

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



**PROPUESTAS DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN  
CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS ROTATIVOS.**

**Caso: Nueva Sección de Destilación de Metanol, Proyecto de Expansión METOR S.A.**

**Realizado por:  
FRANCISCO JOSE MOYA ROJAS**

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito Parcial  
para Optar al Título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**Puerto La Cruz, Mayo de 2010**

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



**PROPUESTAS DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN**  
**CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS ROTATIVOS.**

**Caso: Nueva Sección de Destilación de Metanol, Proyecto de Expansión METOR S.A.**

**Realizado por:**

---

**Br. Francisco J. Moya R**

**Revisado por:**

---

**Prof. Darwin Bravo**

**Asesor Académico**

---

**Ing. Luis Salazar**

**Asesor Industrial**

**Puerto La Cruz, Mayo de 2010**

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



**PROPUESTAS DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN  
CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS ROTATIVOS.**

**Caso: Nueva Sección de Destilación de Metanol, Proyecto de Expansión METOR S.A.**

**JURADO CALIFICADOR**

**El Jurado Calificador hace Constar que Asignó a esta Tesis la Calificación de:**

**APROBADO**

---

**Prof. Darwin Bravo**  
**Asesor Académico**

---

**Prof. Edgar Rodríguez**  
**Jurado Principal**

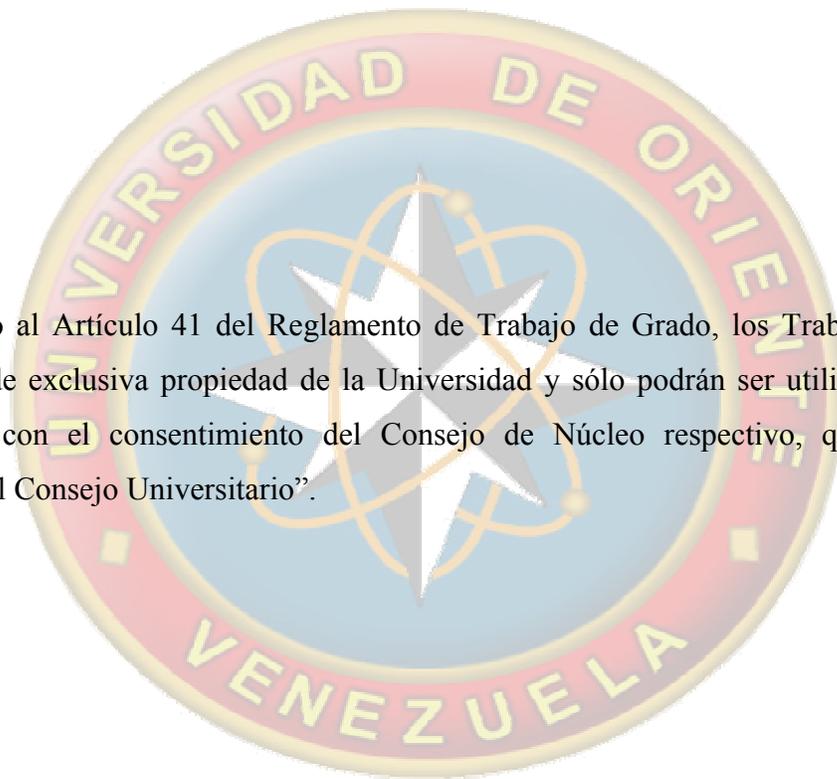
---

**Prof. Delia Villarroel**  
**Jurado Principal**

**Puerto La Cruz, Mayo de 2010**

## RESOLUCIÓN

“De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado, los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.



## DEