útil o normal y envejecimiento. Este método es muy flexible por lo cual es ampliamente utilizado. Con sus tres parámetros permite ajustar toda clase de resultados de operación, los cuales son:

Confiabilidad en un instante t definida por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Tasa instantánea de falla definida por:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Esperanza matemática definida por:

$$TPEF = A\eta + \lambda \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Desviación típica definida por:

$$\sigma = B * \eta \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Densidad de probabilidades definida por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t - \lambda}{\eta} \right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t - \lambda}{\eta} \right)^\beta} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde t es mayor o igual que γ

Parámetro de forma, β

- Sí $\beta < 1$, período de juventud
- Sí $\beta = 1$, período de vida útil
- Sí $\beta > 1$, período de envejecimiento.

Parámetro de posición γ : define si la nube de puntos (F_i, t) en la gráfica de weibull se ajusta a una recta.

- Si es posible ajustar la nube de puntos a una recta, entonces $\gamma = 0$
- Si la nube de puntos resulta una curva, el valor de $\gamma \neq 0$

Parámetro de escala η : Se utiliza para ajustar los datos del historial a una distribución particular, por ejemplo: si se traza $f(t)$ con $\eta = 1$, la curva de $f_s(t)$ corresponde a $\eta = 5$; se obtiene dividiendo por 5, multiplicando t por 5 dejando sin cambiar el resto.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

β = Parámetro de forma

η = Parámetro de escala

γ = Parámetro de posición

Confiabilidad de Sistemas Industriales

Consiste en obtener expresiones y criterios que permitan, estimar la probabilidad de que un sistema cumpla una función específica, bajo ciertas condiciones de uso, durante un periodo de tiempo.

La estimación de la confiabilidad de un sistema se realiza en tres etapas.

- Confiabilidad individual de los equipos.
- Esquema de confiabilidad.
- Confiabilidad del sistema.

Para la estimación de confiabilidad de sistemas industriales hay que definir la conexión entre los bloques, para luego proponer el modelo matemático a utilizar. ^[7]

A continuación se muestran los tipos de conexión:

- Serie.
- Paralelo.
- Mixto (sistema k de n).
- Complejo

2.2.3.4 Indicadores de Gestión de Mantenimiento

Los indicadores de gestión, son parámetros numéricos que a partir de datos previamente definidos y organizados, permiten tener una idea del cumplimiento de los planes establecidos, además de la toma de decisiones para corregir desviaciones.

Las características fundamentales que deben cumplir los indicadores de mantenimiento, siempre con la mirada puesta en lo que se desea alcanzar con el mantenimiento industrial son las siguientes: ^[8]

- Pocos, pero suficientes para analizar la gestión.
- Claros de entender y calcular.
- Útiles para conocer rápidamente como van las cosas y por qué.

Es por ello que los índices deben:

- Identificar los factores claves del mantenimiento y su afectación a la producción.
- Dar los elementos necesarios que permiten realizar una evaluación profunda de la actividad en cuestión.
- Establecer un registro de datos que permita su cálculo periódico.

2.2.4 Definición de Fallas

Es cuando un equipo no puede o ha perdido la capacidad para cumplir su objetivo satisfactorio, ya sea en cantidad, calidad u oportunidad. En el mantenimiento es de interés registrar por separado las fallas de cada una de las máquinas o equipos que participan en la línea de producción, con el objetivo de conocer su desempeño individual.

Se dice que un componente o equipo ha fallado cuando:

- Llega a ser completamente inoperante.
- Por serios daños es inseguro su uso.
- Puede todavía operar, pero no puede realizar satisfactoriamente la función.

2.2.4.1 Tipos de Fallas

Las fallas de los equipos se pueden presentar de dos formas que son parciales o totales:

- Falla parciales
- Fallas totales

Las fallas parciales son aquellas que originan desviaciones en las características de funcionamiento de un equipo, pero no la incapacidad total para cumplir su función, mientras que las totales producen desviaciones tales que producen la incapacidad total de funcionamiento del equipo.

2.2.4.2 Registro de Fallas

Consiste en anotar o asentar la información correspondiente a las fallas ocurridas a los equipos en un formato denominado “Registro Estadístico de Fallas”.

Al registrarse las fallas por separado cada una de las máquinas o equipos de la línea de producción se pueden conocer, en un momento dado, el desempeño individual de la misma y la evolución de las fallas en el tiempo.

La importancia de llevar un registro de fallas es que permite detectar aquellas fallas que mayores problemas ocasionan al mantenimiento y/o producción, así como estudiar las causas de su aparición para buscar las soluciones adecuadas. ^[4]

2.2.5 Análisis de Criticidad (AC)

Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de sistemas o equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones, orientando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y necesario mejorar, basado en la realidad actual.

El objetivo de un análisis de criticidad es ofrecer una herramienta de ayuda, en la determinación de la jerarquía de sistemas y equipos de una planta, que permita manejarla de manera controlada y en orden de prioridades. ^[9]

2.2.5.1 Etapas a seguir en el AC

- ***Elaboración de inventario:*** Permite elaborar un listado de los equipos que participan en el sistema productivo.
- ***Diagnostico de la Situación Actual:*** Se realiza con la finalidad de determinar las condiciones en que se encuentran los equipos, dicha evaluación permite tener una visión amplia de la situación actual. ^[10]
- ***La Matriz de criticidad de equipos basado en la metodología D.S:*** Los pasos

para aplicar la metodología de criticidad D.S, se muestran en la figura 2.1.

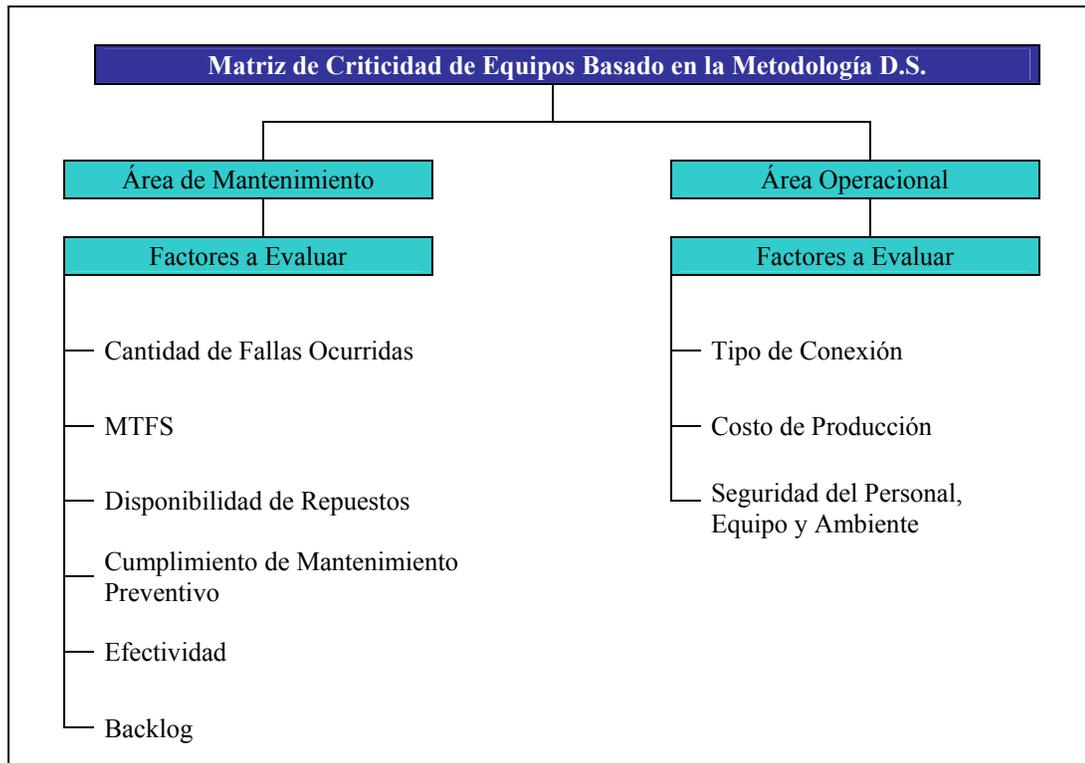


Figura 2.1. Matriz de criticidad de equipos basado en la metodología D.S.

Fuente: Confima & Consultores, C.A. (2008)

- **Ponderación y clasificación de los equipos de acuerdo a su criticidad.** Las ponderaciones propuestas de cada factor o criterio pueden ser cambiadas dependiendo de la política de la organización empresarial y la influencia en la productividad como objetivo principal, lo cual representa la flexibilidad en la determinación de la criticidad de acuerdo a las necesidades y adaptación real de cada una. ^[10]

Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. ^[10]

2.2.6 Análisis Causa Raíz

Es una metodología dirigida a la solución de problemas, basada en un razonamiento deductivo (lógico), comprendiendo desde el problema hasta las causas, es decir de lo general a lo específico.

Utiliza como herramienta de análisis un “árbol lógico” para definir la causa raíz de un problema o evento. ^[10]

2.2.6.1 Beneficios del ACR.

Los beneficios que se obtiene al aplicar el ACR son: ^[11]

- Proporciona la capacidad de reconocer un patrón de fallas y evitar la repetición de las mismas.
- Aumenta la confiabilidad, disponibilidad, rentabilidad, mantenibilidad y seguridad de los equipos.
- Mejoras las condiciones de seguridad industrial y evita tiempos improductivos innecesarios.
- Disminuye el número de incidentes, reduce los impactos ambientales y los accidentes.
- Reduce las frustraciones del personal de mantenimiento y operaciones.

2.2.6.2 Problema o falla sustancial

Representa el primer nivel del árbol lógico, es la razón por la cual se está analizando el problema, es decir todo lo que estamos interesados en minimizar.

Se dice que ha ocurrido una falla de función o falla funcional cuando un sistema, equipo o componente no logra satisfacer los estándares de operación, es decir está incapacitado para satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. ^[11]

2.2.6.3 Modo (causa de falla)

Es el segundo nivel en el árbol lógico, representa las causas por la cual ocurrió la falla funcional. ^[11]

2.2.6.4 Hipótesis

Se generan mediante la respuesta a la siguiente pregunta ¿Cómo se puede dar el modo de falla?, Ayuda a definir las causas raíces. ^[11]

2.2.6.5 Tipos de causa raíz

Físicas: Es la causa tangible de porque está ocurriendo la falla. Son las más fáciles de tratar y siempre requieren verificación. Sin embargo, corregir solo la causa física no garantiza que el evento no se presentara de nuevo. ^[11]

Humanas: Es producto de errores motivados por sus inapropiadas intervenciones. Nace por la ausencia de decisiones acertadas, que pueden ser convicción u omisión. Nunca utiliza nombres individuales o grupales cuando se especifica la causa. La determinación de las causas humanas nunca debe presentar persecuciones o búsqueda de culpables. ^[11]

Latentes: Son producto de la deficiencia de los sistemas. En ciertas ocasiones afectan más que el problema que se está estudiando, ya que pueden generar

circunstancias que ocasionan nuevas fallas en otros ámbitos y/o equipos. ^[11]

2.2.6.6 Aplicación del ACR.

Se aplica generalmente en problemas para equipos críticos dentro de un proceso cuando existe la presencia de fallas repetitivas, por lo tanto se recomienda cuando:

- Se requiera el análisis de fallas crónicas (repetitivas) que se presenten continuamente, tales como fallas de equipos comunes.
- Se presentan fallas esporádicas (una vez), en procesos críticos, tales como paradas de emergencia, incendios, explosiones o fallas graves poco frecuentes en los equipos.
- Es necesario identificar las deficiencias en los programas entrenamiento, mantenimiento y procedimientos operativos.
- Si tiene la necesidad de analizar diferencias organizacionales. ^[10]

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño y Tipo de Investigación

El diseño de la investigación se refiere a la estrategia que selecciona el investigador con el fin de recopilar la información relacionada con el tema de estudio, mientras que el tipo de investigación hace referencia al nivel de profundidad que se desea llegar. ^[11]

El tipo de estudio realizado puede definirse como una investigación, de tipo descriptiva, ya que a través de la misma se hizo factible la identificación de las causas que están directamente relacionadas con la falla de los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de caldera.

Según la estrategia, esta investigación es de campo, ya que se obtuvieron los datos de una manera precisa y directa, en el sitio donde se realizó la investigación, es decir, se recogió la información referida a las fallas de los equipos del sistema de alimentación de agua de caldera, directamente de la realidad donde se presenta.

Por otra parte el nivel de conocimiento es de tipo proyectiva, ya que se propone mejorar el mantenimiento de los equipos que conforman dicho sistema, basado en una serie de metodologías como el análisis de causa raíz, elaborándose una evaluación estadística de los equipos con respecto a sus fallas, lo cual amerita soluciones a problemas prácticos que se presentan y así ofrecer propuestas y recomendaciones para lograr una mejor confiabilidad.

3.2 Población y Muestra

La población estuvo representada por el Sistema de Alimentación de Agua de Calderas del proceso de producción de metanol, además del personal del Departamento de Mantenimiento Mecánico de la empresa Metanol de Oriente, METOR, S.A.

La muestra estuvo delimitada por los equipos críticos del sistema, además de las entrevistas y encuestas aplicadas al personal que conformo el equipo natural de trabajo.

3.3 Técnicas de Recolección de Datos

Para realizar la recopilación de la información requerida y alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación, se aplicaron distintas técnicas de medición como son las siguientes:

- **Revisión de documentos:** Se realizó una revisión de la información contenida tanto en documentos del departamento de mantenimiento de la empresa Metanol de Oriente. S.A. como en bibliografías técnicas especializadas referentes al Análisis Causa Raíz, Análisis de Criticidad, Estimación de Confiabilidad y de los equipos que conforman al sistema de alimentación de agua de calderas del proceso de producción de metanol.
- **Observación directa:** Se realizaron visitas a la planta de METOR, S.A., para inspeccionar los equipos del sistema de alimentación de agua de calderas, utilizando como instrumentos: guías de observación y cámaras fotográficas digitales.

- ***Entrevistas no estructuradas:*** Se realizaron entrevistas a ingenieros, técnicos y operarios, para conocer todo lo concerniente a mantenimiento, especificaciones técnicas y funcionamiento, así como las fallas que presentan los equipos del sistema de alimentación de agua de calderas del proceso de producción de metanol de Metor, S.A., estas entrevistas se realizaron a través de preguntas abiertas utilizándose como instrumentos guías de entrevistas.
- ***Entrevistas estructuradas:*** Se emplearon encuestas (Ver apéndice A.1), utilizando formatos de elaboración propia para aplicar entrevistas estructuradas al personal técnico del departamento de mantenimiento y operaciones, con el fin de conocer mayor información sobre las fallas ocurridas en el sistema de alimentación de agua de calderas.

3.4 Técnicas de Análisis

- ***Análisis Gráfico e Histogramas:*** Permitió visualizar y jerarquizar el número de fallas presentadas por los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas según su historial de falla.
- ***Análisis de Criticidad:*** Es una técnica que permitió analizar e identificar en niveles de importancia los equipos del sistema de alimentación de agua de calderas de la planta Metor; S.A., en función de su impacto global, tomando en cuenta los siguientes factores: cantidad de fallas, tiempo promedio fuera de servicio (TPFS), disponibilidad de repuestos (DR), cumplimiento de mantenimiento preventivo (CMP), efectividad (E), Backlog (B), tipo de conexión, costos de producción y seguridad de personal equipos, y/o ambiente.
- ***Análisis Causa Raíz (ACR):*** Es una metodología que permitió mediante un

razonamiento lógico la comprensión de un problema hasta llegar a la posible causa de origen, es decir, permitió realizar un estudio de lo general a lo específico, utilizando como herramienta principal un árbol lógico para definir la causa raíz del problema del sistema de alimentación de agua de calderas de la planta Metor; S.A.

- **Diagrama de Pareto:** Se utilizó para representar y jerarquizar de forma gráfica el mayor porcentaje (%), en cuanto a fallas de los equipos y a los impactos producidos por éstas.
- **Gráficas Circulares:** Sirvieron para indicar los porcentajes de las fallas presentados por los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas de la planta.
- **SAP/R3:** Programa mediante el cual se realizó la revisión y depuración de todas las órdenes y avisos de mantenimiento del historial de falla.
- **Análisis de Tablas y Resultados:** Una vez organizada y jerarquizada toda la información obtenida, se procedió a analizarla, con el objetivo de establecer finalmente las mejoras a los planes de mantenimiento y validar la situación general del sistema en estudio, realizando conclusiones y recomendaciones basadas en este análisis.
- **AUTOCON 1.0:** Este software permitió la obtención de valores de confiabilidad, colocando como datos los TEF, este modelo trabaja mediante gráficas de Weibull permitiendo resultados con un margen de error muy bajo.

3.5 Procedimiento

A continuación se mencionan los objetivos planteados en la investigación, así como las técnicas de investigación que se utilizaron para la consecución de dichos objetivos:

- ***Diagnosticar la situación actual de los equipos pertenecientes al sistema de alimentación de agua de calderas.***

Para el logro de este objetivo se realizó la revisión de la documentación disponible en la empresa, así como el sistema SAP, en el que se gestiona la información concerniente al sistema de alimentación de agua de la empresa METOR, S.A.

Se realizaron visitas de campo, con el apoyo del personal de mantenimiento y operaciones que conocen la planta, al tiempo que se inició el estudio sobre la operación, mantenimiento y detalles de los equipos que conforman el sistema en estudio.

Se reseñó la información conocida mediante las descripciones correspondientes, apoyado con la documentación fotográfica y entrevistas no estructuradas que se logró recabar en sitio.

Finalmente se realizó un análisis de los historiales de fallas presentadas por los equipos que conforman el sistema a través de la base de datos del sistema SAP existente en la empresa y los comentarios del personal entrevistado, listando las fallas y clasificándolas.

Los datos se analizaron y se presentaron mediante el uso de tablas e

histogramas a modo de poder visualizar la situación y las tendencias actuales.

- ***Identificar los equipos críticos del sistema mediante criterios ponderados.***

Se realizó una jerarquización en la cual se identificaron los equipos críticos del sistema de alimentación de agua de calderas de METOR, S.A., bajo la aplicación de la metodología de criticidad D.S., la cual permitió evaluar criterios fundamentales: cantidad de fallas, tiempo promedio fuera de servicio (TPFS), disponibilidad de repuestos (DR), cumplimiento de mantenimiento preventivo (CMP), efectividad (E), Backlog (B), tipo de conexión, costos de producción y seguridad de personal equipos, y/o ambiente. Todo esto con el propósito de dar prioridad a los equipos que lo ameriten, creando una estructura que facilite la toma de decisiones, orientándose así al esfuerzo y los recursos que sean necesarios.

- ***Estimar la confiabilidad de los equipos críticos del sistema de alimentación en estudio basándose en los historiales de falla.***

Una vez identificados los equipos críticos del sistema en estudio, se procedió a estimar su confiabilidad a través de la distribución de Weibull, la cual se realizó de manera manual y a través del software Autocon 1.0, de manera de validar resultados. Este estudio sirvió para conocer los valores actuales de confiabilidad, los cuales fueron comparados con los establecidos por la empresa, esto para conocer el tipo de acción a implementar, ya que si los valores obtenidos hubiesen estado por encima de lo que la empresa tiene establecido, el departamento de mantenimiento mantendría las acciones de mantenimiento, no siendo así, en el caso contrario, una confiabilidad por debajo de lo establecido por la empresa daría paso a un estudio sobre el origen de las fallas, que indique sus posibles causas y que indique las acciones de mantenimiento que se deben aplicar, para alcanzar a la confiabilidad esperada.

- ***Determinar el origen de las fallas de los equipos críticos usando la herramienta técnica de Análisis Causa Raíz (ACR).***

Se determinó el origen de las fallas de los equipos que fueron considerados críticos, a través del ACR, técnica que permitió identificar las causas que originan los fallos recurrentes de los equipos del sistema de alimentación de agua de calderas de la planta. Para su realización se aplicó la técnica del árbol lógico de fallas, esto para elevar el nivel de comprensión del problema estudiado, determinándose así las posibles causas físicas, humanas y latentes, con la finalidad de atacar la raíz y no la consecuencia del problema.

- ***Formular mejoras a los planes de mantenimiento de los equipos críticos del sistema basado en los resultados del Análisis Causa Raíz.***

Se elaboraron propuestas que fueron establecidas en un nuevo plan de mantenimiento inclinado a mejorar el mantenimiento preventivo de los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas, tomando en cuenta los resultados obtenidos a través del ACR y de todos los aspectos que se estudiaron en la investigación, de manera que sea efectiva y solvente la problemática de forma objetiva y eficiente, elevando la confiabilidad operacional del sistema y así aumentar los tiempos entre fallas manteniendo el nivel de producción exigido a un bajo costo.

- ***Proponer indicadores de gestión que permitan la evaluación de las mejoras establecidas a los planes de mantenimiento.***

Con base a los resultados obtenidos a lo largo de todo el desarrollo del proyecto, se plantearon indicadores de gestión que permitirá la evaluación de las mejoras aplicadas a los planes de mantenimiento.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO

4.1 Diagnóstico de la Situación Actual de los Equipos Pertenecientes al Sistema de Alimentación de Agua de Calderas.

4.1.1 Descripción del Sistema

El diagnóstico de la situación actual en que se encuentran los equipos del sistema de alimentación de agua de caldera permitió comprender e identificar desviaciones de los equipos y por ende del sistema. El diagnóstico se realizó a través de la descripción del sistema y por observación directa a cada uno de los equipos involucrados para poder visualizar: comportamiento, operatividad grado de utilidad y mantenimiento que se les realiza, para ello se realizaron entrevistas al personal de mantenimiento mecánico y de operaciones, así como la revisión de los manuales existentes en la empresa, esto permitió conocer los antecedentes y funcionamiento de los mismos.

La empresa Metor S.A; cuenta con un sistema de alimentación de agua de calderas integrado por 9 equipos estáticos y rotativos además de agua previamente desmineralizada, los cuales proporcionan mediante un proceso, el vapor de media y alta presión necesario para el funcionamiento de los equipos y procesos en la producción del metanol, tal y como se muestra en la figura 4.1.

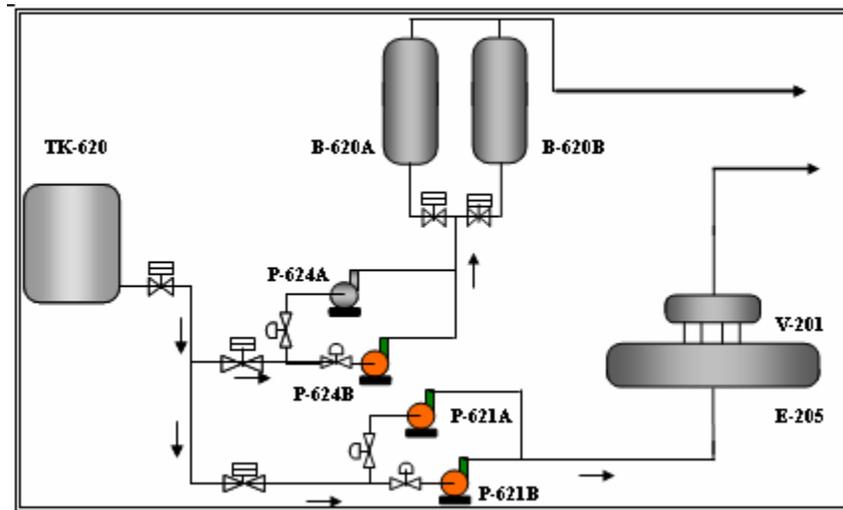


Figura 4.1 Diagrama del proceso de alimentación de agua de calderas.

Fuente: Propia

El proceso inicia cuando el agua desmineralizada contenida en el tanque de acero inoxidable (TK-620), es descargada por gravedad a una tubería instalada en el tanque, hasta llegar a un punto donde hay una bifurcación que separa el fluido en dos direcciones y lo lleva hacia las bombas centrifugas multietapas P-621A/B y P-624A/B, (9 y 2 etapas respectivamente).

Las bombas centrifugas tienen la connotación A/B debido a que son 2 equipos equivalentes funcionan en forma paralela, funcionando una de manera activa y la otra de forma pasiva, esto para mantener el proceso por si alguna falla.

La bomba P-621A/B, maneja un caudal de $215\text{m}^3/\text{H}$ y lo hace circular con una presión de $127\text{Kg}/\text{Cm}^2$ para llegar a la caldera E-205, el vapor de alta presión producido va al tambor de vapor de caldera de recuperación V-201, para salir de allí con una temperatura de 505°C y $105\text{ Kg}/\text{cm}^2$ de presión.

En cuanto a la bomba centrifuga de 2 etapas P-624A/B, su función es hacer circular un caudal de $120\text{T}/\text{H}$ con una presión de $38\text{Kg}/\text{Cm}^2$, hasta las calderas de recuperación de calor B-620A y B-620B, manejando un caudal cada una de $60\text{ m}^3/\text{H}$

trabajando a un 60% de su capacidad, para realizar el cambio de fase con una temperatura de 335°C y 26Kg/Cm².

4.1.1.1 Características de los Equipos que Conforman el Sistema de Alimentación de Agua de Calderas

- **TK-620**

Es un tanque de acero inoxidable con capacidad nominal de 2000 m³, en el cual esta contenida toda el agua desmineralizada que fluye en el proceso.

En la figura figura 4.2 se muestra el tanque TK-620 y en la tabla 4.1 las características y parámetros operacionales.



Figura 4.2. Tanque de acero inoxidable TK-620
Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A. (2008)

Tabla 4.1. Características del TK – 620

(DMW HOLD TANK)	
Tanque de Almacenamiento de Agua Desmineralizada TK 620	
Marca	Mitsubishi Heavy Industries. LTD
Material	Acero Inoxidable
Tipo de Funcionamiento	Continuo, 24Hrs todos los días
Localización	En Planta

Tipo	Tope cónico
Código/Estándar	API – 650
Fluido	Agua Desmineralizada
Presión de Operación	Atmosférica
Presión de Diseño	Lleno de liquido
Temperatura de Operación	40 °C
Temperatura de Diseño	70 °C
Corrosión permitida	0 mm
Volumen Nominal	2.000 m ³
Volumen Full	2.120 m ³

Fuente: Fabricante

- **P-621 A/B**

Son las dos bombas que hacen circular el líquido hasta la caldera E-205 a una presión de 127 Kg/Cm². Ver figuras 4.3 y 4.4.

En la tabla 4.2 y 4.3 se describen las características de las bombas P-621 A/B y respectivamente.



Figura 4.3. Bomba centrífuga multietapa P-621A

Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A. (2008)



Figura 4.4. Bomba centrífuga multietapa P-621B

Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A. (2008)

Tabla 4.2. Características de la P-621A

Bomba Centrífuga Multietapas P-621A	
Marca	Nigata Worthington.
Modelo	4UXH-109F
Ubicación	En Planta (Área 600)
Tipo	Centrífuga Horizontal
Servicio	Bombeo de Agua a la Caldera E-205
Etapas	9
Tipo de Funcionamiento	Continuo, 24Hrs todos los días
Tipo de Impulsor	Axial
Manejo de Caudal	Min. 3 m ³ /h
	Norm. 215 m ³ /h
	Máx. 270 m ³ /h
Presión de Succión	2.5 Kg/cm ² G
Presión de Descarga	127 Kg/cm ² G
Presión de Succión Máx.	5.2 Kg/cm ² G
Temperatura de Operación	126 °C
Soporte	Línea central
Impulsor	Cerrado
Tipo de cojinete radial	Sleeve
Tipo de cojinete de empuje	Kingsbury
Tipo de acoplamiento	Flexible & seco

Succión	lateral
Descarga	lateral
Sello mecánico	(2) Jhon Crane
Sistema de lubricación del cojinete	Forzada

Fuente: Fabricante

Tabla 4.3. Características de la P-621B

Bomba Centrífuga Multietapas P-621B	
Marca	Nigata Worthington.
Modelo	4UXH-109F
Ubicación	En Planta
Tipo	Centrífuga Horizontal
Servicio	Bombeo de Agua a la Caldera E-205
Etapas	9
Tipo de Funcionamiento	Discontinuo
Tipo de Impulsor (Split)	Axial
Manejo de Caudal	Min. 3 m ³ /h
	Norm. 215 m ³ /h
	Máx. 270 m ³ /h
Presión de Succión	2.5 Kg/cm ² G
Presión de Descarga	127.3 Kg/cm ² G
Presión de Succión Máx.	5.2 Kg/cm ² G
Temperatura de Operación	126 °C
Soporte	Línea centrada
Tipo de impulsor	cerrado
Tipo de cojinete radial	Sleeve
Tipo de cojinete de empuje	Kingsbury
Tipo de acoplamiento	Flexible & seco
Succión	lateral
Descarga	lateral
Sello mecánico	Sencillo, Balanceado
Sistema de lubricación del cojinete	Forzada

Fuente: Fabricante

- **E-205**

Es una caldera pirotubular y es donde se produce el cambio de fase líquido – gaseoso.

En la figura 4.5 se muestra la caldera E-205 y en la tabla 4.4 se describen sus características.



Figura 4.5. Caldera E-205
Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A. (2008)

Tabla 4.4. Características del E-205

Tubular Heat Exchanger Data Sheet E-205		
Servicio	RG Waste Heat Boiler	
Ubicación	En Planta (Área 200)	
Tipo de Funcionamiento	Continuo, 24Hrs todos los días	
Tipo	Horizontal, Tubos de Humo de Circulación Natural	
superficie por unidad	1313 (T)	1324 m ²
Superficie de la carcaza	1313 (T)	1324 m ²
Desempeño por unidad		
	Lado de la carcaza	Lado tubos
Fluido circulante	Agua de calderas	Gas reformado
Vapor	0 Kg/h	0 Kg/h
Líquido	2224536 Kg/h	0 Kg/h
Vapor	221149 (*3) Kg/h	112800 Kg/h
No condensable	0 Kg/H	131200 Kg/h
Presión de Operación de Entrada	112 Kg/cm ² G	19 Kg/cm ² G
Calor Sensible	0 Kcal/h	87.32 x10 ⁶ Kcal/h
Calor Latente	87.32 x10 ⁶ Kcal/h	0 Kcal/h
Construcción		
Presión de Diseño	126 Kg/cm ² G	24 Kg/cm ² G
Presión de Prueba	163.8 Kg/cm ² G	31.2Kg/cm ² G
Temperatura de Diseño	343 °C	427 °C
Tubos	# 940	Size 38 OD x 11800L x 3.2 Thick
Material	15NiCuMoNb5	13CrMo44

Fuente: Fabricante

- **V-201**

Es el tambor donde llega luego de pasar por la caldera E-205. En la figura 4.6 el tambor V-201 y en la tabla 4.5 se muestran las características del V-201.



Figura 4.6. Tambor de Vapor de Caldera V-201

Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A. (2008)

Tabla 4.5. Características del V-201

Vessel And Reactor Data Sheet V-201	
Tipo	Horizontal Cylindrical
Fluido	Agua y vapor de la caldera
Ubicación	En Planta (Área 200)
Tipo de Funcionamiento	Continuo, 24Hrs todos los días
Servicio	Tambor de vapor
Presión de Diseño	126 Kg/cm ² G
Presión de Operación	112 Kg/cm ² G
Temperatura de Diseño	343 °C
Temperatura de Operación	318.6 °C
Volumen Full	46.3 m ³
Volumen de Operación	30.3 m ³
Radiografía	Si
Tratamiento térmico de soldadura	Si
pintura	Si
Accesorios	Escalera, Plataforma

Fuente: Fabricante

- **P-624 A/B**

Son dos bombas que hacen circular el fluido a una presión de 38 Kg/Cm²

hasta las calderas de recuperación de calor B-620 A/B. Ver figuras 4.7 y 4.8.



Figura 4.7. Bomba Centrifuga multietapas P-624A
Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A. (2008)



Figura 4.8. Bomba centrifuga multietapas P-624B
Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A. (2008)

En la tabla 4.6 se describen las características de las bombas P-624 A/B.

Tabla 4.6. Características de las bombas P-624 A/B

Bomba Centrifuga Multietapas P-624A/B	
Marca	Mitsubishi
Ubicación	En Planta
Tipo de Funcionamiento	Para P-624A Continuo, 24 hrs. Todos los días
	Para P-624B Discontinuo
Etapas	2

Tipo	Centrifuga Horizontal
Tipo de Impulsor	Radial
Manejo de Caudal	Min. 3 m ³ /h
	Norm. 116 m ³ /h
	Máx. 150 m ³ /h
Presión de Succión	2.5 Kg/cm ² G
Presión de Descarga	35.3 Kg/cm ² G
Presión de Succión Máx.	5.2 Kg/cm ² G
Temperatura de Operación	126 °C
Soporte	Línea centrada
Tipo de impulsor	Cerrado
Tipo de cojinete Radial	bola
Tipo de cojinete de Empuje	bola
Tipo de acople	Flexible & seco
Succión	Tope
Descarga	Tope
Sello mecánico	Sencillo , Balanceado
Purga	El mismo
Sistema de lubricación del cojinete	forzada

Fuente: Fabricante

- **B-620 A/B**

Son dos calderas de recuperación de calor que trabajan en forma paralela, realizan el cambio de fase con una temperatura de 335°C y 26 Kg/Cm².

En la figura 4.9 se muestran las calderas B-620 A/B y en la tabla 4.7 se muestran las características.



Figura 4.9. Calderas de recuperación de calor B-620A y B-620B
Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A. (2008)

Tabla 4.7. Características de las calderas B-620 A/B

Caldera Auxiliar B-620 A/B	
Servicio	Cambio de fase de liquido-vapor de media
Ubicación	En Planta (Área 600)
Ambiente	Condiciones ambientales
Tipo	PacPage, Water tube
Tipo de Funcionamiento	Continuo, 24Hrs todos los días
Presión de vapor de diseño	31.4 Kg/cm ² G
Presión de vapor normal	28.5 Kg/cm ² G
Temperatura de vapor de diseño	370 °C
Temperatura de vapor normal	350 °C
Presión de entrada de agua de calderas	126 Kg/cm ² G
Temperatura de entrada de agua de calderas	32.5 °C
Draft System	Forced Draft
Código	ASME Sec 1
Carga de Trabajo	60% por equipo
Temperatura de salida	335 °C

Fuente: Fabricante

Tabla 4.9. Fallas P-621A

		Metanol de Oriente Metor S.A					
		Bomba Centrifuga Multietapa (9 Etapas)				Equipo:	P-621A
Nº	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TEF (Horas)	TFS (Horas)	Descripcion de la Falla
1	22/01/2007	08:00	22/01/2007	09:00	-	1	Fuga del liquido en Brida.
2	26/02/2007	16:00	26/02/2007	18:00	833	2	Fuga en prenoestopa de la valvula by pass.
3	16/03/2007	15:00	16/03/2007	17:00	429	2	Fuga en sello mecanico.
4	20/04/2007	08:00	20/04/2007	14:00	831	6	Sistema de Lubricacion
5	11/05/2007	08:00	11/05/2007	16:00	738	8	Daños en el acople.
6	17/06/2007	13:00	18/06/2007	15:00	885	26	Falla de rodamiento
7	21/07/2007	08:00	21/07/2007	17:00	785	9	Sistema de Lubricacion
8	19/08/2007	08:00	19/08/2007	16:00	687	8	Desbalance del rotor.
9	15/09/2007	10:00	15/09/2007	13:00	642	3	Fuga en pernos.
10	10/10/2007	08:00	11/10/2007	15:00	595	31	Alta temperatura de los cojinetes.
11	05/11/2007	14:00	05/11/2007	17:00	599	3	Filtros de succion sucios.
12	30/11/2007	10:00	30/11/2007	12:00	569	2	Desalineacion del equipo.
					690,2727	8,4167	

Tabla 4.10. Fallas P-621B

		Metanol de Oriente Metor S.A									
		Bomba Centrifuga Multietapa Auxiliar				Equipo:	P-621B				
Nº	Tiempo de Operación (Horas)								TEF (Horas)	TFS (Horas)	Descripción de la Falla
1	1	2	1	-	-	-	-	-	4	1	Sistema Eléctrico.
2	6	5	-	-	-	-	-	-	11	3	Daños eléctricos en el motor.
3	26	9	7	-	-	-	-	-	42	1	Válvula de succión.
4	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2	Arranque del motor.
5	3	31	3	1	-	-	-	-	38	1	Daños eléctricos en el motor.
									19,2000	1,6	

Tabla 4.11. Fallas E-205

		Metanol de Oriente Metor S.A					
		Caldera Pirotubular				Equipo:	E-205
Nº	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TEF (Horas)	TFS (Horas)	Descripcion de la Falla
1	06/01/2007	10:00	09/01/2007	17:00	-	79	Fuga de Vapor por Brida.
2	26/02/2007	15:00	06/03/2007	16:00	1150	193	Fuga en tubos internos.
3	04/04/2007	12:00	16/04/2007	14:00	700	288	Disminucion en la generacion de vapor.
4	11/05/2007	14:00	16/05/2007	10:00	600	116	Grieta en soldadura de sello.
5	01/06/2007	09:00	06/06/2007	15:00	400	126	Parada del equipo debido a falla electrica.
6	29/06/2007	13:00	04/07/2007	17:00	550	124	Grieta en soldadura de tubos y placas.
7	24/07/2007	08:00	07/08/2007	13:00	470	341	Disminucion en la generacion de vapor.
8	21/09/2007	11:00	29/09/2007	16:00	500	197	Fuga masiva por falla de plug.
9	19/09/2007	14:00	24/09/2007	11:00	430	118	Parada del equipo debido a falla electrica.
					600,0000	175,7778	

Tabla 4.12. Fallas V-201

		Metanol de Oriente Metor S.A					
		Tambor de Vapor de Caldera E-205				Equipo:	
Nº	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TEF (Horas)	TFS (Horas)	Descripcion de la Falla
1	17/02/2007	09:00	17/02/2007	12:00	-	3	Fuga en brida en SC-201.
2	21/03/2007	10:00	21/03/2007	15:00	766	5	Fuga en valvula de bloque.
3	20/04/2007	08:00	20/04/2007	12:00	713	4	Fuga de vapor en LG-201.
4	16/05/2007	09:00	16/05/2007	12:00	621	5	Fuga vapor sobre calentado por la valvula man. 14" en posición cerrada.
5	18/06/2007	08:00	18/06/2007	12:00	788	4	Fuga de condensado en brida.
6	23/07/2007	14:00	23/07/2007	17:00	842	3	Fuga en valvula de bloque.
7	28/08/2007	13:00	28/08/2007	17:00	860	4	Fuga en brida.
8	24/09/2007	14:00	24/09/2007	16:00	645	2	Fuga de vapor en LG-201-2.
9	20/10/2007	09:00	20/10/2007	12:00	617	3	Fuga de vapor en LG-201-3
10	16/11/2007	11:00	16/11/2007	14:00	645	3	Fuga en valvula de bloque.
					721,8889	3,6000	

Tabla 4.13. Fallas P-624 A

		Metanol de Oriente Metor S.A					
		Bomba Centrifuga Multietapa (2 Etapas)				Equipo:	
Nº	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TEF (Horas)	TFS (Horas)	Descripcion de la Falla
1	23/01/2007	10:00	23/01/2007	12:00	-	2	Fuga en valvula de succion.
2	10/02/2007	13:00	10/02/2007	15:00	433	2	Fuga en prenoestopa de la valvula By Pass.
3	11/03/2007	09:00	12/03/2007	11:00	687	26	Impulsores.
4	15/04/2007	10:00	15/04/2007	16:00	815	6	Sello mecanico.
5	15/05/2007	14:00	15/05/2007	17:00	722	3	Sistema de lubricacion.
6	18/06/2007	08:00	19/06/2007	12:00	820	28	Rodamiento.
7	21/07/2007	09:00	21/07/2007	14:00	766	5	Sistema de gobernacion de la turbina.
8	19/08/2007	11:00	20/08/2007	09:00	714	22	Eje.
9	16/09/2007	15:00	16/09/2007	17:00	693	2	Valvula de succion.
10	19/10/2007	09:00	19/10/2007	15:00	584	6	Sello mecanico.
11	15/11/2007	08:00	15/11/2007	16:00	665	8	Falla de rodamiento
12	17/12/2007	14:00	17/12/2007	17:00	785	3	Fuga en valvula de descarga.
					698,5455	9,4167	

Tabla 4.14. Fallas P-624 B

		Metanol de Oriente Metor S.A									
		Bomba Centrifuga Auxiliar				Equipo:		P-624B			
Nº	Tiempo de Operación (Horas)								TEF (Horas)	TFS (Horas)	Descripción de la Falla
1	2	2	24	-	-	-	-	-	28	2	Sistema eléctrico.
2	6	2	-	-	-	-	-	-	8	1	Fuga en válvula de descarga.
3	28	4	-	-	-	-	-	-	32	1	Sistema eléctrico.
4	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2	Sistema eléctrico.
5	22	2	4	-	-	-	-	-	28	2	Válvula de succión.
6	8	2	-	-	-	-	-	-	10	1	Sistema eléctrico.
									17,8333	1,5	

Tabla 4.15. Fallas B-620A

 Metanol de Oriente Metor S.A							
Caldera Acoutubular					Equipo:		B-620A
Nº	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TEF (Horas)	TFS (Horas)	Descripcion de la Falla
1	18/01/2007	08:00	19/01/2007	16:00	-	32	Rodamiento del ventilador lado motor.
2	22/02/2007	09:00	24/02/2007	16:00	833	55	Fuga en tubos dentro de la caldera.
3	03/04/2007	13:00	05/04/2007	17:00	956	52	Damper de la caldera.
4	09/05/2007	08:00	10/05/2007	15:00	831	31	Eyectores de turbina.
5	14/06/2007	09:00	15/06/2007	17:00	738	32	Fuga en prensaestopa de valvula.
6	04/08/2007	14:00	10/08/2007	15:00	1134	145	Grietas en las tuberías internas por corrosión.
7	30/09/2007	08:00	02/10/2007	12:00	1265	51	Damper de la caldera.
					959,5000	56,8571	

Tabla 4.16. Fallas B-620B

 Metanol de Oriente Metor S.A							
Caldera Acoutubular					Equipo:		B-620B
Nº	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TEF (Horas)	TFS (Horas)	Descripcion de la Falla
1	05/01/2007	09:00	06/01/2007	17:00	-	32	Fuga en prensaestopa de valvula.
2	08/02/2007	10:00	10/02/2007	13:00	984	51	Rotura de la rotula interna del damper.
3	11/03/2007	09:00	13/03/2007	17:00	1311	56	Línea de salida de vapor.
4	14/04/2007	08:00	16/04/2007	15:00	967	55	Fuga en tubos dentro de la caldera.
5	18/05/2007	09:00	19/05/2007	17:00	1258	32	Rodamiento del ventilador lado motor.
6	23/06/2007	14:00	25/06/2007	15:00	837	49	Fugas de vapor a través de las tuberías de los sobrecalentadores de vapor.
7	27/07/2007	08:00	29/07/2007	17:00	1173	57	Damper de la caldera.
					1088,3333	47,4286	

4.2 Identificación de los Equipos Críticos del Sistema Mediante Criterios Ponderados

Debido al número de equipos, que operan en el sistema de alimentación de agua de calderas de la planta Metor S.A, se hizo necesario establecer hacia cuales equipos se deben dirigir todos los esfuerzos de la gestión de mantenimiento, definiendo así cuales son los equipos críticos, esto se hizo con el objetivo de que las estrategias de mantenimiento implementadas, tengan el mayor impacto y así lograr un mejor funcionamiento de los equipos y del sistema. La forma más idónea de establecer esta jerarquización de activos, fue mediante un análisis de criticidad.

Para identificar los equipos críticos se utilizó la metodología de criticidad D.S. la cual esta basada en aplicar una matriz de criticidad que comprende una serie de factores ponderados desarrollados para establecer cuales equipos son los críticos. La metodología de criticidad D.S., consiste en llenar para cada equipo involucrado una matriz organizada en factores y criterios ponderados en dos áreas: área de mantenimiento y área operacional. Para cada factor evaluado se definen criterios para ubicar un equipo con respecto a un factor asignándole una puntuación de acuerdo a su ponderación. Los factores evaluados en esta etapa, son los que mejor definen la situación de los equipos analizados en el periodo de estudio (Ene-Dic 2007), debido a que son cuantificables y muy bien conocidos por el personal de la empresa. Por lo que la metodología D.S. se ajusta por completo a este estudio.

Los parámetros evaluados son:

Del área de mantenimiento:

- Cantidad de Fallas ocurridas en el año 2007
- Tiempo Promedio Fuera de Servicio (MTFS) en horas en el año 2007.
- Disponibilidad de Repuestos (DR) en el año 2007.
- Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el año 2007.
- Efectividad (E) en el año 2007.
- Backlog (B) en semanas en el año 2007.

Del área de operaciones:

- Tipo de Conexión.
- Costo de Producción en el año 2007.
- Impacto sobre la seguridad industrial, ambiente y la higiene ocupacional (SIAHO) en el año 2007.

Estos parámetros fueron ponderados según lo establece la metodología D.S., del uno al tres, uno para lo menos severo y tres para lo más severo, en la tabla 4.17 se observa la matriz de criticidad resultante que se le aplico a cada equipo involucrado,

la cual contiene los factores evaluados y la ponderación de cada uno de ellos.

Tabla 4.17. Matriz de criticidad basada en la metodología D.S.

		Equipo:	Sistema:		
		Código:	Evento de control:		
AREA DE MANTENIMIENTO					
Factor a Evaluar	Criterios		Ponderación	Criterio de Selección	Puntos
		Relativo			
1) Cantidad de Fallos en el periodo evaluado	1a)	$0 \leq F \leq 4$	$0 \leq F \leq 1$	1	
	1b)	$4 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2	
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3	
2) Tiempo Promedio fuera de servicio (MTFS)	2a)	$MTFS \leq 4$		1	
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		2	
	2c)	$MTFS > 8$		3	
3) Disponibilidad de repuestos (DR) en el periodo evaluado	3a)	$DR \geq 80\%$		1	
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		2	
	3c)	$DR < 50\%$		3	
4) Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP)	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		1	
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		2	
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		3	
5) Efectividad (E)	5a)	$E \geq 80\%$		1	
	5b)	$50\% \leq E < 80\%$		2	
	5c)	$0\% \leq E < 50\%$		3	
6) Backlog (B) Semanas	6a)	$0 \leq B \leq 2$		1	
	6b)	$2 < B \leq 5$		2	
	6c)	$B > 5$		3	
Total puntos obtenidos en el área de Mantenimiento					
AREA OPERACIONAL					
Factor a Evaluar	Criterios		Ponderación	Criterio de Selección	Puntos
7) Tipo de conexión	7a)	Sistema en Paralelo	1		
	7b)	Combinación	2		
	7c)	Sistema en Serie	3		
8) Costo de Producción en el periodo evaluado	8a)	Igual a la Meta	1		
	8b)	Menor a la Meta	2		
	8c)	Mayor a la Meta	3		
9) Seguridad (seg.) del personal equipo y/o Ambiente (Amb.)	9a)	Sin Consecuencias	1		
	9b)	Efecto temporal sobre la seg. y/o Amb.	2		
	9c)	Efecto Permanente sobre la seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área Operacional					

Fuente: Guía Teórico-Práctico de herramientas técnicas para mejorar la confiabilidad. Confirma & Consultores, C.A. (2008)

La criticidad y clasificación de los equipos fue determinada a través de la ecuación mostrada en la tabla 4.18 que se muestra a continuación.

Tabla 4.18. Criticidad de equipos basada en la metodología D.S.

Criticidad del Equipo = [K1(ΣÁrea de Mantenimiento) + K2(ΣÁrea Operacional)] x 100			
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo		Seleccionar con una X
	No Crítico (33% ≤ Ponderación Total < 50%)		

	Semi/Crítico ($50\% \leq \text{Ponderación Total} < 70\%$)	
	Crítico ($\text{Ponderación Total} \geq 70\%$)	

Fuente: Guía Teórico-Práctico de herramientas técnicas para mejorar la confiabilidad.
Confima & Consultores, C.A. (2008)

Las constantes del área de mantenimiento (K_1), y del área operacional (K_2) fueron suministradas por el creador de la metodología D.S, y se muestran a continuación en las ecuaciones 4.1 y 4.2

$$K_1 = 0.027 \quad (\text{Ec. 4.1})$$

$$K_2 = 0.0555 \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Estos valores fueron los introducidos en la ecuación de criticidad de la tabla 4.18 a modo de garantizar que el valor de criticidad nunca supere la cifra de 100%.

4.2.1 Metodología Utilizada para la Recolección de la Información Necesaria para la Ejecución del Análisis de Criticidad.

Para el cumplimiento de esta etapa y en total acuerdo con el personal de mantenimiento y operaciones que labora en la empresa, se decidió realizar una encuesta (en el apéndice A.1 se muestra el formato de encuesta utilizado para recabar los datos necesarios para la ejecución del análisis de criticidad), con el objeto de recabar la información necesaria para la ejecución del análisis de criticidad, ya que a parte de los historiales de fallas de los equipos, no se cuenta con un historial mantenimiento fiable debido a la poca e incompleta información registrada. Dicha encuesta le fue realizada al personal (muestreo a juicio), y formula básicamente las mismas preguntas que se hacen en la matriz de criticidad D.S., a excepción del tipo de conexión del equipo, ya que esta información se obtiene de los diagramas de proceso con que cuenta la empresa. La opinión de cada encuestado es ponderada, según el grado de conocimiento que este tiene del proceso, y de los equipos

involucrados en el estudio.

A continuación en la tabla 4.19 se listan los encuestados y sus ponderaciones.

Tabla 4.19. Encuestados y sus ponderaciones

Encuestado	Ponderación %
Gerente de Mantenimiento	15
Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos	20
Supervisor de Equipos Estáticos y Rotativos	15
Operador	15
Jefe Mecánico	20
Jefe Electricista	15
Total	100

Luego de implementada la encuesta, se procedió a procesar los datos arrojados por ésta, con la finalidad de elegir un criterio para cada factor. Tomando en cuenta la ponderación que le fue asignada a cada encuestado.

4.2.2. Ejecución del Análisis de Criticidad.

Ya con todos los criterios seleccionados, mediante la metodología previamente expuesta, se procedió a vaciarlos en la matriz de criticidad, para obtener la criticidad de cada equipo estudiado, esto se hizo con la ayuda de una hoja de calculo programada en Excel con lo cual se acorto el tiempo empleado para obtener los resultados del análisis hecho. A continuación en la tabla 4.20 se muestra un ejemplo de matriz de criticidad correspondiente a la bomba centrifuga multietapas P-624A y en el apéndice A.2 se muestra la matriz para el resto de los equipos en estudio.

Tabla 4.20 Matriz de criticidad del equipo bomba auxiliar P-624A

		Equipo: Bomba contra Fuego		Sistema: Alimentación de agua de calderas			
Código: P-21A		Evento de control: F-1a					
ÁREA HUMAN CONSUMO EN FUE							
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Grado Subjetivo	Puntos	
	1a)	2a)	3a)				
1) Cantidad de Fallos en el período evaluado	1a)	$F \leq F \leq 4$	$5 \leq F \leq 1$	1	1a	3	
	2a)	$6 \leq F \leq 12$	$1 \leq F \leq 5$	2			
	3a)	$F \geq 12$	$F \geq 1$	3			
2) Tiempo Promedio Entre fallas (MTBF)	1a)	$MTBF \geq 4$		1	2a	3	
	2a)	$4 < MTBF \leq 8$		2			
	3a)	$MTBF < 4$		3			
3) Disponibilidad de repuestos (DR) en el período evaluado	1a)	$DR \geq 90\%$		1	3a	3	
	2a)	$70\% < DR < 90\%$		2			
	3a)	$DR < 70\%$		3			
4) Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP)	1a)	$100\% < CMP < 100\%$		1	4a	2	
	2a)	$70\% < CMP < 100\%$		2			
	3a)	$0\% < CMP < 70\%$		3			
5) Efectividad (E)	1a)	$E \geq 90\%$		1	5a	2	
	2a)	$70\% < E < 90\%$		2			
	3a)	$E < 70\%$		3			
6) Backup (B) Sumario	1a)	$B \geq 100\%$		1	6a	3	
	2a)	$2 < B < 10$		2			
	3a)	$B < 2$		3			
Total puntos obtenidos en el área de Mantenimiento						16	
ÁREA OPERACIONAL							
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Grado Subjetivo	Puntos	
	1a)	2a)	3a)				
7) Tipo de operación	1a)	Sin que se Parado		1	7a	1	
	2a)	Continuada		2			
	3a)	Sin que se Paro		3			
8) Grado de Prácticas en el período evaluado	1a)	1 a 4 de 10		1	8a	3	
	2a)	5 a 6 de 10		2			
	3a)	7 a 10 de 10		3			
9) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	1a)	sin Comportamientos		1	9a	1	
	2a)	Efecto temporal sobre trabajo		2			
	3a)	Efecto Permanente sobre trabajo		3			
Total puntos obtenidos en el área Operación						5	
Continuación...							
$\text{Crítica del Equipo} = [K1 (\Sigma A.M.) + K2 (\Sigma A.O.)] \times 100$							
$\text{Crítica del Equipo} = [0.027 (16) + 0.0555 (5)] \times 100 = 70,95\%$							
Evaluación Obtenida	Crítica del Equipo					Seleccionar con una X	
	No Crítico (33% ≤ Ponderación Total < 50%)						
	Semi/Crítico (50% ≤ Ponderación Total < 70%)						
	Crítico (Ponderación Total ≥ 70%)					X	

Una vez aplicada la matriz al resto de los equipos involucrados en el sistema, se ordenaron los resultados del factor de criticidad de mayor a menor para la jerarquización de los equipos de acuerdo a su nivel de criticidad.

4.3 Estimación de la Confiabilidad de los Equipos Críticos del Sistema de Alimentación de Agua de Calderas.

Uno de los factores determinantes que nos permite medir y evaluar la gestión de mantenimiento es el parámetro de confiabilidad, el cual indica la probabilidad de que un equipo se encuentre operativo para un tiempo determinado. En tal sentido se realizó la estimación de dicho parámetro para los equipos que fueron considerados críticos en el apartado anterior, de manera de conocer el valor actual de confiabilidad y saber así si se cumple con el valor de confiabilidad establecido por la empresa, y tomar decisiones importantes. Esta estimación ayudo a predecir las futuras fallas y por ende a establecer la mejor frecuencia de inspección y ejecución en los planes de mantenimiento preventivo para los equipos críticos del sistema de alimentación de agua de caldera.

Para el cálculo de la confiabilidad se utilizaron los valores de los tiempos entre falla (TEF) de los equipos críticos. Se utilizó el método de distribución de Weibull gráfico-analítico y a través del software Autocon 1.0 desarrollado en la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, el cuál se describe en el apartado 4.3.1.1, esto debido a su versatilidad, amplia aprobación en los medios universitarios, ya que puede ser aplicado en cualquiera de las etapas en que se encuentren los equipos.

Para la aplicación del método de la distribución de Weibull a mano alzada se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se determinó y se ordenó los tiempos entre falla (TEF) para cada equipo crítico en forma creciente (Ver apéndice A.3.) proveniente de los historiales de fallas mostrados en el apartado 4.1.2. A cada valor de los TEF se le asigna un número de corrida “i” de acuerdo a su posición.
2. Se calculó la función de acumulación de falla mediante la fórmula de aproximación de rangos medios ecuación 4.3, ya que para todos los equipos involucrados en el estudio $N \leq 20$. Ver apéndice A.3.

$$F(i) = \frac{i - 0,3}{N + 0,4} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

3. Se determinó el tiempo promedio entre falla de la data (TPEF data) utilizando la siguiente ecuación 4.4:

$$\text{TPEF data} = \sum \frac{\text{TEF}}{N} \quad (\text{Ec. 4.4})$$

4. Se graficó en el papel de Weibull los valores de $F(i)$ en función TEF y se ajustan los puntos a una recta de tendencia a mano alzada. Cuando los puntos graficados representan una recta hacemos el parámetro de posición “ γ ” igual a cero (0), pero para el caso de los equipos críticos la nube de puntos resultó curva, por lo que se ajusto la curva obtenida a una línea recta calculando el valor de γ , siguiendo los siguientes pasos:

- Se tomó para cada equipo 3 puntos A1, A2, A3 de manera que se cumpliera lo siguiente: $\Delta_{y1} = \Delta_{y2} = \Delta_y$. Se leyeron los valores de t_1 , t_2 y t_3 sobre el eje de las abscisas.

- Se aplicó la siguiente ecuación 4.5 para determinar el parámetro de posición γ :

$$\gamma = \frac{t_2^2 - t_1 * t_3}{2t_2 - t_1 - t_3} \quad (\text{Ec. 4.5})$$

- Al valor obtenido de γ se le resto los TEF correspondiente para cada equipo. Se graficó los valores de TEF - γ en eje de las abscisas y los F_i en el eje de las ordenadas; hasta que la nubes de punto trasladada se ajustó a una línea recta.

5. Prolongando la recta de tendencia hasta cortar el eje “A” auxiliar que se encuentra

en la parte superior del papel de Weibull se obtiene el parámetro de escala “ η ”.

6. Trazando una recta paralela a la recta de tendencia a partir del origen del eje auxiliar “X,Y”, se obtiene el parámetro de forma “ β ” en el punto en el cual la recta paralela corta a la escala auxiliar “b”.

7. Se calculó el tiempo promedio entre falla según la distribución de Weibull (TPEF Weibull) utilizando la ecuación 4.6. Los valores de A y B se toman de las tablas de la Ley Numérica de Weibull. Ver apéndice A.4.

$$\text{TPEF}_{\text{Weibull}} = A \eta + \gamma \quad (\text{Ec. 4.6})$$

8. Se determinó el porcentaje de error comparando los TPEF de la data con los de la distribución de Weibull a través de la ecuación 4.7. Este porcentaje debe ser menor a 5% para ser aceptado.

$$\% \text{ de Error} = \left| \frac{\text{TPEF}_{\text{data}} - \text{TPEF}_{\text{Weibull}}}{\text{TPEF}_{\text{data}}} \right| * 100 \quad (\text{Ec. 4.7})$$

9. Se determinó la función de Confiabilidad R(t), según la siguiente ecuación 4.8:

$$R(t) = e^{-\beta(t-\gamma/n)} \quad (\text{Ec. 4.8})$$

4.3.1 Descripción Operacional del Software Autocon 1.0

El Autocon 1.0, es una herramienta muy versátil que facilita el trabajar con la distribución de Weibull y fue desarrollada en el departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, por el Ingeniero Darwin Bravo. El mismo nos permite determinar los parámetros de Weibull (parámetro de forma β ,

parámetro de escala η y el parámetro de posición γ), a diferencia de otros softwares que solo arrojan los parámetros de forma y escala, ajustando a cero el parámetro de posición, obteniéndose siempre que la nube de puntos tiende a una recta.

El programa Autocon 1.0, no asume esta modalidad sino el operador tiene la opción de elegir si desea asignar el valor de cero al parámetro de posición “ γ ” o si desea no hacerlo. De manera que se obtienen resultados que se ajusten a la realidad. El Software AUTOCON 1.0 estimó la confiabilidad siguiendo este procedimiento:

1. Se escoge la opción del método paramétrico.
2. Se ingresan los TEF (tiempo entre falla) en un formato previsto para ello.
3. Se pulsa el comando “Graficar”, calculándose la frecuencia acumulada de falla (%Fi).
4. Se selecciona la escala con que se desea trabajar.
5. Se grafican los TEF Vs. %Fi, lográndose una nube de puntos la cual muestra una tendencia curva en casi todos los casos.
6. Luego se ajusta la curva a una línea recta determinándose el parámetro de posición.
7. En la gráfica mostrada, el software determina los parámetros de forma “ β ”, escala “ η ” y el de posición “ γ ”.
8. Obtenido estos parámetros el software lo sustituye en la ecuación de confiabilidad de Weibull obteniéndose la confiabilidad del equipo para el tiempo (en horas) que elija el operador.
9. Por último se visualizan las características del equipo con sus respectivos parámetros y su confiabilidad.

4.4 Determinación del Origen de las Fallas de los Equipos Críticos Usando la Herramienta Técnica de Análisis Causa Raíz (Acr).

El ACR permitió de una manera organizada definir la causa raíz de los problemas presentados por los equipos críticos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas utilizando para ello un árbol lógico de decisión.

Para cada uno de los equipos críticos se siguió el siguiente procedimiento para la construcción del árbol lógico de decisión:

1. Conformación del equipo natural de trabajo (ENT): Se conformó un equipo multidisciplinario donde se generaron tormentas de ideas para aplicar el ACR. La idea principal de la conformación del equipo natural de trabajo (ENT) fue involucrar al mayor número de personas en el análisis con el objetivo de obtener varios puntos de vista evitando de esta manera resultados parcializados, esto permitió que el personal involucrado nivelara conocimientos y aceptara con mayor facilidad los resultados, dado que su opinión fue tomada en cuenta.

El personal elegido para integrar el Equipo Natural de Trabajo (ENT) estuvo formado por personas encargadas de operar la planta y de la toma de decisiones referentes a los equipos asociados al sistema de alimentación de agua de caldera de la planta Metor, S.A. Los participantes se nombran a continuación y se esquematizan en la figura 4.10.

- Pasante Jesús Martínez, Facilitador General.
- Ing. José L. Rodríguez, Especialista de Procesos.
- Ing. José Hernández, Supervisor y Ejecutor de Equipos Estáticos.
- Ing. Luís Bustamante Súper Intendente de Mantenimiento Mecánico.

- Ing. Antonio Guarache, Especialista de Confiabilidad en Equipos Estáticos.
- Ing. Franco Groves, Especialista en Operaciones y Procesos.
- Ing. Luís Salazar, Gerente de Mantenimiento.
- Ing. Argenis López, Supervisor y Ejecutor de Equipos Dinámicos.
- Ing. Luzeida Alveaca, Especialista en Laboratorio.
- Ing. Maximino Molina, Especialista en Instrumentación y Control.
- Ing. José M. Gamboa, Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos.
- Tecnólogo Pablo Castro, Especialista en Seguridad Industrial, Ambiente e Higiene Ocupacional (SIAHO).



Figura 4.10. Equipo Natural de Trabajo (ENT).

Fuente: Metanol de Oriente, Metor S.A

El facilitador general es el personal más importante en el proceso de revisión del ACR. Es un miembro extra del grupo, su labor consistió en fijar reuniones, coordinarlas y verificar que el trabajo del equipo se adaptó a la metodología del ACR.

Los distintos especialistas aportaron conocimientos, causas, efectos, consecuencias de las fallas y manera de evitarlas. En el caso del especialista en

proceso aportó y resolvió las controversias sobre las irregularidades del proceso.

2. Definición del problema y sus modos de ocurrencia: Una vez conformado el equipo natural de trabajo, se procedió a seleccionar las fallas del problema y a definir los modos de ocurrencia.

El problema representa el primer nivel del árbol lógico, es la razón por la cual se está realizando el análisis y los modos describen cómo puede ocurrir el problema, es decir establecen las causas.

El problema para cada equipo crítico involucrado en el estudio fue seleccionado por el ENT, el cual tomó en consideración la experiencia y el historial de mantenimiento correctivo para cada equipo involucrado de manera que los problemas planteados se muestran en la tabla 4.21:

Tabla 4.21. Problema y modos de ocurrencia de los equipos críticos

Equipo	Problema	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4
E-205	Disminución de la generación de vapor en la caldera	Grietas en soldaduras de tubos y placas	Grietas en soldaduras de tapones	Grietas en tubos a la altura del soporte #2	Corrosión externa en área cercana a ferrul
P-621 A	Disminución en la presión de descarga	Sellos Mecánicos	Turbina	Cojinetes	Acople
P-624 A	Disminución de la eficiencia de la bomba	Sellos Mecánicos	Filtro de Succión	Rodamiento	Acople

Con la información de los distintos problemas y los modos de fallas presentados se empezó a estructurar el árbol lógico de decisión tal como se muestra en la figura 4.11.



Figura 4.11. Esquema del problema y los modos de fallas en el árbol lógico
Fuente: Metanol de Oriente Metor S.A.

3. Formular Hipótesis para cada modo de falla de ocurrencia: Seguidamente se procedió a formular las distintas hipótesis para cada modo de falla y a verificar sus causas de manera de ir descartando, esto permitió llegar hasta las posibles raíces del problema.

Las hipótesis se generaron mediante la respuesta a la siguiente pregunta ¿Cómo se puede dar el modo de falla? Ayudó a definir las causas raíces.

Toda esta información conjuntamente con la de la tabla 4.21 se procedió a vaciarla en el árbol lógico de decisión.

El tipo de las raíces determinadas se nombran a continuación:

- **Raíz Física:** identificada con el color azul en el árbol lógico de decisión, es una causa de falla que envuelve materiales o cosas tangibles (evidentes).
- **Raíz Humana:** identificada con el color amarillo en el árbol lógico de decisión, es una causa de falla debida a una intervención inapropiada de un ser humano. Se debe a un error o una violación.
- **Raíz Latente:** identificada con el color naranja en el árbol lógico de decisión, la ocurrencia de la falla es debida a la falta o deficiencia que presenta una organización o proceso (reglas, procedimientos, guías, etc).

Como ejemplo para el caso de la caldera E-205 el cual resultó crítico, se tiene:

Problema: Disminución de la generación de vapor

Modo: Grietas en soldaduras de tubos y placa

Hipótesis 1: Corrosión y/o fatiga

Hipótesis 2: Corrosión bajo tensión

Hipótesis 3: Fragilización por revenido

Hipótesis 4: Fragilización por hidrógeno

Para la verificación de las hipótesis propuestas se utilizó la siguiente matriz mostrada en la tabla 4.22 y en el apéndice A.5 se muestra la matriz de verificación de hipótesis para el resto de los equipos críticos.

Tabla 4.22. Matriz de verificación de hipótesis para el E-205

Modo de Falla	Hipótesis Propuesta	Método de Verificación	Responsable	Fecha	Resultados
Grietas en soldadura de tubos y placa	Corrosión - Fátiga	Informe de análisis de falla realizado por PRODUTEC	Especialista en equipos estáticos	26/10/2008	La combinación de los elementos necesarios para que esta falla ocurra ya están presentes en el sistema, aunque no se ha observado porque en los análisis de fallas realizados no se ha incluido la soldadura
	Corrosión bajo tensión	Realizar análisis metalúrgicos luego de su reemplazo	Especialista en equipos estáticos	01/12/2008	La combinación de los elementos necesarios para que esta falla ocurra ya están presentes en el sistema, aunque no se ha observado porque en los análisis de fallas realizados no se ha incluido la soldadura
	Fragilización por revenido	Realizar pruebas de impacta luego de su reemplazo	Especialista en equipos estáticos	01/12/2008	Esta programado realizar ensayos de dureza y prueba Charpa a varias secciones

					del E-205 cuando salga de operaciones
	Fragilización por hidrógeno	Informe de análisis de falla realizado por PRODUTEC	Especialista en equipos estáticos	26/10/2008	Se revisaron los registros e informe de PRODUTEC con análisis metalográfico que muestra este mecanismo de falla

Una vez verificadas las hipótesis se determinaron las posibles raíces del problema, siguiendo el ejemplo anterior se tiene:

Problema: Disminución de la generación de vapor.

Modo: Grietas en soldaduras de tubos y placa.

Hipótesis 1: Corrosión y/o fatiga.

Causa Raíz Física: Tratamiento químico inadecuado.

Causa Raíz Humana: Error de lectura de analizadores respecto a laboratorio.

Causa Raíz Latente 1: Inexistencia de política de revisión y adecuación de planes de mantenimiento (PM).

Causa Raíz Latente 2: Sistema de seguimiento a recomendaciones y asignación de prioridades no sincronizadas.

4. Emitir las Recomendaciones: Una vez evaluadas las distintas hipótesis y habiendo determinado las causa raíz, se procedió a emitir las recomendaciones identificando soluciones y generando acciones que permitan mejorar la gestión de mantenimiento. En la figura 4.12 se muestra el diagrama general del árbol lógico de decisión, que se aplicó a cada equipo involucrado en el estudio

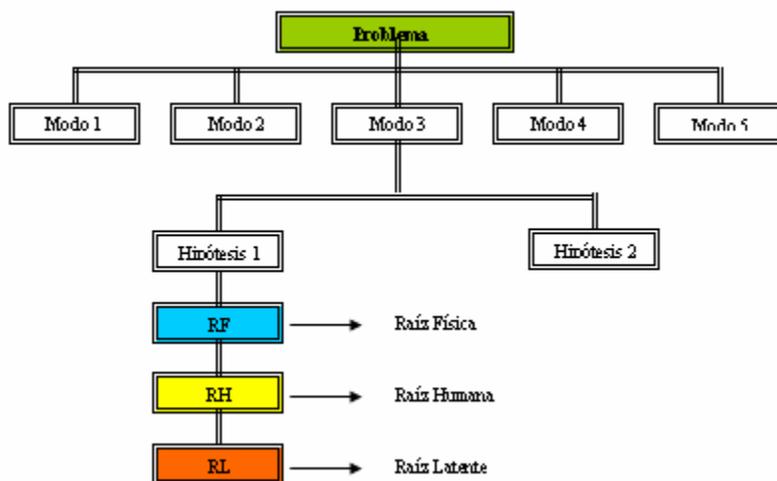


Figura 4.12 Diagrama general del árbol lógico de decisión.
Fuente: Guía Teórico-Práctico de herramientas técnicas para mejorar la confiabilidad.
Confirma & Consultores, C.A. (2008)

4.5 Formulación de las Mejoras a los Planes de Mantenimiento de los Equipos Críticos del Sistema Basado en los Resultados del Análisis Causa Raíz.

Una vez recopilada toda la información y alcanzados cada uno de los objetivos planteados, se procedió a elaborar las acciones de mantenimiento enfocadas a la prevención de fallas y por lo tanto aumentar la confiabilidad de los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas de la planta Metor, S.A.

Esta sección está orientada a buscar la manera de mejorar y mantener el funcionamiento de los equipos mediante su monitoreo y mantenimiento, el cual se refiere al trabajo que se realizará con planeación, previsión y control.

Para la elaboración de las acciones de mantenimiento se, tomaron en cuenta los resultados arrojados por el ACR, a fin de emitir las recomendaciones de evaluación y control durante las sesiones de mantenimiento que van a ser sometidos los equipos, de acuerdo al estudio realizado, con la intención de cubrir todas los

posibles aspectos vulnerables a presentar fallas.

El mantenimiento de los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de caldera contará tanto con actividades de mantenimiento preventivo como correctivo, esto debido a que algunos componentes deben trabajar hasta que fallen, por razones como: alto costo de mantenimiento preventivo, complejidad en el reemplazo de piezas, etc.

4.6 Propuesta de Indicadores de Gestión que Permitan la Evaluación de las Mejoras Establecidas a los Planes de Mantenimiento.

Con la finalidad de comprobar la eficiencia de las acciones de mantenimiento propuestas y comenzar con una serie de actividades que ayuden a llevar a cabo con éxito los procesos industriales, se seleccionó una serie de indicadores para medir y evaluar la gestión de mantenimiento. Como punto de partida y parámetro de comparación se estableció la confiabilidad de los equipos críticos que fue calculada en la sección 4.3.1.

Los indicadores que se proponen son los que más se ajustan a la realidad de los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas y se nombran a continuación:

- Disponibilidad.
- Cumplimiento de programas de mantenimiento preventivo (CPMP).
- Efectividad operacional
- Mantenibilidad.

4.6.1 Disponibilidad (D).

Se define como la probabilidad de que el equipo esté disponible para su uso durante un periodo dado y se utiliza para estimar el efecto combinado de la confiabilidad y la mantenibilidad. Es un indicador que depende del tiempo de las acciones de mantenimiento programado. Para realizar un análisis de disponibilidad del equipo se debe tener en cuenta los correctivos y fallas así como las actividades de mantenimiento programado que le aplican. Dicha disponibilidad depende de la media de tiempos entre fallas y la media de tiempos fuera de servicio, viene dada por la ecuación 4.9.

$$D = \frac{MTEF}{(MTEF + MTFS)} \quad (4.9)$$

MTEF: Media de tiempos entre fallas.

MTFS: Media de tiempos fuera de servicio.

Para incrementar la disponibilidad se debe aumentar la media de tiempos entre fallas y disminuir la media de tiempos fuera de servicio.

4.6.2 Cumplimiento de Programas de Mantenimiento Preventivo (CPMP).

Este es uno de los indicadores de mayor importancia en la industria y se basa en medir el cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo de los equipos del sistema productivo en un periodo preestablecido.

Dicho indicador viene dado por la expresión 4.10:

$$\% \text{ CPMP} = \frac{\text{ODT Ejec. de Mantto prev.}}{\text{ODT Prog. de Mantto Prev.}} \quad (4.10)$$

ODT = Ordenes de Trabajo

4.6.3 Efectividad Operacional (E).

La efectividad operacional se basa en la disponibilidad y se define como el factor de utilización y mide el aprovechamiento real del equipo para la producción como se observa en la ecuación 4.11.

$$E = \frac{\text{Horas Efectivas}}{\text{Horas Disponibles}} \quad (4.11)$$

Horas Efectivas = Horas reales de aprovechamiento del equipo para la producción.

Se puede apreciar mejor la expresión por medio de la figura 4.13.

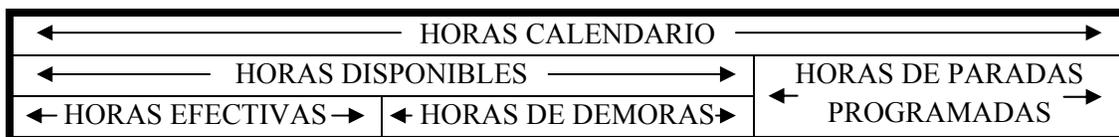


Figura 4.13 Esquema de horas calendario.

Fuente: Guía Teórico-Práctico de herramientas técnicas para mejorar la confiabilidad.
Confima & Consultores, C.A. (2008)

4.6.4 Mantenibilidad (M).

La Mantenibilidad de un equipo o sistema es la probabilidad de que pueda ser restaurado a uno de sus estados operacionales en un periodo de tiempo dado cuando la acción de reparación se efectúa de acuerdo a procedimientos previamente establecidos. La mantenibilidad puede estimarse mediante la ecuación 4.12.

$$M_{(t)} = P(T \leq t) = e^{-e^{-[\alpha(t-\mu)]}} \quad (4.12)$$

μ : Parámetro de escala, corresponde al tiempo donde la probabilidad de falla es igual a 37%.

α : Parámetro de dispersión, es el inverso de la pendiente de la recta en el papel de Gumbell tipo I.

T: Tiempo de reparación.

t: Tiempo de estudio.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 Situación Actual

5.1.1 Diagnóstico de los Equipos del Sistema de Alimentación de Agua de Caldera

Luego de haber concluido con el diagnóstico de la situación actual en que se encuentran los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas, se pudo conocer el funcionamiento de estos equipos así como del sistema, en la tabla 5.21 se muestran el listado de los equipos involucrados en el estudio, en la cual se identifica su operatividad y el tipo de mantenimiento que se les aplica a estos equipo.

Tabla 5.1. Listado de los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de caldera.

Equipo	Tipo	Operativo	Tipo de Funcionamiento	Mantenimiento Aplicado
TK-620	Tanque de Almacenamiento	Si	Continuo 24 horas	Correctivo
P-621A	Bomba Centrifuga Multietapas	Si	Continuo 24 horas	Preventivo
P-621B	Bomba Centrifuga Multietapas	Si	Discontinuo	Preventivo
E-205	Caldera	Si	Continuo 24 horas	Correctivo
V-201	Tambor de Vapor de Caldera	Si	Continuo 24 horas	Preventivo
P-624A	Bomba Centrifuga Multietapas	Si	Continuo 24 horas	Preventivo
P-624B	Bomba Centrifuga Multietapas	Si	Discontinuo	Preventivo
B-620A	Caldera Auxiliar	Si	Continuo 24 horas	Correctivo
B-620B	Caldera Auxiliar	Si	Continuo 24 horas	Correctivo

De la tabla de resultados 5.1, se puede conocer que los equipos que se encuentran inoperativos son las bombas P-621B y P624B las cuales son utilizadas como equipos auxiliares, todos los equipos excepto las calderas E-205, B-620 A/B y el tanque de almacenamiento TK-620 son sometidos a una frecuencia de mantenimiento preventivo. También se constató lo siguiente:

- Inexistencia de historiales de falla, no se lleva registro de las mismas ni causa por escritos o planificación documentada alguna.
- No existen estudios previos que conlleven a la determinación de los ciclos de revisión de los componentes que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas.
- No se llevan estadísticas de tiempo de parada y tiempo de reparación.

5.1.2 Recopilación de la Data

A continuación se muestra en los gráficos 5.1 y 5.2, el resultado de las fallas presentadas por los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas de la planta Metor, S.A. para el periodo de un año (2007).

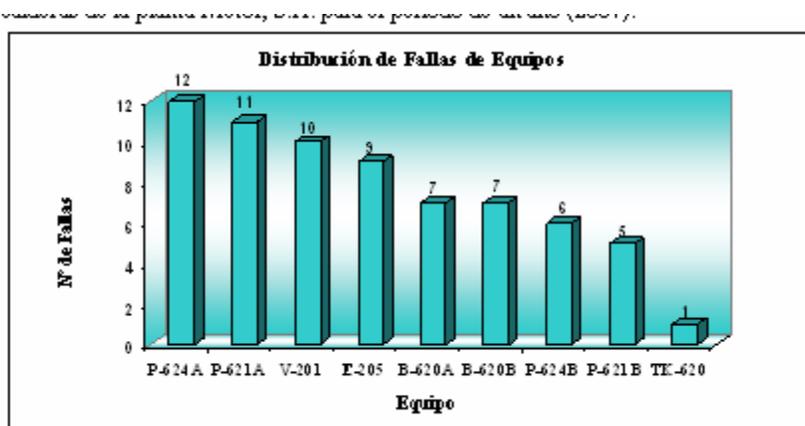


Gráfico 5.1. Distribución del número de fallas de los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas.

El gráfico 5.1 muestra gráficamente la distribución de la cantidad de fallas que presentaron cada uno de los equipos que conforman el sistema de alimentación de

agua de calderas para un periodo de un año. Del cual se pudo conocer que el sistema presento un total de 68 fallas en el periodo, las cuales están distribuídas en el siguiente orden decreciente: 12 fallas presentadas por la P-624A, 11 fallas de la P-621A, 10 fallas del V-201, 9 fallas a causa del E-205, 7 fallas correspondientes a cada una de las calderas B-620 A/B, 6 fallas de la P-624B, 5 fallas de la P-621B y 1 falla del TK-620.

Una vez determinadas las fallas de mayor a menor de los equipos en estudio se realizó un análisis del diagrama de pareto para identificar los equipos críticos de acuerdo a su número de fallas. El teorema de pareto sostiene que el 80% de los efectos es provocado por el 20% de las causas.

Para la realización del diagrama de pareto se utilizaron los valores del gráfico 5.1. Una vez gráficado el diagrama se trazó una línea horizontal por el punto correspondiente al 80% del % de falla acumulada y una vertical por el punto que toca a la curva, el punto así obtenido indica que los equipos que se encuentran al lado izquierdo son el 80% de los equipos críticos.

La utilización de esta herramienta permitió obtener el orden de prioridades en que deberán ser atacados estos equipos con la elaboración de las propuestas de mantenimiento, con el objetivo de mejorar la confiabilidad del sistema en estudio (Ver gráfico 5.2)

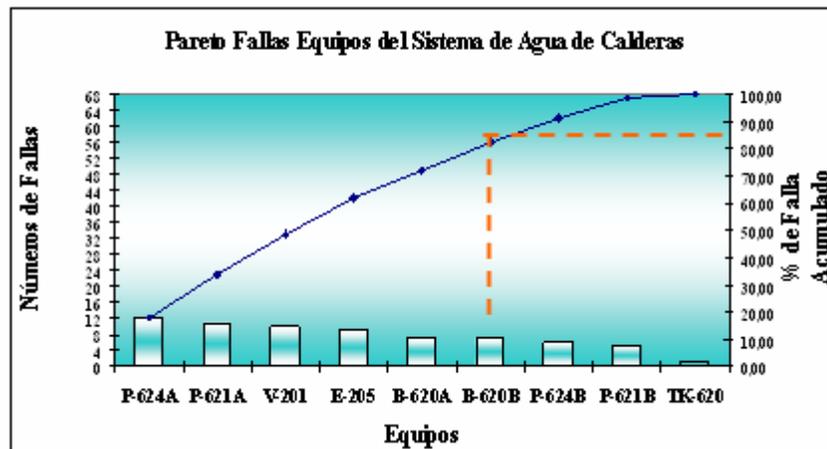


Gráfico 5.2. Pareto de las fallas presentadas por los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas

Los resultados obtenidos a través del gráfico 5.2, indican que el 80% de las fallas del sistema de alimentación de agua de calderas son presentadas por los siguientes equipos: P-624A, P-621A, V-201, E-205, B-620A y B-620B, las fallas de estos equipos en su mayoría son debidas a fugas, disminución de la generación de vapor, fallas de rodamientos y grietas en soldaduras. El resto de los equipos en estudios son afectados en una menor proporción. Cabe destacar que los datos recopilados no corresponden con certeza a todas las fallas presentadas por los equipos ya que no existe un orden en el almacenamiento de los mismos.

5.2 Resultados del Estudio de Criticidad

Después de haber ponderado todos los factores evaluados, los resultados se muestran en la tabla 5.2, en la cual se presentan los valores correspondientes a cada factor evaluado en este análisis, conjuntamente con el valor de criticidad de cada uno de los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas.

Tabla 5.2. Valores de criticidad de los equipos del sistema de alimentación de agua de

calderas.

Equipos	Área de Mantenimiento						Área Operacional			
	FF	MTFS	DR	CMP	(E)	(B)	Tipo de Conexión	Costo de Producción	Impact. Seg. Equip. y Amb.	Criticidad (%)
E-205	3	3	2	2	1	2	3	3	2	82,20
P-621 ^a	3	3	3	2	2	3	1	3	1	70,95
P-624 ^a	3	3	3	2	2	3	1	3	1	70,95
B-620 ^a	3	3	2	2	1	1	1	3	2	68,40
B-620B	3	3	2	2	1	1	1	3	2	68,40
P-621B	2	2	3	3	3	1	1	1	1	54,45
P-624B	2	2	3	3	3	1	1	1	1	54,45
V-201	3	2	1	1	1	1	3	1	1	52,05
TK-620	1	1	1	1	1	1	3	1	1	43,95
										Σ 557,7

La suma de todos los valores de criticidad de los equipos determina el valor de la criticidad del sistema en estudio, en este caso el valor de criticidad para los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas es igual a 557,7. La jerarquización de los equipos se realizó identificando los más críticos según la situación actual de los mismos.

En el gráfico 5.3 se puede observar la jerarquización de los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas de acuerdo a su nivel de criticidad.

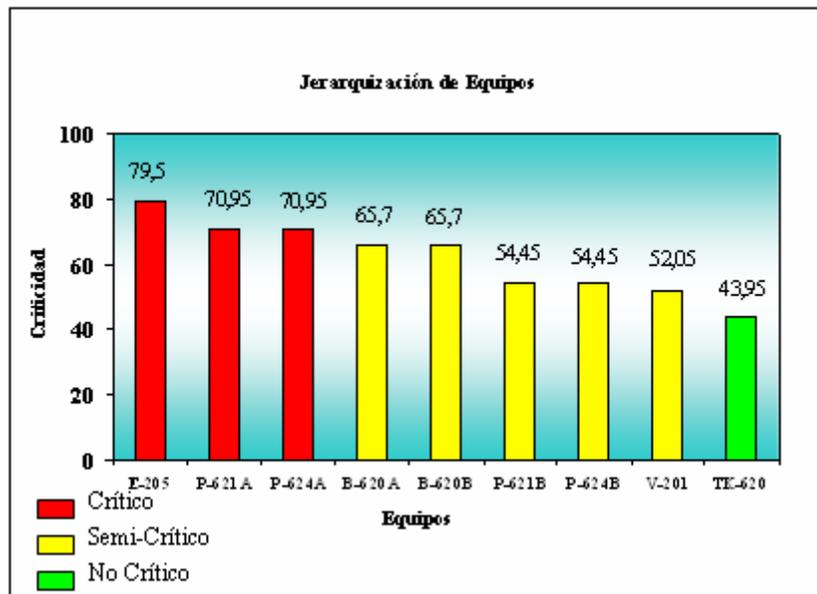


Gráfico 5.3. Jerarquización de los equipos del sistema de alimentación de agua de calderas de acuerdo a su nivel de criticidad.

De los resultados obtenidos del análisis de criticidad a los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas de la Planta Metor, S.A. se determinó que tres (3) equipos resultaron con máxima criticidad, lo que representa 33,33% del total de los equipos que conforman al sistema en estudio, los cuales deben de ser atendidos siguiendo el orden resultante del gráfico de cada uno de los equipos (E-205, P-621A y P-624A). Estos equipos representan el mayor riesgo y su criticidad viene influenciada mayormente por las fallas presentadas, el tipo de conexión en que se encuentran estos equipos, el alto costo de reparación, la falta de repuestos a la hora de realizar el mantenimiento y por ende el tiempo fuera de servicio.

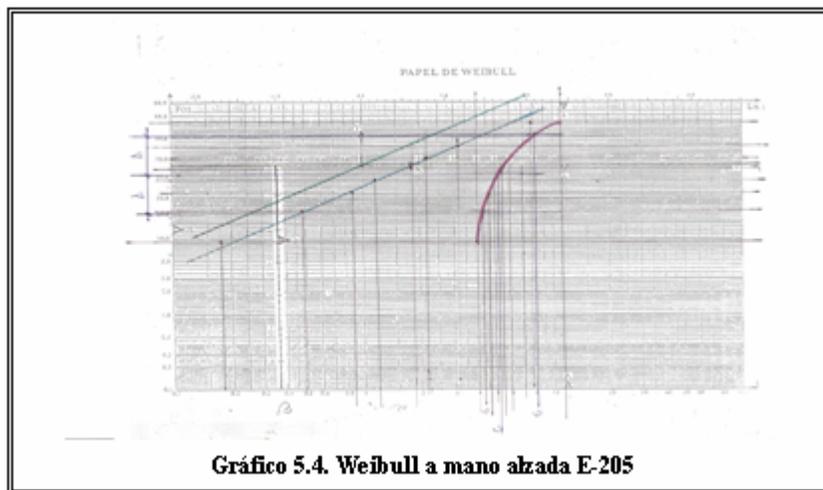
Se determinaron cinco (5) equipos semi-críticos (B-620A, B-620B, P-621B, P-624B y V-201) su criticidad se debe en su mayoría al tiempo fuera de servicio debido a la disponibilidad de repuestos a la hora de realizar el mantenimiento. Como equipo no crítico resultó ser el TK-620, debido a la baja frecuencia de fallas y por lo tanto al poco tiempo fuera de servicio.

5.3 Resultados de la Estimación de Confiabilidad

Siguiendo el procedimiento de mano alzada de la distribución de Weibull del apartado 4.3.1 se obtuvieron los siguientes resultados:

Para el caso del equipo crítico E-205

En el gráfico 5.4 y 5.5 se muestran los resultados de las graficas obtenidas en la distribución de Weibull a mano alzada y por el software Autocon 1.0 respectivamente y en la tabla 5.3 la comparación de los valores de los parámetros de Weibull obtenidos por ambos métodos.



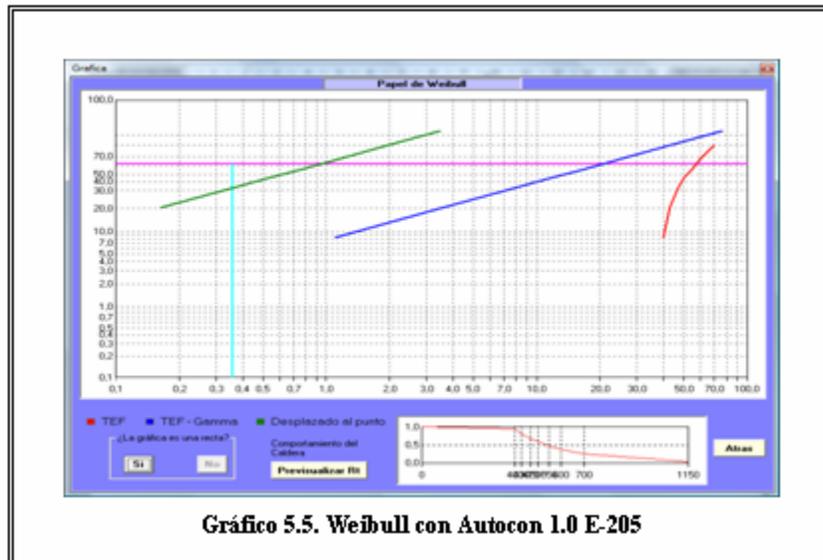


Tabla 5.3. Comparación de las funciones de confiabilidad para el E-205

Método de Weibull Utilizado	Parámetro de Posición (Y)	Parámetro de Escala η (Horas)	Parámetro de Forma (β)	Ecuación de R(t)	R(t) para t = 480 (Horas)
Gráfico – Analítico	382,00	230,00	1,19	$R(t) = \ell^{-\left(\frac{t-382}{230}\right)^{1,19}}$	69,05 %
Software Autocon 1.0	389,03	218,51	1,11	$R(t) = \ell^{-\left(\frac{t-389,03}{218,51}\right)^1}$	64,83%

Al comparar los resultados de la distribución de Weibull obtenidos por el método gráfico-analítico y por el Software Autocon 1.0 (tabla 5.3) se aprecian mínimas variaciones. Ambos resultados ubican al equipo crítico E-205 en un período de desgaste ($1 < \beta < 1,19$) en la curva de la bañera donde la tasa de falla crece a medida que transcurre el tiempo. En cuanto al parámetro de escala “ η ” se presenta 230 horas para el método grafico-analítico y 218,51 horas por el software Autocon 1.0; esta diferencia entre los resultados obtenidos se debe a que cuando se emplea el método grafico-analítico de la distribución de Weibull, se asume el parámetro de posición “ γ ” igual a cero, cuando la nube de puntos se ajusta a una recta, en caso

contrario el procedimiento para encontrar el valor de “ γ ” se hace tedioso, la aproximación es visual, es decir, que los resultados pueden variar para cada persona que intente aproximar la curva. Sin embargo, el Autocon 1.0 permite graficar su recta otorgándole un valor al parámetro de posición “ γ ”, con el cual se logran apreciaciones más precisas y acordes con la realidad; para este caso en particular el valor de γ señala que el equipo va a iniciar su operación sin problemas pudiendo presentar fallas a partir de las 389,03 horas luego de haber arrancado. Aunque la diferencia entre ambos resultados es muy cercana, utilizaremos los resultados obtenidos por el software Autocon 1.0 ya que este logra apreciaciones más acorde con la realidad.

En el apéndice A.6 se muestran los gráficos de los equipos críticos obtenidos a través del Autocon 1.0 y en la tabla 5.4 se muestran los resultados de la estimación de confiabilidad para los equipos críticos del sistema de alimentación de agua de calderas.

Tabla 5.4. Resultados de estimación de confiabilidad para los equipos críticos

Equipo	Parámetro de Posición (γ)	Parámetro de Escala η (Horas)	Parámetro de Forma (β)	Ecuación de R(t)	R(t) para t = 480 (Horas)
P-621A	220,11	466,62	3,24	$R(t) = \ell \left(\frac{t-220,11}{466,62} \right)^{3,24}$	86,10%
P-624A	59	612,29	4,22	$R(t) = \ell \left(\frac{t-59}{612,19} \right)^{4,22}$	81,42%
E-205	389,03	218,51	1,11	$R(t) = \ell \left(\frac{t-389,03}{218,51} \right)^1$	64,83%

De los resultados obtenidos mostrados en la tabla 5.4 se tiene:

- Los valores del parámetro de forma (β) ubican a los equipos críticos involucrados en el estudio en la etapa de desgaste ($1 < \beta < 4,22$) en la curva de la bañera donde la tasa de falla crece a medida que transcurre el tiempo.

- Al graficar la lluvia de puntos en el papel de Weibull se obtuvo una curva para cada equipo, por lo que el valor del parámetro de posición es diferente de cero y para encontrar su valor se procedió ajustar la curva utilizando el procedimiento descrito en el apartado 4.3.1. Las gráficas obtenidas en el papel de Weibull a través del software AUTOCON 1.0 (ver apéndice A.6.) muestra los valores de γ , el cual indica que no existe probabilidad de falla para el caso de la P-621A hasta las 220,11 horas con un parámetro de escala de 466,62; para la P-624A hasta las 59 horas con parámetro de escala de 612,29; y para el E-205 no existe probabilidad de falla hasta las 389,03 horas y parámetro de escala igual a 218,51.
- Todos los valores de confiabilidad calculados para veinte días resultaron por debajo de 90% el cual representa el establecido por la empresa, por lo que se consideran a todos estos equipos críticos no confiables en el periodo evaluado.

5.4 Resultados del Análisis Causa Raíz (Acr)

Una vez aplicado el ACR e identificadas los diferentes problemas y fallas de los equipos críticos que conforman el sistema de alimentación de agua de caldera se tiene como resultado para cada equipo el árbol lógico de decisión que se presenta a continuación.

1. Para la caldera E-205 se tiene como resultado las figuras 5.1, 5.2 y 5.3 y en la tabla 5.5, 5.6 y 5.7 las actividades que se recomienda realizar.

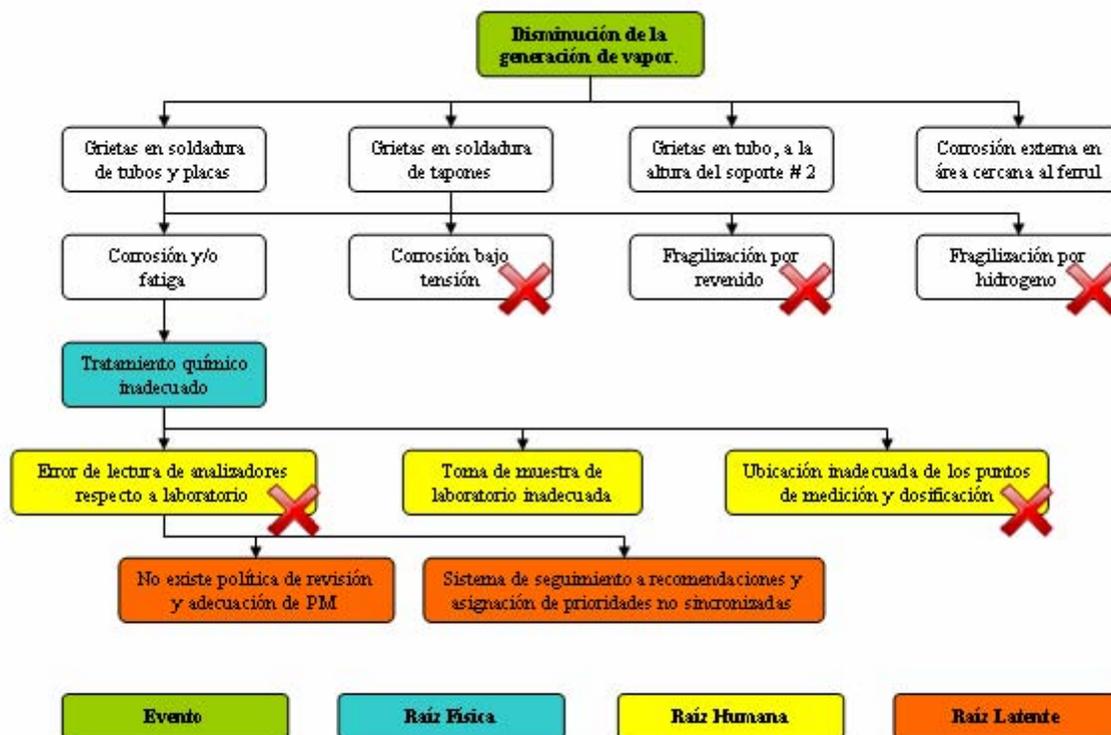


Figura 5.1. Árbol lógico de decisión E-205 (1)
Fuente: Equipo Natural de Trabajo

Tabla 5.5. Actividades propuestas para la caldera E-205.

ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS CAUSAS RAICES LATENTES PARA LA CALDERA E-205				
ITEN	RECOMENDACION	RESPONSABLE	FECHA	% DE AVANCE
1	Establecer en la política de la organización la revisión de los planes de mantenimiento de acuerdo a la edad de los activos y a los cambios en el contexto operativo de los mismos.	Especialista en Contabilidad Conjuntamente con el Personal de planificación	Inmediato	
2	Ejecutar las recomendaciones realizadas por Mitsubishi Heavy Industries, en el informe del análisis de calidad del agua de Calderas, específicamente: • Ajustar los rangos de operación normal del PH entre 9,2 – 9,4. • Evaluar efectividad de los puntos de dosificación estimados.	Especialista en Equipos Estáticos en Conjunto con el Personal de Laboratorio	Próxima Parada de Planta (10/08/2009)	
3	Implementar un sistema que permita realizar seguimiento y asignar prioridades a las recomendaciones establecidas por Mitsubishi Heavy Industries.	Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos	Una vez aplicadas las Acciones	
4	Reubicar los puntos de medición en línea de PH y los de muestreo de laboratorio.	Especialista en Procesos en conjunto con el personal de laboratorio	Próxima Parada de Planta (10/08/2009)	

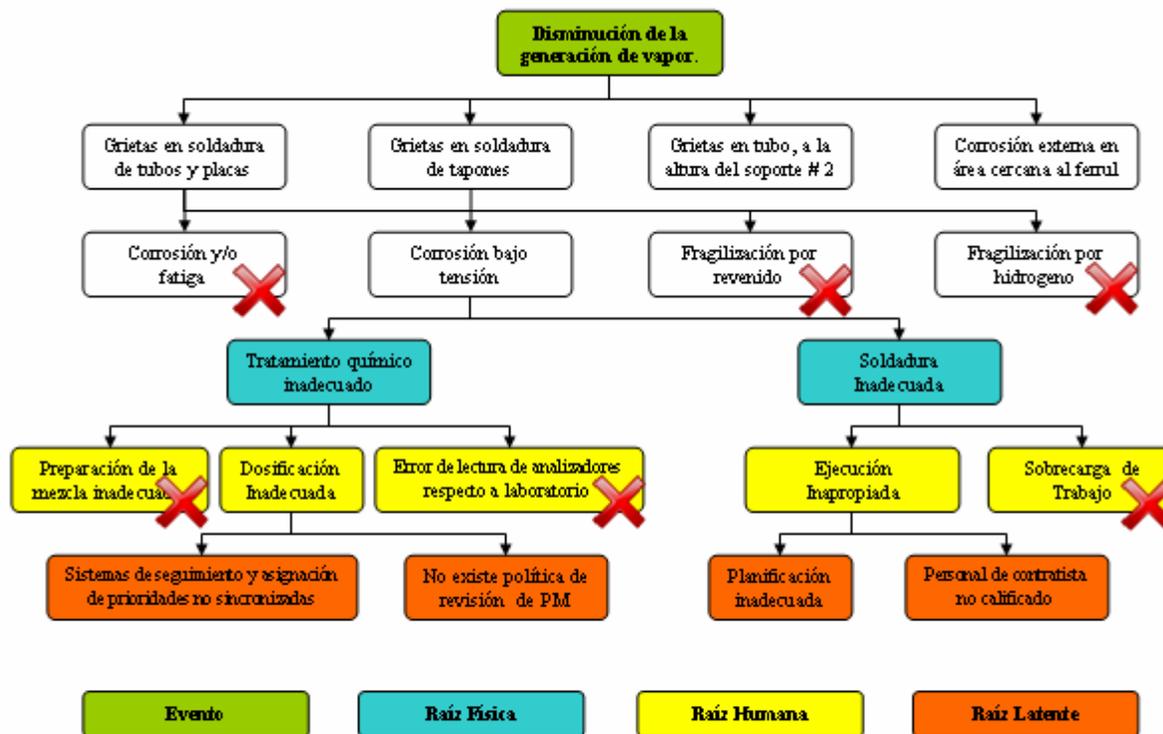


Figura 5.2. Árbol Lógico de decisión E-205 (2)
Fuente: Equipo Natural de Trabajo

Tabla 5.6. Actividades propuestas para la caldera E-205.

ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS CAUSAS RAÍCES LATENTES PARA LA CALDERA E-205				
ITEM	RECOMENDACION	RESPONSABLE	FECHA	% DE AVANCE
1	Ejecutar las recomendaciones realizadas por Mitrolab H&M Inspección, en el informe del análisis de calidad del agua de Calles, específicamente: • Ajustar los rangos de operación nominal del PH entre 9,2 - 9,4. • Verificar efectividad de los puntos de desinfección instalados.	Especialistas en Equipos Estáticos en Conjunto con el Personal de Laboratorio	Próxima Fase de Planta (10/08/2009)	
2	Implementar un sistema que permita realizar seguimiento y asignar prioridades a las recomendaciones establecidas por Mitrolab H&M Inspección.	Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos	Una vez finalice las Acciones	
3	Revisar los puntos de medición en línea de PH y los de muestreo de laboratorio.	Especialistas en Procesos en conjunto con el personal de laboratorio	Próxima Fase de Planta (10/08/2009)	
4	Establecer en la política de la organización la revisión de los planes de mantenimiento de acuerdo a la edad de los activos y a los cambios en el contexto operativo de los mismos.	Especialistas en Confidencial Conjuntamente con el Personal de Planificación	Inmediato	
5	Revisar los procedimientos de soldadura especiales y rítmicos, y adecuarlos al contexto operativo actual.	Coordinador de Equipos de Estáticos y Rotativos, Especialistas en Equipos Estáticos, Planificadores	Inmediato	

Continuación de la Tabla 5.6

ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA LA MITIGACION DE LAS CAUSAS RAICES LATENTES PARA LA CALDERA E-205				
ITEM	RECOMENDACION	RESPONSABLE	FECHA	% DE AVANCE
6	Capacitar y certificar al personal de ingeniería de confiabilidad (equipos estáticos) y mantenimiento mecánico, en el área de soldadura y metalurgia.	Gerente de Mantenimiento, Especialista de Procesos, Supervisor Ejecutivo de Equipos Estáticos.	Departamento de los Contratos de Trabajo y Presupuesto Establecidos por la Gerencia de Oficio.	
7	Planificar, diseñar y aplicar el plan de desarrollo al recurso humano de final de carrera por el Departamento de Mantenimiento.	Supervisor Ejecutivo de la Actividad Personal de Higiene y Seguridad Industrial.	Con Aprobación a la Fecha de la Ejecución del Trabajo a Realizar.	
8	Elaborar mapa de soldadura de la planta.	Especialista de Procesos, Supervisor Ejecutivo de Equipos Estáticos.	06/04/2009	
9	Determinar los niveles máximos y mínimos de materiales por tipo de soldadura tomando como referencia la clasificación del mapa de soldadura.	Especialista de Procesos, Supervisor Ejecutivo de Equipos Estáticos.	20/04/2009	
10	Establecer acuerdos de servicios con los contratistas del área que garanticen el suministro de equipos y materiales en caso de contingencia.	Gerente de Mantenimiento, Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos.	16/03/2009	
11	Eligir dentro de las especificaciones técnicas de los contratos de mantenimiento aplicados a la caldera, las certificaciones urgentes del personal que trabaja en ella.	Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos, Supervisor Ejecutivo de Equipos Estáticos.	01/07/2009 (antes de la Pasada de Planta) Programado para el 10/08/2009	

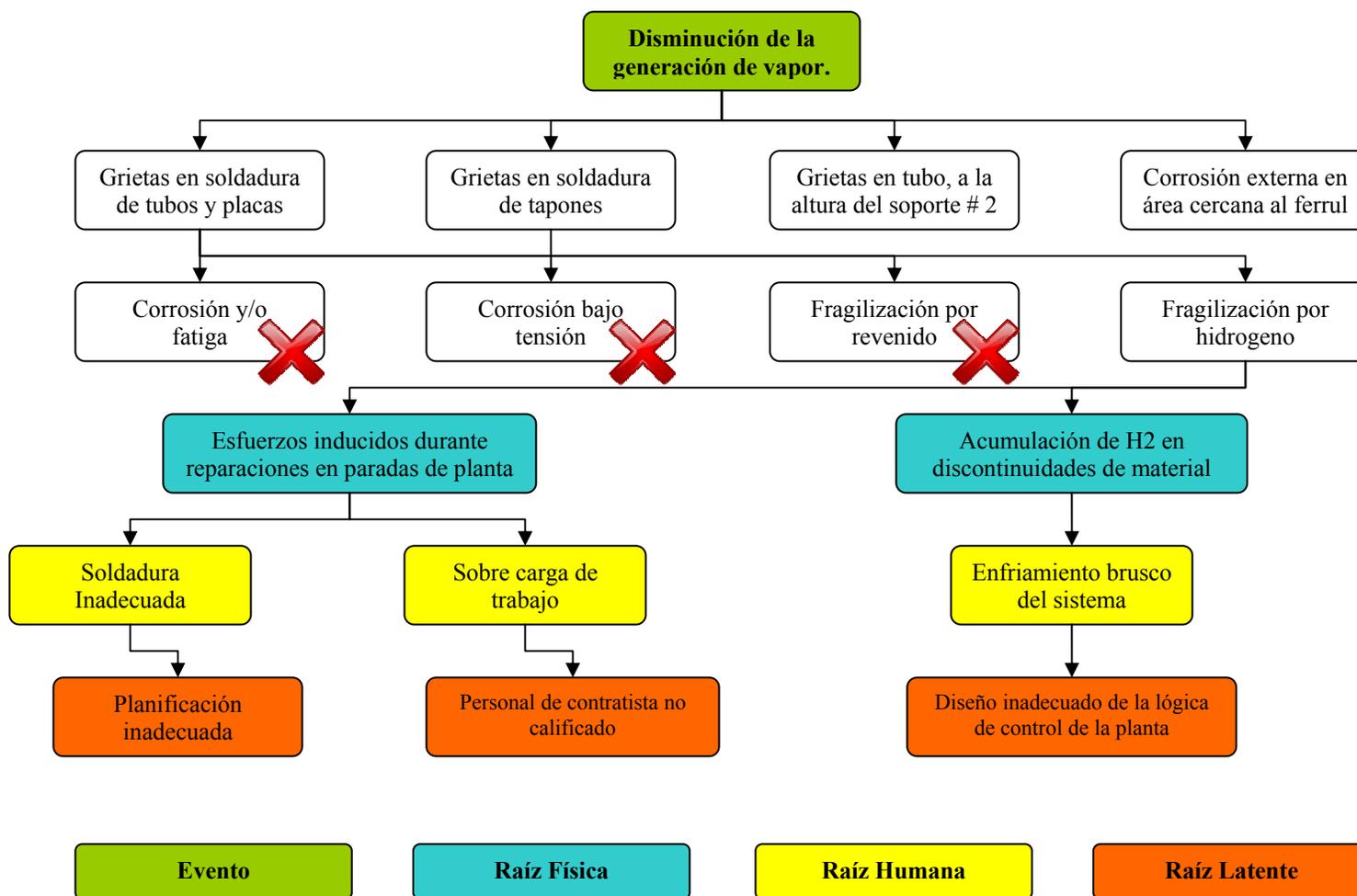


Figura 5.3. Árbol Lógico de decisión E-205 (3)

Fuente: Equipo Natural de Trabajo

Tabla 5.7. Actividades propuestas para la caldera E-205.

ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS CAUSAS RAICES LATENTES PARA LA CALDERA E-205				
ITEN	RECOMENDACIÓN	RESPONSABLE	FECHA	% DE AVANCE
1	Revisar los procedimientos de soldadura especiales y rutinarios, y adecuarlos al contexto operativo actual.	Coordinador de Equipos de Estáticos y Rotativos, Especialista en Equipos Estáticos, Planificador	Inmediato	
2	Capacitar y certificar al personal de ingeniería de confiabilidad (equipos estáticos) y mantenimiento mecánico, en el área de soldadura y metalurgia.	Gerente de Mantenimiento, Especialista de Procesos, Supervisor Ejecutor de Equipos Estáticos.	Dependiendo de los Convenios de Tiempo y Presupuesto Establecidos por la Gerencia al año.	
3	Planificar, difundir y aplicar el plan de desarrollo al recurso humano definido por el Departamento de Mantenimiento.	Supervisor Ejecutor de la Actividad, Personal de Higiene y Seguridad Industrial	Con Anticipación a la Fecha de la Ejecución del Trabajo a Realizar	
4	Elaborar mapa de soldadura de la planta.	Especialista de Procesos, Supervisor Ejecutor de Equipos Estáticos.	06/04/2009	
5	Determinar los niveles máximos y mínimos de materiales por tipo de soldadura tomando como referencia la clasificación del mapa de soldadura.	Especialista de Procesos, Supervisor Ejecutor de Equipos Estáticos.	20/04/2009	
6	Revisar la lógica de control de la planta y adecuarla al contexto operativo actual.	Jefe de Operaciones, Gerente de Planta, Gerente de Mantenimiento.	11/05/2009	

Fuente: Equipo Natural de Trabajo

2. Para la bomba P-621A se tiene como resultado las figuras 5.4 y 5.5 y en las tablas 5.8 y 5.9 las actividades que se recomienda realizar

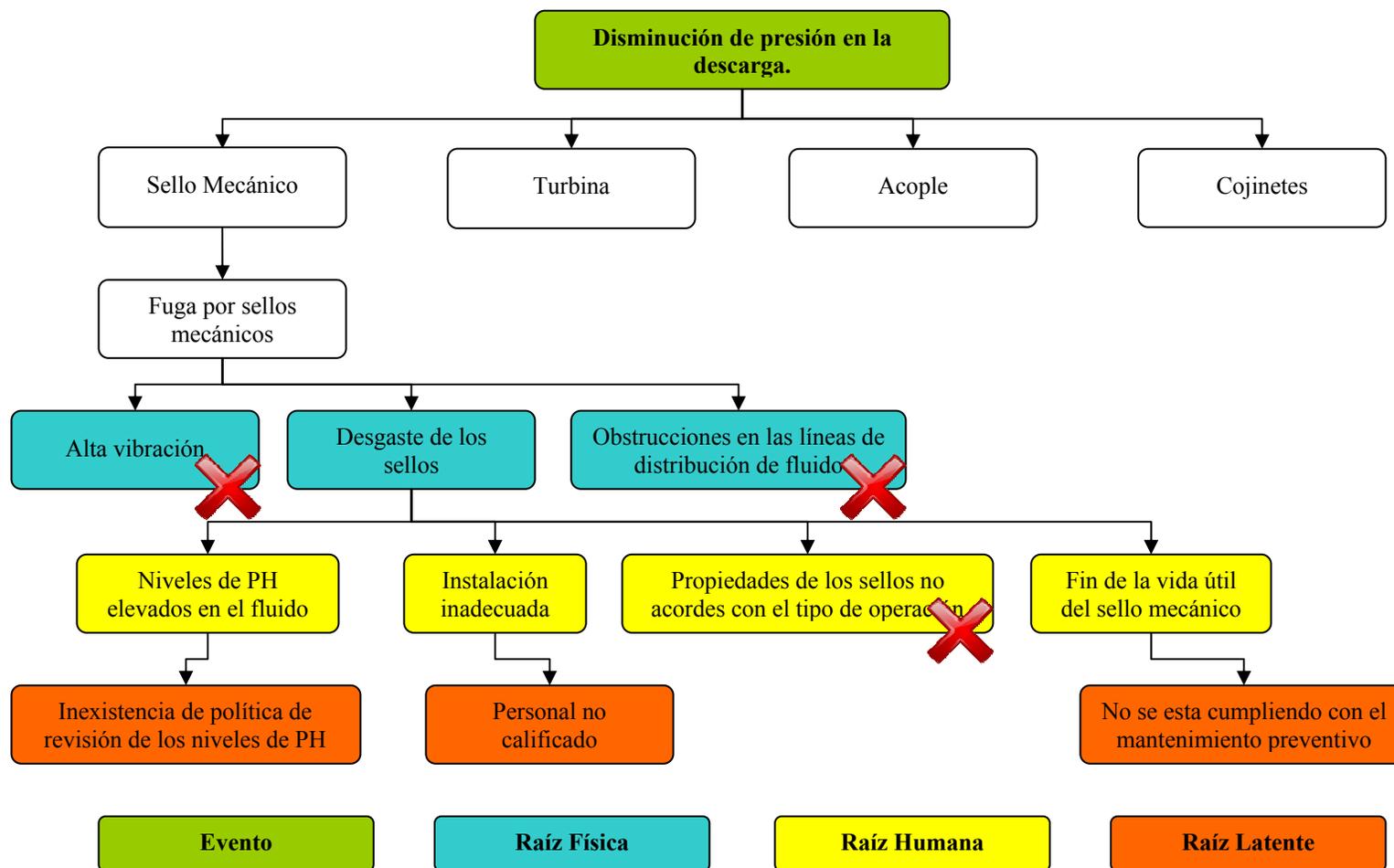


Figura 5.4. Árbol Lógico de decisión P-621A (1)

Fuente: Equipo Natural de Trabajo

Tabla 5.8. Actividades propuestas para la bomba P-621A.

ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS CAUSAS RAICES LATENTES PARA LA BOMBA P-621A				
ITEN	RECOMENDACIÓN	RESPONSABLE	FECHA	% DE AVANCE
1	Implementar políticas de revisión de los niveles de PH, para garantizar que se mantengan los niveles establecidos.	Especialista en Operaciones y Procesos, Especialista de Procesos en Laboratorio.	04/03/2009	
2	Difundir dichas políticas entre los operadores y supervisores de operaciones.	Jefe de Operaciones, Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos.	Una vez implementadas las políticas de revisión	
4	Asignar las actividades de mantenimiento de la bomba al personal calificado según sea el caso.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	Inmediato.	
5	Implementar jornadas de entrenamiento y/o capacitación del personal.	Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos, Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	Dependiendo de los Convenios de Tiempo y Presupuesto Establecidos por la Gerencia al año.	
6	Proporcionar los procedimientos de lubricación de los cojinetes establecidos por el fabricante.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	30/03/2009	
7	Verificar que se le de cumplimiento a las actividades y frecuencias establecidas en los planes de mantenimiento.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	02/03/2009	
8	Supervisar y evaluar la ejecución de los planes de mantenimiento.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	02/03/2009	

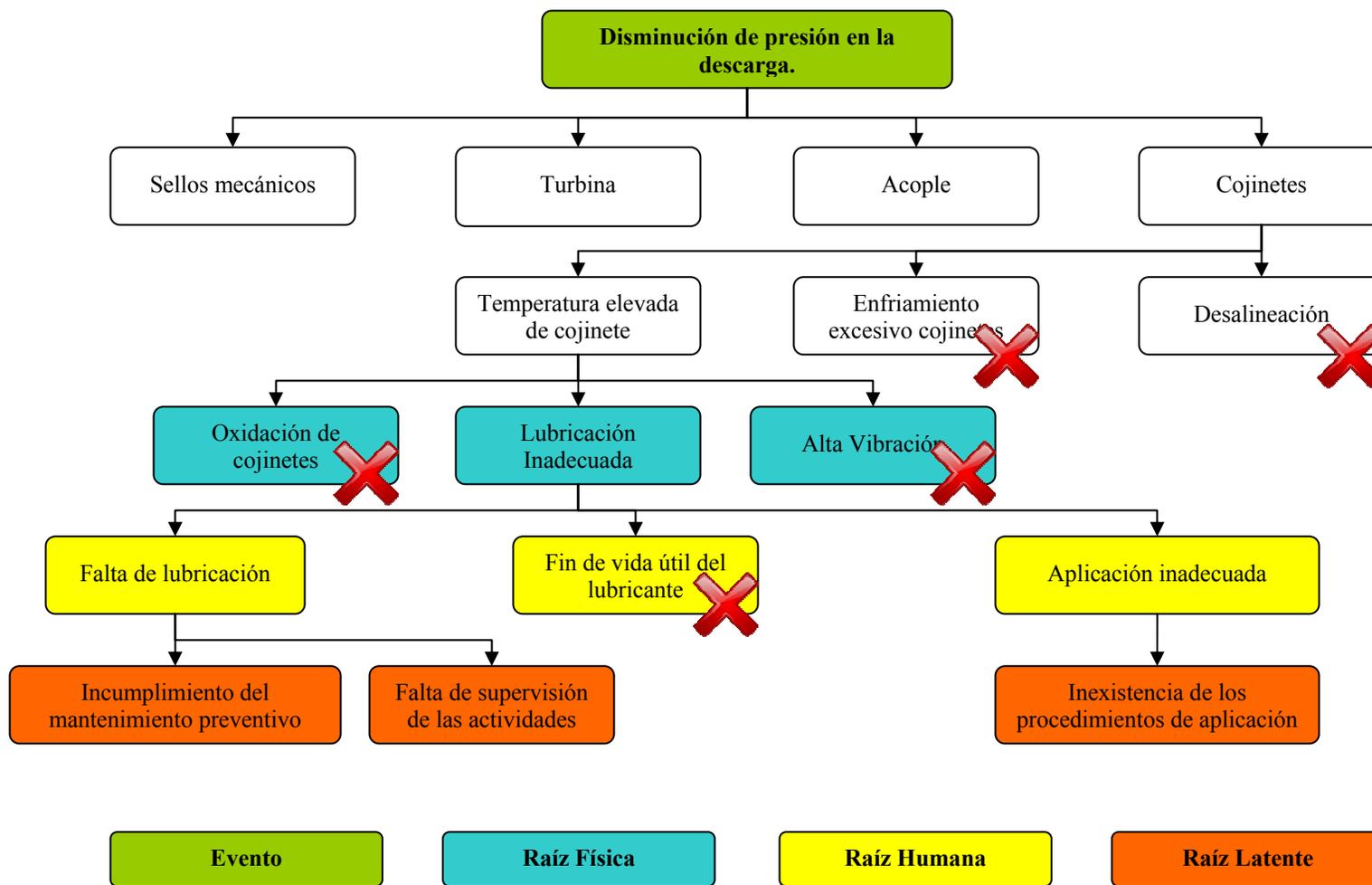


Figura 5.5. Árbol Lógico de decisión P-621A (1)
 Fuente: Equipo Natural de Trabajo

Tabla 5.9. Actividades propuestas para la bomba P-621A.

ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS CAUSAS RAICES LATENTES PARA LA BOMBA P-621A				
ITEN	RECOMENDACIÓN	RESPONSABLE	FECHA	% DE AVANCE
1	Proporcionar los procedimientos de lubricación de los cojinetes establecidos por el fabricante.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	30/03/2009	
2	Verificar que se le de cumplimiento a las actividades y frecuencias establecidas en los planes de mantenimiento.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	02/03/2009	
3	Supervisar y evaluar la ejecución de los planes de mantenimiento.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	02/03/2009	
4	Revisar procedimientos y frecuencias de aplicación del aceite lubricante.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	09/03/2009	
5	Proporcionar los procedimientos de lubricación de los cojinetes establecidos por el fabricante.	Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos, Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	30/03/2009	
6	Supervisar que el personal cumpla el procedimiento de lubricación establecido por la organización, y cuenten con las herramientas necesarias para la instalación de éste.	Jefe de Almacén, Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	02/03/2009	
7	Agregar a las rutinas de mantenimiento el procedimiento y la frecuencia de aplicación del lubricante de rodamientos.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos, Planificador.	13/04/2009	

Fuente: Equipo Natural de Trabajo

Tabla 5.10. Actividades propuestas para la bomba P-624A.

ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS CAUSAS RAICES LATENTES PARA LA BOMBA P-624A				
ITEN	RECOMENDACIÓN	RESPONSABLE	FECHA	% DE AVANCE
1	Revisar procedimientos de reemplazo de filtros de succión.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos, Operadores	22/03/2009	
2	Implementar políticas de control y evaluación e inventario en los repuestos de las bombas centrífugas en el almacén.	Jefe de Almacén, Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	16/03/2009	
3	Supervisar que el personal cumpla el procedimiento de reemplazo de piezas establecido por los planes de mantenimiento preventivos, y cuenten con las herramientas necesarias para la instalación de estas.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos, Jefe de Almacén.	08/04/2009	
4	Agregar a las rutinas de mantenimiento el procedimiento y la frecuencia de reemplazo de los filtros de succión según el estado actual de la bomba.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos, Planificador.	02/03/2009	
5	Realizar inspecciones al equipo, que permitan establecer la frecuencia de cambio de los filtros de succión, para realizar la solicitud de los mismos con anticipación y contar con repuestos en el almacén.	Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos, Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos, Jefe de Almacén,	11/05/2009	
6	Verificar que el material de los filtros de succión a instalar cumplan con las características y/o especificaciones establecidas.	Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos, Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos,	26/03/2009	

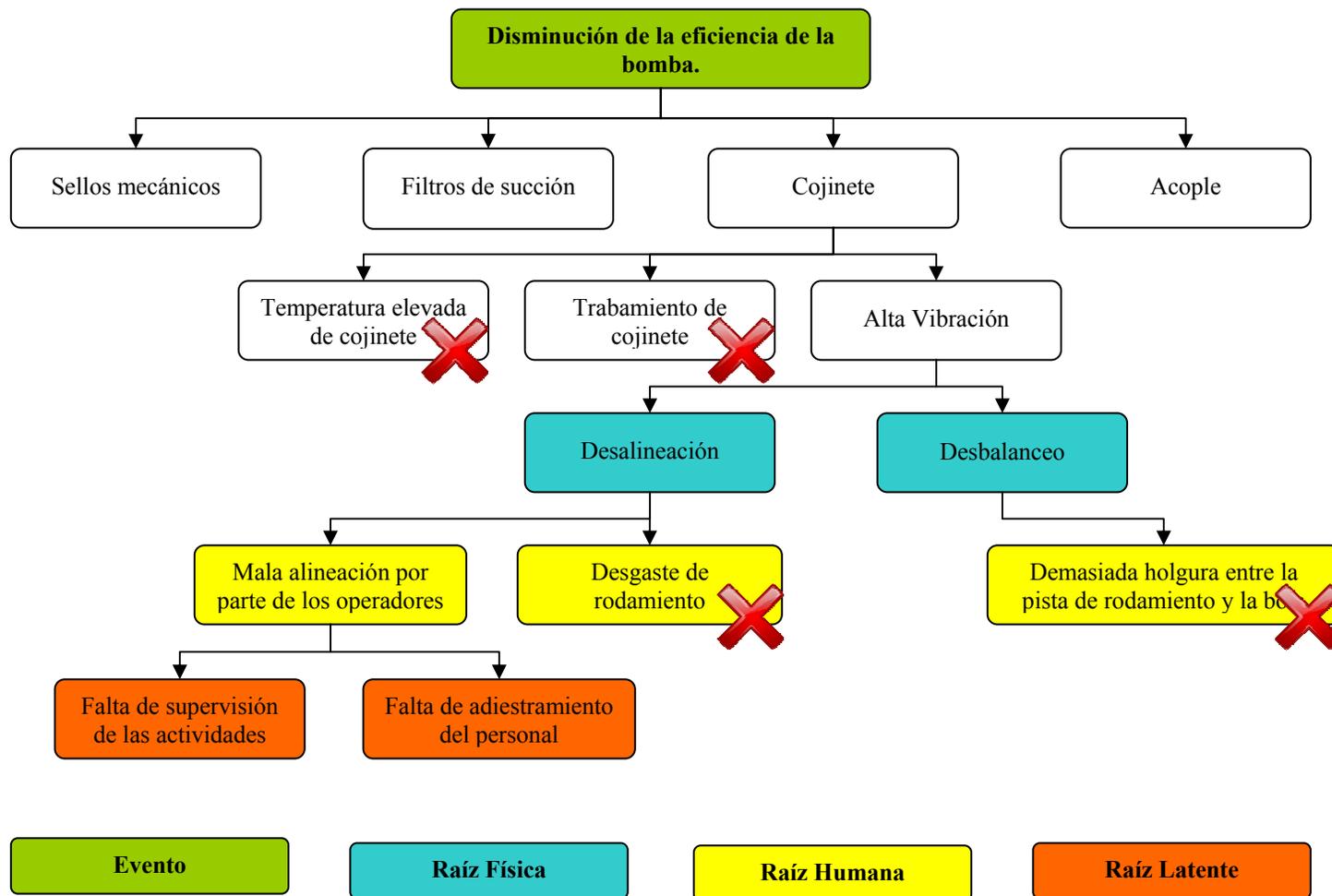


Figura 5.7. Árbol Lógico de decisión P-624A (2)
 Fuente: Equipo Natural de Trabajo

Tabla 5.11. Actividades propuestas para la bomba P-624A.

ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS CAUSAS RAICES LATENTES PARA LA BOMBA P-624A				
ITEN	RECOMENDACIÓN	RESPONSABLE	FECHA	% DE AVANCE
1	Revisar procedimientos de alineación y balanceo.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	01/04/2009	
2	Establecer e implementar políticas de control y evaluación de las actividades de alineación.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos, Planificador.	15/04/2009	
3	Supervisar que el personal cumpla el procedimiento de reemplazo de piezas establecido por los planes de mantenimiento preventivos, y cuenten con las herramientas necesarias para la instalación de estas.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos, Jefe de Almacén.	18/05/2009	
4	Agregar a las rutinas de mantenimiento el procedimiento y la frecuencia de alineación de los rodamientos.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos, Planificador.	05/03/2009	
5	Exigir dentro de las especificaciones técnicas de los contratos de mantenimiento las certificaciones vigentes del personal.	Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos	02/03/2009	
6	Asignar las actividades de mantenimiento al personal calificado según sea el caso.	Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	02/03/2009	
7	Capacitar al personal sobre el procedimiento de alineación de rodamientos.	Coordinador de Equipos Estáticos y Rotativos, Supervisor y Ejecutor de Equipos Rotativos.	Dependiendo de los Convenios de Tiempo y Presupuesto Establecidos por la Gerencia al año.	

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Como resultado del diagnóstico realizado a los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas, se conoció que esta formado por nueve (9) equipos dinámicos y estáticos, de los cuales dos (2) se encuentran de forma pasiva, ya que funcionan como equipos auxiliares. Adicionalmente se constató que no existen historiales de fallas de los equipos que permitan llevar estadísticas de tiempo de parada y de reparación.
2. El análisis de fallas realizado al sistema arrojó un total de 68 fallas entre todos los equipos involucrados, de las cuales se determinó a través de un análisis de Pareto que el 80% de las fallas del sistema son debidas a los siguientes equipos: P-621A, P-624A, V-201, E.-205; mientras que el resto de los equipos afectan en una menor proporción. Cabe destacar que las fallas presentadas en estos equipos son debidas en su mayoría a fugas, disminución de vapor, falla de rodamientos y grietas en soldaduras.
3. Del análisis de criticidad realizado a través de la metodología D.S. se determinó que los equipos críticos son: la caldera E-205 y las bombas P-621A y P-624A los cuales representan el 33,33% de los equipos que conforman el sistema; mientras que el 55,55% resultarán semicríticos (B-620A, B-620B, P-621B, P-624B y V-201); y un 11,11% no crítico (TK-620).
4. Los valores de confiabilidad obtenidos para los equipos críticos, reflejan que se encuentran alrededor de 77,45%, con un valor mínimo de 64,83% (E-205) y un máximo de 86,11% (P-621A), lo que indica que estos equipos se

encuentran por debajo del 90% de confiabilidad establecida por la empresa. Los resultados también indican que los equipos se encuentran en periodo de desgaste puesto que el parámetro de forma varía en el rango de $1 \leq \beta \leq 4,22$.

5. Las fallas presentadas por la caldera E-205 en su mayoría están relacionadas a las grietas en soldaduras de tubos, placas y tapones, las cuales son causadas por la corrosión bajo tensión y la fatiga, debidas al tratamiento químico inadecuado producido por la dosificación inadecuada, al error de lectura en los analizadores y a una falta de seguimiento de asignación de prioridades.
6. El mayor porcentaje % de las fallas presentadas por la bomba P-621A están relacionadas con el desgaste de los sellos mecánicos y a la alta temperatura en los cojinetes. El desgaste en los sellos es debido a la corrosión, instalación inadecuada y fin de vida útil, todo ello producido por la falta de repuestos en el almacén, además de no contar con un personal calificado y adiestrado que permita darle cumplimiento a los planes de mantenimiento correctamente.
7. Las fallas presentadas por la bomba P-624A están relacionadas con los filtros de succión y los cojinetes. Los filtros se obstruyen y se dañan, debido a que no se cambian en la fecha indicada, mala calidad y uso de filtros usados, todo ello se debe a la falta de supervisión a la hora de realizar el reemplazo de piezas y en muchos casos por no existir una disponibilidad de repuestos en el almacén.
8. Al aplicar las actividades propuestas para los equipos críticos mejorarán su confiabilidad y por ende Incrementara la del sistema de agua de calderas.

RECOMENDACIONES

1. Realizar las actividades de mantenimiento preventivo a los equipos cumpliendo estrictamente lo estipulado en los formatos propuestos.
2. El personal de mantenimiento debe encargarse de realizar un estricto control y una buena organización de los historiales de fallas, para facilitar la búsqueda de información referente a los problemas que presenta cada equipo y así poder conocer las condiciones de funcionamiento de los mismos, las reparaciones efectuadas y los mantenimientos aplicados.
3. Realizar inspecciones de forma rutinaria a los equipos que conforman el sistema de alimentación de agua de calderas, de forma tal que se pueda tener control de los trabajos que se efectúan durante el mantenimiento.
4. Estimar la confiabilidad de manera individual de cada equipo según su tipo de conexión, a un tiempo establecido por la empresa de manera que permita obtener el valor de confiabilidad actual del sistema de agua de calderas.
5. Se recomienda aumentar las horas de funcionamiento de las bombas auxiliares P-621B y P-624B, alternando mensualmente la carga de trabajo ya que esto permitirá un evaluación mas exacta de las fallas del equipo, y así establecer frecuencias de mantenimiento mas exactas, aumentando así su confiabilidad.
6. Mantener en el almacén de la Planta la dotación, de insumos necesarios para la implementación de las actividades propuestas.

7. Debe realizarse un adiestramiento intensivo del personal en las áreas de lubricación, bombas centrifugas, cambio de piezas y monitoreo de proceso, para minimizar el riesgo de cometer errores humanos en la realización de los procesos.

8. Se recomienda la estimación de los indicadores propuestos ya que permitirán realizar un completo control de las actividades de mantenimientos relacionadas con el sistema de alimentación de agua de calderas, y así obtener una mejor administración de recursos tanto humano y material relacionados a la gestión de mantenimiento de estos equipos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARAYA, VERNAL. **Programa de Equipos Rotativos de la Planta Metanol de Oriente**. Entrenamiento y Asesoría, C.A. (1998)
- [2] E. AVALLONE y T. BAUMEISSTER. **Manual del Ingeniero Mecánico**, Tercera Edición, McGraw Hill, México. (1995)
- [3] KOHAN, ANTHONY L. **Manual de Calderas**. Editorial McGraw Hill, Volumen 1, España. (2000)
- [4] SUÁREZ, D. **Guía Teórico-Práctico de Mantenimiento Mecánico**. Guía Educativa. U.D.O, Barcelona – Edo. Anzoátegui. (2001)
- [5] SALVENDY, G. **Manual del Ingeniero Industrial**. Editorial Noriega Limusa, México. (1998)
- [6] NAVA, J **Teoría del Mantenimiento. Fiabilidad**. Editado por Consejos de Publicaciones de la Universidad de los Andes, 2da Edición. (2001)
- [7] SUÁREZ, D. **Guía Teórico-Práctico de Análisis y Estimación de Confiabilidad de Equipos y Sistemas Industriales**. Programa de Actualización profesional. Editor Confima & Consultores, C.A. (2007)
- [8] SUÁREZ, D. **Indicadores de Gestión Aplicados al Mantenimiento**. Programa de Actualización profesional. Editor Confima & Consultores, C.A. (2007)
- [9] PDVSA. **El Análisis de Criticidad una Metodología para Mejorar la Confiabilidad Operacional**. Venezuela. (2002)
- [10] ARIÁS, F. **El Proyecto Investigativo**. Quinta Edición, Editorial Episteme.

Venezuela. (1996)

[11] SUÁREZ, D. **Guía Teórico-Practico de Herramientas Técnicas para mejorar la confiabilidad.** Programa de Actualización profesional. Editor Confima & Consultores, C.A. (2007)

APÉNDICES

Apéndice A.1

Encuesta

ENCUESTA

Su respuesta es de suma importancia, por esta razón tómese su tiempo antes de responder. La encuesta es de selección múltiple y estructurada; en cada pregunta seleccione una sola, señalándola con una "X"

Nombre del Equipo: _____

1) Cantidad de Fallas ocurridas en el año

ROTATIVO	Selección
1a) Frecuencia = 1	
1b) $1 < \text{Frecuencia} \leq 12$	
1c) Fallas > 12	

ESTÁTICO	Selección
1a) $0 \leq \text{Frecuencia} \leq 1$	
2b) $1 < \text{Frecuencia} \leq 3$	
1c) Frecuencia > 3	

2) Tiempo Promedio Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año.

$$\text{MTFS} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{TFS}_i}{n} = \frac{\text{TFS}_1 + \text{TFS}_2 + \text{TFS}_3}{3}$$

	Selección
2a) $\text{MTFS} \leq 4$	
2b) $4 < \text{MTFS} \leq 8$	
2c) $\text{MTFS} > 8$	

3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en un año

$$\text{DR} = \frac{\text{Cantidad Satisfecha}}{\text{Cantidad Demandada}}$$

	Selección
3a) $\text{DR} \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq \text{DR} < 80\%$	
3c) $\text{DR} < 50\%$	

4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en un año

$$\text{CMP} = \frac{\text{ODT Ejecutadas}}{\text{ODT Programadas}} \times 100$$

	Selección
4a) $75\% \leq \text{CMP} \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq \text{CMP} < 75\%$	
4c) $0\% \leq \text{CMP} < 50\%$	

5) Efectividad (E) en un año

$$\text{Efectividad} = \frac{\text{Horas Efectivas}}{\text{Horas Disponibles}} \times 100$$

	Selección
5a) $E \geq 80\%$	
5b) $50\% \leq E < 80\%$	
5c) $0\% \leq E < 50\%$	

6) Backlog (B) Semanas

$$\text{BACKLOG} = \frac{H - H \text{ de las órdenes de trabajo pendientes por ejecución}}{H - H \text{ disponible por semana}}$$

	Selección
6a) $0 \leq B \leq 2$	
6b) $2 < B \leq 5$	
6c) $B > 5$	

7) Tipo de Conexión

	Selección
7a) Sistema Paralelo	
7b) Combinación	
7c) Sistema Serie	

8) Costo de Producción en el año

	Selección
8a) Igual a la Meta	
8b) Menor a la meta	
8c) Mayor a la Meta	

9) Seguridad del personal, equipos y/o Ambiente

	Selección
9a) Sin Consecuencias	
9b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	
9c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	

Encuesta realizada al personal de mantenimiento mecánico, específicamente a especialistas de equipos estáticos y rotativos, mecánicos y operadores.

Fuente: D.S; Guía Teórico-Practico de Herramientas Técnicas para Mejorar la Confiabilidad.
Confima & Consultores, C.A. (2007)

Apéndice A.2
Criticidad de los Equipos

Tabla A.2.1

	Equipo: Tanque de Almacenamiento		Sistema: Agua de Calderas			
	Código: TK-620		Evento de control: 1 año			
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
		Rotativo	Estático			
1) Cantidad de Fallas en el periodo evaluado	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1a	1
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio fuera de servicio (MTFS)	2a)	$MTFS \leq 4$		1	2a	1
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		2		
	2c)	$MTFS > 8$		3		
3) Disponibilidad de repuestos (DR) en el periodo evaluado	3a)	$DR \geq 80\%$		1	3a	1
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		2		
	3c)	$DR < 50\%$		3		
4) Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP).	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		1	4a	1
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		2		
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		3		
5) Efectividad (E)	5a)	$E \geq 80\%$		1	5a	1
	5b)	$50\% \leq E < 80\%$		2		
	5c)	$0\% \leq E < 50\%$		3		
6) Backlog (B) Semanas	6a)	$0 \leq B \leq 2$		1	6a	1
	6b)	$2 < B \leq 5$		2		
	6c)	$B > 5$		3		
Total puntos obtenidos en el área de Mantenimiento.						6
ÁREA OPERACIONAL						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
7) Tipo de conexión	7a)	Sistema en Paralelo		1	7c	3
	7b)	Combinación		2		
	7c)	Sistema en Serie		3		
8) Costo de Producción en el periodo evaluado	8a)	Igual a la Meta		1	8a	1
	8b)	Menor a la Meta		2		
	8c)	Mayor a la Meta		3		
9) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	9a)	Sin Consecuencias		1	9a	1
	9b)	Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.		2		
	9c)	Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.		3		
Total puntos obtenidos en el área Operacional.						5
Criticidad del Equipo = [K1(puntos área de mantenimiento) + K2(puntos área operacional) x 100						

$\text{Críticidad del Equipo} = [0.027 (6) + 0.0555 (5)] * 100 = 43,95 \%$		
Evaluación Obtenida	Críticidad del Equipo	Seleccionar con una X
	No Crítico ($33\% \leq \text{Ponderación Total} < 50\%$)	X
	Semi/Crítico ($50\% \leq \text{Ponderación Total} < 70\%$)	
	Crítico ($\text{Ponderación Total} \geq 70\%$)	

Tabla A.2.2

Matriz de Criticidad						
	Equipo: Bomba Centrífuga		Sistema: Agua de Calderas			
	Código: P- 621A		Evento de control: 1 año			
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
		Rotativo	Estático			
1) Cantidad de Fallas en el periodo evaluado	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio fuera de servicio (MTFS)	2a)	$MTFS \leq 4$		1	2c	3
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		2		
	2c)	$MTFS > 8$		3		
3) Disponibilidad de repuestos (DR) en el periodo evaluado	3a)	$DR \geq 80\%$		1	3c	3
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		2		
	3c)	$DR < 50\%$		3		
4) Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP).	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		1	4b	2
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		2		
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		3		
5) Efectividad (E)	5a)	$E \geq 80\%$		1	5b	2
	5b)	$50\% \leq E < 80\%$		2		
	5c)	$0\% \leq E < 50\%$		3		
6) Backlog (B) Semanas	6a)	$0 \leq B \leq 2$		1	6c	3
	6b)	$2 < B \leq 5$		2		
	6c)	$B > 5$		3		
Total puntos obtenidos en el área de Mantenimiento.						16
ÁREA OPERACIONAL						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
7) Tipo de conexión	7a)	Sistema en Paralelo		1	7a	1
	7b)	Combinación		2		
	7c)	Sistema en Serie		3		
8) Costo de Producción en el periodo evaluado	8a)	Igual a la Meta		1	8c	3
	8b)	Menor a la Meta		2		
	8c)	Mayor a la Meta		3		
9) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	9a)	Sin Consecuencias		1	9a	1
	9b)	Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.		2		
	9c)	Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.		3		
Total puntos obtenidos en el área Operacional.						5

Críticidad del Equipo = [K1(puntos área de mantenimiento) + K2(puntos área operacional) x 100		
Críticidad del Equipo = [0.027 (16) + 0.0555 (5)] * 100 = 70,95 %		
Evaluación Obtenida	Críticidad del Equipo	Seleccionar con una X
	No Crítico (33% ≤ Ponderación Total < 50%)	
	Semi/Crítico (50% ≤ Ponderación Total < 70%)	
	Crítico (Ponderación Total ≥ 70%)	X

Tabla A.2.3

Matriz de Criticidad						
	Equipo: Bomba Centrífuga		Sistema: Agua de Calderas			
	Código: P- 621B		Evento de control: 1 año			
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
		Rotativo	Estático			
1) Cantidad de Fallas en el periodo evaluado	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1a	1
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio fuera de servicio (MTFS)	2a)	$MTFS \leq 4$		1	2c	3
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		2		
	2c)	$MTFS > 8$		3		
3) Disponibilidad de repuestos (DR) en el periodo evaluado	3a)	$DR \geq 80\%$		1	3c	3
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		2		
	3c)	$DR < 50\%$		3		
4) Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP).	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		1	4c	3
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		2		
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		3		
5) Efectividad (E)	5a)	$E \geq 80\%$		1	5b	3
	5b)	$50\% \leq E < 80\%$		2		
	5c)	$0\% \leq E < 50\%$		3		
6) Backlog (B) Semanas	6a)	$0 \leq B \leq 2$		1	6a	1
	6b)	$2 < B \leq 5$		2		
	6c)	$B > 5$		3		
Total puntos obtenidos en el área de Mantenimiento.						14
ÁREA OPERACIONAL						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
7) Tipo de conexión	7a)	Sistema en Paralelo		1	7a	1
	7b)	Combinación		2		
	7c)	Sistema en Serie		3		
8) Costo de Producción en el periodo evaluado	8a)	Igual a la Meta		1	8a	1
	8b)	Menor a la Meta		2		
	8c)	Mayor a la Meta		3		
9) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	9a)	Sin Consecuencias		1	9a	1
	9b)	Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.		2		
	9c)	Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.		3		
Total puntos obtenidos en el área Operacional.						3

Criticidad del Equipo = [K1(puntos área de mantenimiento) + K2(puntos área operacional) x 100		
Criticidad del Equipo = [0.027 (14) + 0.0555 (3)] * 100 = 54,45%		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con una X
	No Critico (33% ≤ Ponderación Total < 50%)	
	Semi/Crítico (50% ≤ Ponderación Total < 70%)	X
	Crítico (Ponderación Total ≥ 70%)	

Tabla A.2.4

Matriz de Criticidad						
	Equipo: Caldera Piro-tubular		Sistema: Agua de Calderas			
	Código: E-205		Evento de control: 1 año			
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
		Rotativo	Estático			
1) Cantidad de Fallas en el periodo evaluado	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio fuera de servicio (MTFS)	2a)	$MTFS \leq 4$		1	2c	3
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		2		
	2c)	$MTFS > 8$		3		
3) Disponibilidad de repuestos (DR) en el periodo evaluado	3a)	$DR \geq 80\%$		1	3b	2
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		2		
	3c)	$DR < 50\%$		3		
4) Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP).	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		1	4c	3
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		2		
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		3		
5) Efectividad (E)	5a)	$E \geq 80\%$		1	5a	1
	5b)	$50\% \leq E < 80\%$		2		
	5c)	$0\% \leq E < 50\%$		3		
6) Backlog (B) Semanas	6a)	$0 \leq B \leq 2$		1	6b	2
	6b)	$2 < B \leq 5$		2		
	6c)	$B > 5$		3		
Total puntos obtenidos en el área de Mantenimiento.						14
ÁREA OPERACIONAL						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
7) Tipo de conexión	7a)	Sistema en Paralelo		1	7c	3
	7b)	Combinación		2		
	7c)	Sistema en Serie		3		
8) Costo de Producción en el período evaluado	8a)	Igual a la Meta		1	8c	3
	8b)	Menor a la Meta		2		
	8c)	Mayor a la Meta		3		
9) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	9a)	Sin Consecuencias		1	9b	2
	9b)	Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.		2		
	9c)	Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.		3		
Total puntos obtenidos en el área Operacional.						8

Criticidad del Equipo = [K1(puntos área de mantenimiento) + K2(puntos área operacional) x 100		
Criticidad del Equipo = [0.027 (14) + 0.0555 (8)] * 100 = 82,2 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con una X
	No Critico (33% ≤ Ponderación Total < 50%)	
	Semi/Crítico (50% ≤ Ponderación Total < 70%)	
	Crítico (Ponderación Total ≥ 70%)	X

Tabla A.2.5

Matriz de Criticidad						
	Equipo: Tambor de Vapor de Caldera E-205		Sistema: Agua de Calderas			
	Código: V-201		Evento de control: 1 año			
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
		Rotativo	Estatico			
1) Cantidad de Fallas en el periodo evaluado	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio fuera de servicio (MTFS)	2a)	$MTFS \leq 4$		1	2b	2
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		2		
	2c)	$MTFS > 8$		3		
3) Disponibilidad de repuestos (DR) en el periodo evaluado	3a)	$DR \geq 80\%$		1	3a	1
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		2		
	3c)	$DR < 50\%$		3		
4) Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP).	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		1	4a	1
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		2		
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		3		
5) Efectividad (E)	5a)	$E \geq 80\%$		1	5a	1
	5b)	$50\% \leq E < 80\%$		2		
	5c)	$0\% \leq E < 50\%$		3		
6) Backlog (B) Semanas	6a)	$0 \leq B \leq 2$		1	6a	1
	6b)	$2 < B \leq 5$		2		
	6c)	$B > 5$		3		
Total puntos obtenidos en el área de Mantenimiento.						9
ÁREA OPERACIONAL						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
7) Tipo de conexión	7a)	Sistema en Paralelo		1	7c	3
	7b)	Combinación		2		
	7c)	Sistema en Serie		3		
8) Costo de Producción en el periodo evaluado	8a)	Igual a la Meta		1	8a	1
	8b)	Menor a la Meta		2		
	8c)	Mayor a la Meta		3		
9) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	9a)	Sin Consecuencias		1	9a	1
	9b)	Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.		2		
	9c)	Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.		3		
Total puntos obtenidos en el área Operacional.						5

Criticidad del Equipo = [K1(puntos área de mantenimiento) + K2(puntos área operacional) x 100		
Criticidad del Equipo = [0.027 (9) + 0.0555 (5)] * 100 = 52,05 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con una X
	No Critico (33% ≤ Ponderación Total < 50%)	
	Semi/Crítico (50% ≤ Ponderación Total < 70%)	X
	Crítico (Ponderación Total ≥ 70%)	

Tabla A.2.6

Matriz de Criticidad						
	Equipo: Bomba Centrifuga		Sistema: Agua de Calderas			
	Código: P- 624A		Evento de control: 1 año			
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
		Rotativo	Estático			
1) Cantidad de Fallas en el periodo evaluado	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio fuera de servicio (MTFS)	2a)	$MTFS \leq 4$		1	2c	3
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		2		
	2c)	$MTFS > 8$		3		
3) Disponibilidad de repuestos (DR) en el periodo evaluado	3a)	$DR \geq 80\%$		1	3c	3
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		2		
	3c)	$DR < 50\%$		3		
4) Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP).	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		1	4b	2
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		2		
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		3		
5) Efectividad (E)	5a)	$E \geq 80\%$		1	5b	2
	5b)	$50\% \leq E < 80\%$		2		
	5c)	$0\% \leq E < 50\%$		3		
6) Backlog (B) Semanas	6a)	$0 \leq B \leq 2$		1	6c	3
	6b)	$2 < B \leq 5$		2		
	6c)	$B > 5$		3		
Total puntos obtenidos en el área de Mantenimiento.						16
ÁREA OPERACIONAL						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
7) Tipo de conexión	7a)	Sistema en Paralelo		1	7a	1
	7b)	Combinación		2		
	7c)	Sistema en Serie		3		
8) Costo de Producción en el periodo evaluado	8a)	Igual a la Meta		1	8c	3
	8b)	Menor a la Meta		2		
	8c)	Mayor a la Meta		3		
9) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	9a)	Sin Consecuencias		1	9a	1
	9b)	Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.		2		
	9c)	Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.		3		
Total puntos obtenidos en el área Operacional.						5

Criticidad del Equipo = [K1(puntos área de mantenimiento) + K2(puntos área operacional) x 100		
Criticidad del Equipo = [0.027 (16) + 0.0555 (5)] * 100 = 70,95 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con una X
	No Critico (33% ≤ Ponderación Total < 50%)	
	Semi/Crítico (50% ≤ Ponderación Total < 70%)	
	Crítico (Ponderación Total ≥ 70%)	X

Tabla A.2.7

Matriz de Criticidad						
	Equipo: Bomba Centrifuga		Sistema: Agua de Calderas			
	Código: P- 624B		Evento de control: 1 año			
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
		Rotativo	Estático			
1) Cantidad de Fallas en el periodo evaluado	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1a	1
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio fuera de servicio (MTFS)	2a)	$MTFS \leq 4$		1	2c	3
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		2		
	2c)	$MTFS > 8$		3		
3) Disponibilidad de repuestos (DR) en el periodo evaluado	3a)	$DR \geq 80\%$		1	3c	3
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		2		
	3c)	$DR < 50\%$		3		
4) Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP).	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		1	4c	3
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		2		
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		3		
5) Efectividad (E)	5a)	$E \geq 80\%$		1	5c	3
	5b)	$50\% \leq E < 80\%$		2		
	5c)	$0\% \leq E < 50\%$		3		
6) Backlog (B) Semanas	6a)	$0 \leq B \leq 2$		1	6a	1
	6b)	$2 < B \leq 5$		2		
	6c)	$B > 5$		3		
Total puntos obtenidos en el área de Mantenimiento.						14
ÁREA OPERACIONAL						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
7) Tipo de conexión	7a)	Sistema en Paralelo		1	7a	1
	7b)	Combinación		2		
	7c)	Sistema en Serie		3		
8) Costo de Producción en el periodo evaluado	8a)	Igual a la Meta		1	8a	1
	8b)	Menor a la Meta		2		
	8c)	Mayor a la Meta		3		
9) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	9a)	Sin Consecuencias		1	9a	1
	9b)	Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.		2		
	9c)	Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.		3		
Total puntos obtenidos en el área Operacional.						3

Criticidad del Equipo = [K1(puntos área de mantenimiento) + K2(puntos área operacional) x 100		
Criticidad del Equipo = [0.027 (14) + 0.0555 (3)] * 100 = 54,35 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con una X
	No Critico (33% ≤ Ponderación Total < 50%)	
	Semi/Crítico (50% ≤ Ponderación Total < 70%)	X
	Crítico (Ponderación Total ≥ 70%)	

Tabla A.2.8

Matriz de Criticidad						
	Equipo: Caldera Acuotubular		Sistema: Agua de Calderas			
	Código: B- 620A		Evento de control: 1 año			
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
		Rotativo	Estatico			
1) Cantidad de Fallas en el periodo evaluado	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio fuera de servicio (MTFS)	2a)	$MTFS \leq 4$		1	2c	3
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		2		
	2c)	$MTFS > 8$		3		
3) Disponibilidad de repuestos (DR) en el periodo evaluado	3a)	$DR \geq 80\%$		1	3b	2
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		2		
	3c)	$DR < 50\%$		3		
4) Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP).	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		1	4c	3
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		2		
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		3		
5) Efectividad (E)	5a)	$E \geq 80\%$		1	5a	1
	5b)	$50\% \leq E < 80\%$		2		
	5c)	$0\% \leq E < 50\%$		3		
6) Backlog (B) Semanas	6a)	$0 \leq B \leq 2$		1	6a	1
	6b)	$2 < B \leq 5$		2		
	6c)	$B > 5$		3		
Total puntos obtenidos en el área de Mantenimiento.						13
ÁREA OPERACIONAL						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
7) Tipo de conexión	7a)	Sistema en Paralelo		1	7a	1
	7b)	Combinación		2		
	7c)	Sistema en Serie		3		
8) Costo de Producción en el período evaluado	8a)	Igual a la Meta		1	8c	3
	8b)	Menor a la Meta		2		
	8c)	Mayor a la Meta		3		
9) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	9a)	Sin Consecuencias		1	9b	2
	9b)	Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.		2		
	9c)	Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.		3		
Total puntos obtenidos en el área Operacional.						6

Criticidad del Equipo = [K1(puntos área de mantenimiento) + K2(puntos área operacional) x 100		
Criticidad del Equipo = [0.027 (13) + 0.0555 (6)] * 100 = 68,4%		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con una X
	No Critico (33% ≤ Ponderación Total < 50%)	
	Semi/Crítico (50% ≤ Ponderación Total < 70%)	X
	Crítico (Ponderación Total ≥ 70%)	

Tabla A.2.9

Matriz de Criticidad						
	Equipo: Caldera Acuotubular		Sistema: Agua de Calderas			
	Código: B- 620B		Evento de control: 1 año			
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
		Rotativo	Estatico			
1) Cantidad de Fallas en el periodo evaluado	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio fuera de servicio (MTFS)	2a)	$MTFS \leq 4$		1	2c	3
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		2		
	2c)	$MTFS > 8$		3		
3) Disponibilidad de repuestos (DR) en el periodo evaluado	3a)	$DR \geq 80\%$		1	3b	2
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		2		
	3c)	$DR < 50\%$		3		
4) Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP).	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		1	4c	3
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		2		
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		3		
5) Efectividad (E)	5a)	$E \geq 80\%$		1	5a	1
	5b)	$50\% \leq E < 80\%$		2		
	5c)	$0\% \leq E < 50\%$		3		
6) Backlog (B) Semanas	6a)	$0 \leq B \leq 2$		1	6a	1
	6b)	$2 < B \leq 5$		2		
	6c)	$B > 5$		3		
Total puntos obtenidos en el área de Mantenimiento.						13
ÁREA OPERACIONAL						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
7) Tipo de conexión	7a)	Sistema en Paralelo		1	7a	1
	7b)	Combinación		2		
	7c)	Sistema en Serie		3		
8) Costo de Producción en el período evaluado	8a)	Igual a la Meta		1	8c	3
	8b)	Menor a la Meta		2		
	8c)	Mayor a la Meta		3		
9) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	9a)	Sin Consecuencias		1	9b	2
	9b)	Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.		2		
	9c)	Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.		3		
Total puntos obtenidos en el área Operacional.						6

Criticidad del Equipo = [K1(puntos área de mantenimiento) + K2(puntos área operacional) x 100		
Criticidad del Equipo = [0.027 (13) + 0.0555 (6)] * 100 = 68,4 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con una X
	No Critico (33% ≤ Ponderación Total < 50%)	
	Semi/Crítico (50% ≤ Ponderación Total < 70%)	X
	Crítico (Ponderación Total ≥ 70%)	

Apéndice A.3
Frecuencia de Acumulación de
Falla de los Equipos Críticos

Tabla A.3.1 de Frecuencia de Acumulación de Falla para la Caldera E-205

Ordinal (i)	TEF (Horas)	$F(ti) = (i-0,3)/(N+0,4)$	% F(i)
1	400	0,08	8,33
2	430	0,2	20,24
3	470	0,32	32,14
4	500	0,44	44,05
5	550	0,56	55,95
6	600	0,68	67,86
7	700	0,8	79,76
8	1150	0,92	91,67

Tabla A.3.2 de Frecuencia de Acumulación de Falla para la Bomba P-621A

Ordinal (i)	TEF (Horas)	$F(ti) = (i-0,3)/(N+0,4)$	% F(i)
1	429	0,06	6,14
2	569	0,15	14,91
3	595	0,24	23,68
4	599	0,32	32,46
5	642	0,41	41,23
6	687	0,5	50
7	738	0,59	58,77
8	785	0,68	67,54
9	831	0,76	76,32
10	833	0,85	85,09
11	885	0,94	93,86

Tabla A.3.3 de Frecuencia de Acumulación de Falla para la Bomba P-624A

Ordinal (i)	TEF (Horas)	$F(ti) = (i-0,3)/(N+0,4)$	% F(i)
1	433	0,06	6,14
2	584	0,15	14,91
3	665	0,24	23,68
4	687	0,32	32,46
5	693	0,41	41,23
6	714	0,5	50
7	722	0,59	58,77
8	766	0,68	67,54
9	785	0,76	76,32
10	815	0,85	85,09
11	820	0,94	93,86

Apéndice A.4
Ley Numérica de Weibull

Ley Numérica de Weibull para obtener A y B

β	A	B	β	A	B	β	A	B
			1.50	0.9027	0.613	4.00	0.9064	0.254
			1.55	0.8994	0.593	4.10	0.9077	0.249
			1.60	0.8966	0.574	4.20	0.9089	0.244
			1.65	0.8942	0.556	4.30	0.9102	0.239
0.20	120	1901	1.70	0.8922	0.540	4.40	0.9114	0.235
0.25	24	199	1.75	0.8906	0.525	4.50	0.9126	0.230
0.30	9.2605	50.08	1.80	0.8893	0.511	4.60	0.9137	0.226
0.35	5.0291	19.98	1.85	0.8882	0.498	4.70	0.9149	0.222
0.40	3.3234	10.44	1.90	0.8874	0.486	4.80	0.9160	0.218
0.45	2.4786	6.46	1.95	0.8867	0.474	4.90	0.9171	0.214
0.50	2.00	4.47	2.00	0.8862	0.463	5.00	0.9182	0.210
0.55	1.7024	3.35	2.10	0.8857	0.443	5.10	0.9192	0.207
0.60	1.5046	2.65	2.20	0.8856	0.425	5.20	0.9202	0.203
0.65	1.3663	2.18	2.30	0.8859	0.409	5.30	0.9213	0.200
0.70	1.2638	1.85	2.40	0.8865	0.393	5.40	0.9222	0.197
0.75	1.1906	1.61	2.50	0.8873	0.380	5.50	0.9232	0.194
0.80	1.1330	1.43	2.60	0.8882	0.367	5.60	0.9241	0.191
0.85	1.0880	1.29	2.70	0.8893	0.355	5.70	0.9251	0.186
0.90	1.0522	1.77	2.80	0.8905	0.344	5.80	0.9260	0.185
0.95	1.0234	1.08	2.90	0.8917	0.334	5.90	0.9269	0.183
1.00	1.00	1.00	3.00	0.8930	0.325	6.00	0.9277	0.180
1.05	0.9803	0.934	3.10	0.8943	0.316	6.10	0.9286	0.177
1.10	0.9649	0.878	3.20	0.8957	0.307	6.20	0.9294	0.175
1.15	0.9517	0.830	3.30	0.8970	0.299	6.30	0.9302	0.172
1.20	0.9407	0.787	3.40	0.8984	0.292	6.40	0.9310	0.170
1.25	0.9314	0.750	3.50	0.8997	0.285	6.50	0.9318	0.168
1.30	0.9236	0.716	3.60	0.9011	0.278	6.60	0.9325	0.166
1.35	0.9170	0.687	3.70	0.9025	0.272	6.70	0.9333	0.163
1.40	0.9114	0.660	3.80	0.9038	0.266	6.80	0.9340	0.161
1.45	0.9067	0.635	3.90	0.9051	0.260	6.90	0.9347	0.160

Apéndice A.5
Matriz de Verificación de Hipótesis
de los Equipos Críticos

Tabla. A.5.1 Matriz de verificación de hipótesis para la bomba P-621A

Modo de Falla	Hipótesis Propuesta	Método de Verificación	Responsable	Fecha	Resultados
Sellos Mecánicos	Fuga por sello	Informe de análisis de falla	Especialista en equipos estáticos	21/10/2008	Fugas excesivas
Falla en Cojinetes	Temperatura elevada en cojinetes	Medición e inspección directa	Especialista en equipos estáticos	21/10/2008	Temperatura fuera del rango
	Enfriamiento excesivo de cojinetes	Realizar pruebas	Especialista en equipos estáticos	21/10/2008	Esta programado realizar pruebas de enfriamiento cuando salga de operaciones.
	Desalineación	Informe de análisis de vibración	Especialista en equipos estáticos	21/10/2008	Equipo ajustado de acuerdo a valores establecido

Tabla. A.5.2 Matriz de verificación de hipótesis para la bomba P-624A

Modo de Falla	Hipótesis Propuesta	Método de Verificación	Responsable	Fecha	Resultados
Filtros de Succión	Obstrucción y daños	Informe de análisis de falla	Especialista en equipos estáticos	10/11/2008	Elementos del filtro dañados por material extraño.
Falla en Cojinetes	Temperatura elevada en cojinetes	Medición e inspección directa	Especialista en equipos estáticos	10/11/2008	Temperatura dentro de valores permitidos
	Trabamiento de cojinetes	Informe de fallas	Especialista en equipos estáticos	Pendiente	Esta programado realizar pruebas de enfriamiento cuando salga de operaciones.
	Alta vibración	Informe de análisis de vibración	Especialista en equipos estáticos	10/11/2008	Valores de vibración por encima de lo permitido. Rangos de alineación fuera de lo establecido

Apéndice A.6
Gráficos Autocon 1.0

AutoCon v 1.0

Bienvenido a

AUTOCON 1.0

Acerca de...

Usuario

Contraseña

Planta	Día	Mes	Año	Hora
Metor S.A	15	10	2008	06:38:40 p.m.

Operador

Estimaciones de confiabilidad individual de equipos

La solución al mantenimiento basado en confiabilidad

Operador Responsable

Análisis Realizados

-----Modelos Estadísticos-----

Modelo Paramétrico (Distribución de Weibull)
 Modelo No Paramétrico (sobrevivencia y Fallas)

Planta	Día	Mes	Año	Hora
Metor S.A	15	10	2008	06:38:40 p.m.

Fuente: Autocon 1.0, Lab. de Simulación. (2008)

Datos

Ingreso de Datos

Nombre del Equipo: Bomba Centrífuga Multietapa

Código del Equipo: P-621A

Ubicación del Equipo: Area 600

Aceptar

T.E.F.
833
429
831
738
885
785
687
642

Aceptar

Resultados

Resultados de la Frecuencia Acumulada de Falla (%Fi)

i	T.E.F.	%Fi
1	429	6,140351
2	569	14,91228
3	595	23,68421
4	599	32,45614
5	642	41,22807
6	687	50
7	738	58,77193
8	785	67,54386
9	831	76,31579
10	833	85,08772

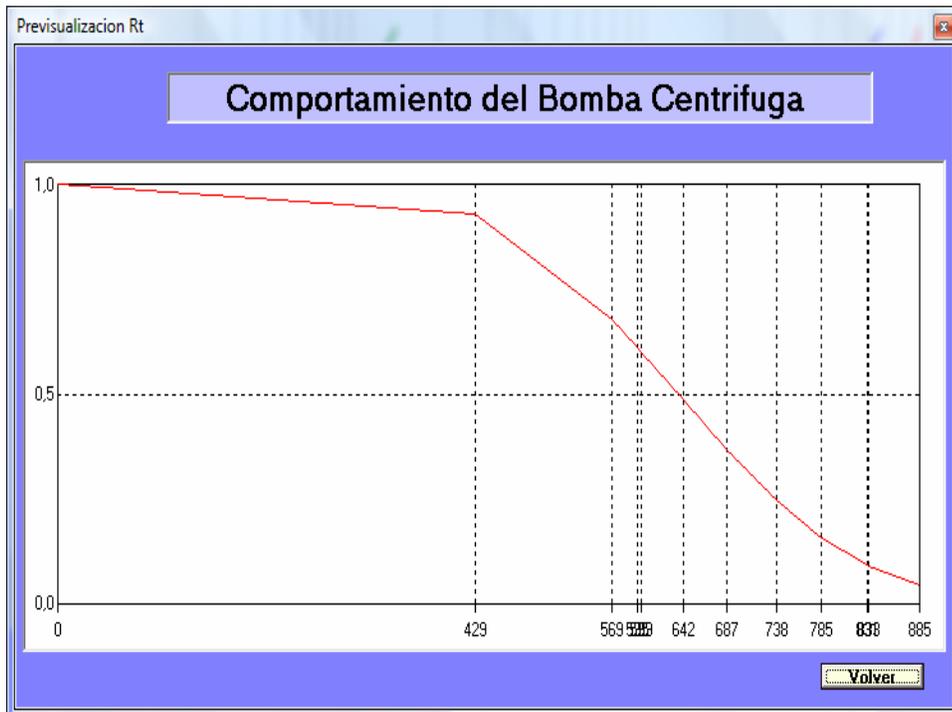
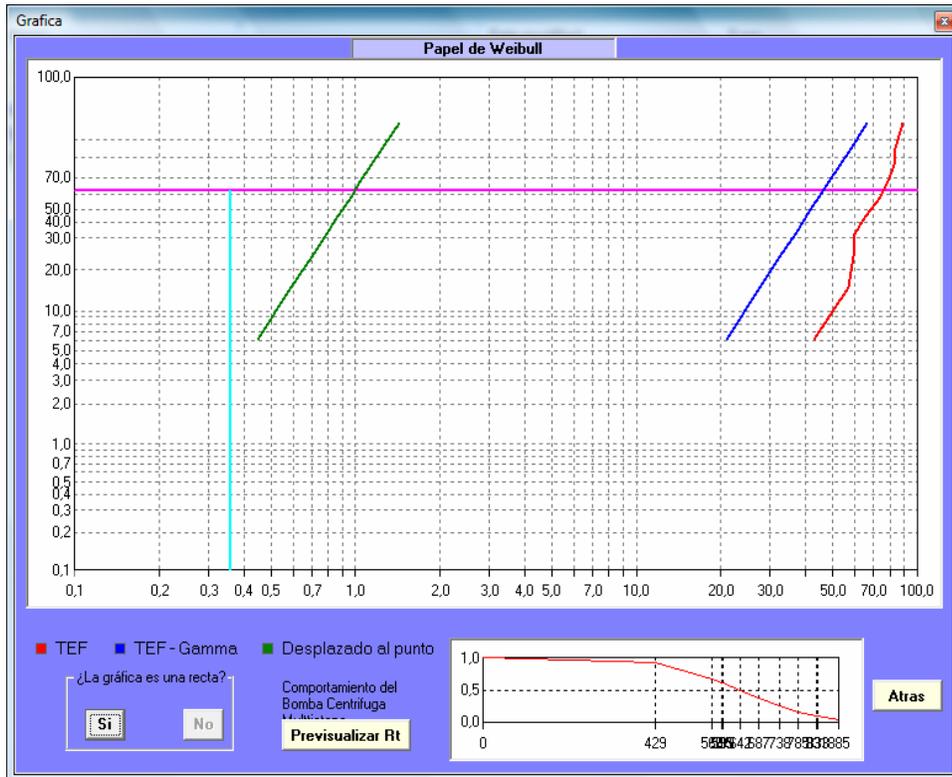
Graficar

Escala

10

Atras

Fuente: Autocon 1.0, Lab. de Simulación. (2008)



Fuente: Autocon 1.0, Lab. de Simulación. (2008)

Resultados

Resultados de parámetros y Estimación de Confiabilidad

Parámetro de Forma (β)

Parámetro de Escala (η) (Horas)

Parámetro de Posición (γ) (Horas)

Tiempo en Estudio (Horas)

La Confiabilidad del Equipo Bomba Centrífuga Multietapa es:

Datos

Ingreso de Datos

Nombre del Equipo:

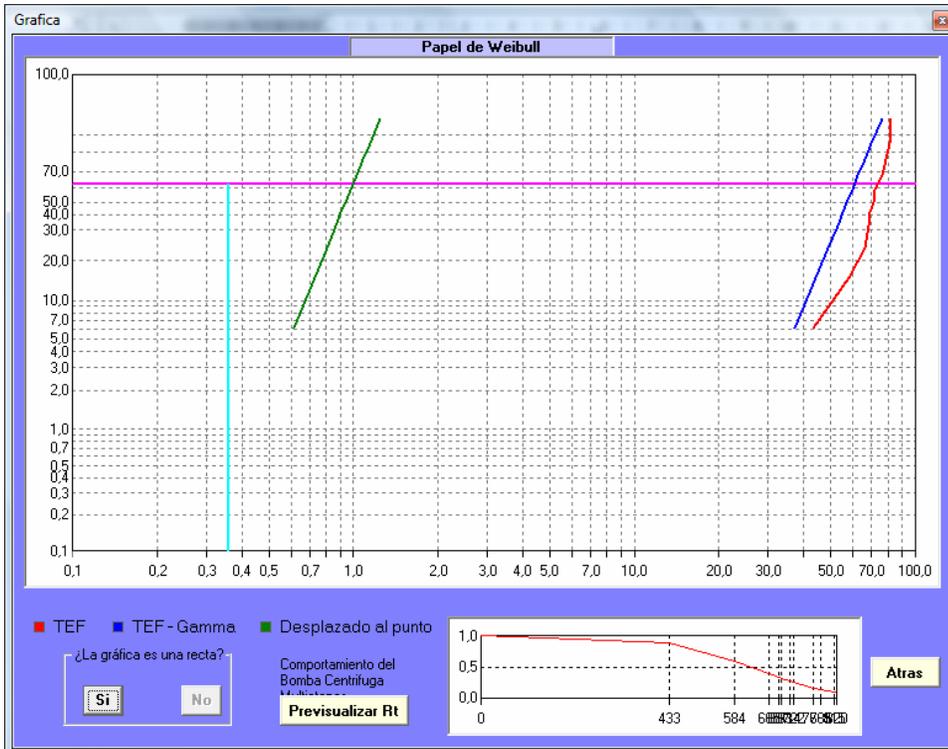
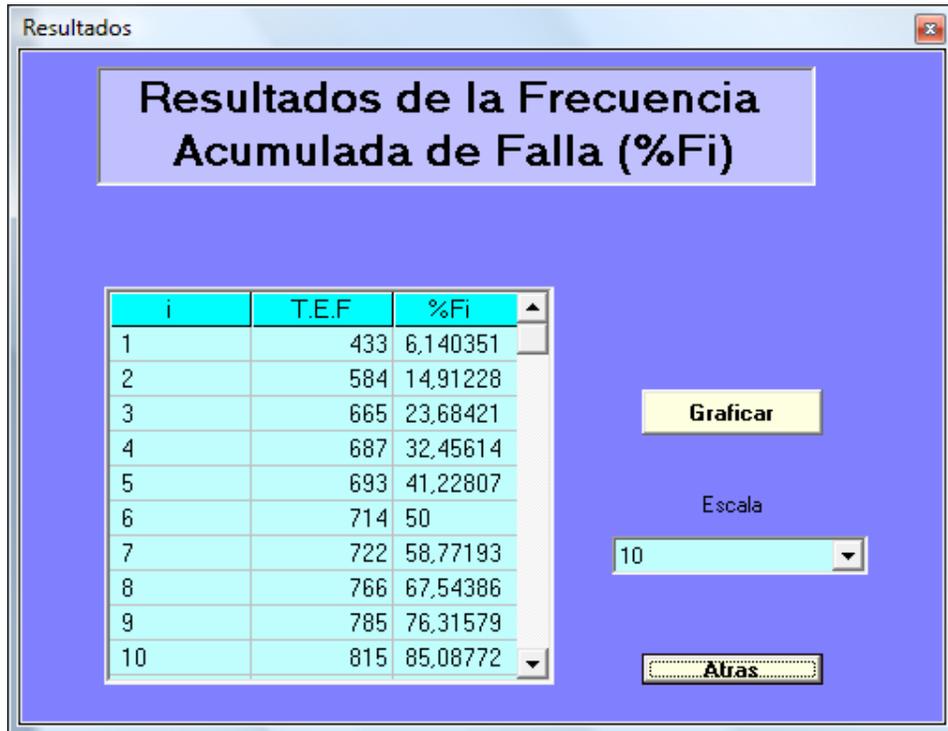
Código del Equipo:

Ubicación del Equipo:

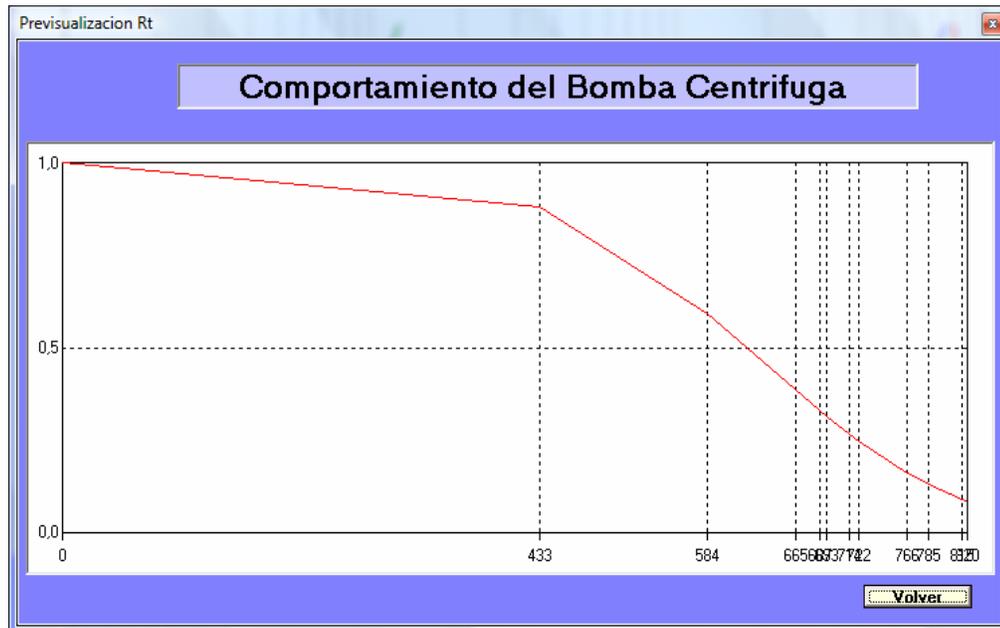
T.E.F.

815
722
820
766
714
693
584
665

Fuente: Autocon 1.0, Lab. de Simulación. (2008)



Fuente: Autocon 1.0, Lab. de Simulación. (2008)



Resultados

Resultados de parametros y Estimación de Confiabilidad

Parámetro de Forma (β)	4,224044
Parámetro de Escala (η) (Horas)	612,2911
Parámetro de Posición (γ) (Horas)	59
Tiempo en Estudio (Horas)	480 <input checked="" type="checkbox"/>

La Confiabilidad del Equipo Bomba Centrifuga Multietapas es:

.8142253

Atras Aceptar

Fuente: Autocon 1.0, Lab. de Simulación. (2008)

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSOS

TÍTULO	PROPUESTAS PARA EL INCREMENTO DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS, BASADO EN UN ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ.
SUBTÍTULO	CASO: SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA DE CALDERAS DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE METANOL.

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E-MAIL
Jesús Adolfo Martínez Calderón	CVLAC: 15.875.564 E-MAIL: jesusm09@hotmail.com
	CVLAC: E-MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES:

Confiabilidad
Equipos Críticos
Mantenimiento
Análisis Causa Raíz
Mantenibilidad
Disponibilidad
ACR
Criticidad

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSOS:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Departamento de Mecánica

RESUMEN (ABSTRACTO):

El objetivo principal de este trabajo consiste en proponer mejoras para el incremento de la confiabilidad de los equipos pertenecientes al sistema de alimentación de agua de calderas de la planta Metor, S.A., mediante la metodología del análisis causa raíz. Para lograr este objetivo se realizó un diagnóstico de la situación actual de los equipos que conforman dicho sistema, recopilando información referente a sus características y funcionamiento. Luego se realizó un análisis de criticidad que permitió determinar los equipos críticos de dicho sistema. Seguidamente se realizó un estudio de confiabilidad para determinar la confiabilidad actual de los equipos críticos y así poder compararla con el valor de confiabilidad establecido por la empresa, lo cual arrojó que estos valores se encontraban por debajo del 90% y que se encuentran en la etapa de desgaste. Se aplicó la herramienta Análisis Causa Raíz, para determinar las causas que originan las fallas de los equipos críticos. Por último se analizaron dichas causas raíces, y en base a éstas se propusieron actividades que permitirán reducir la ocurrencia de las fallas de los equipos críticos, también se analizaron los resultados obtenidos, y en base a estos se obtuvieron una serie de conclusiones, entre las más resaltantes se pueden mencionar; Los equipos pertenecientes a dicho sistema carecen de controles estadísticos que permitan realizar estudios previos para establecer prioridades de mantenimiento; los equipos críticos son: E-205, P-621A y P-624A; el mayor porcentaje de las fallas en el sistema de agua de calderas son debidas a corrosión, fatiga, falla de cojinetes, fallas de los filtros de succión y fallas de los sellos mecánicos. Se recomienda la aplicación de las actividades propuestas ya que se estima que reducirá la ocurrencia de las fallas y por lo tanto se incrementará la confiabilidad del sistema.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSOS:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO / CVLAC / E-MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Rodríguez, Edgar	CVLAC:	V-11.420.758			
	E-MAIL	omayalah@gmail.com			
	E-MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Salazar, Luis	CVLAC:	V-15.659.363			
	E-MAIL	eloy.diaz@empresas-polar.com			
	E-MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Suárez, Diógenes	CVLAC:	V-8.340.871			
	E-MAIL	johnnymartin@gmail.com			
	E-MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Griffith, Luis	CVLAC:	V-14.317.126			
	E-MAIL	gabriel.caza@gmail.com			
	E-MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009	02	19
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSOS:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.Propuestas.incremento.confiabledad.equipo s.críticos.análisis.causa.raíz.metanol.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v
w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: Planta Metanol de Oriente, METOR, S.A

TEMPORAL: 6 meses

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Mecánico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Mecánica

INSTITUCION:

Universidad de Oriente. Núcleo Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSOS:

DERECHOS:

DE ACUERDO AL ARTÍCULO 44 DEL REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADO: “LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD, Y SOLO PODRAN SER UTILIZADOS CON OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”.

Jesús A. Martínez C.

AUTOR

AUTOR

AUTOR

Prof. Edgar Rodríguez

TUTOR

Prof. Diógenes Suárez

JURADO

Prof. Luis Griffith

JURADO

Prof. Delia Villarroel

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS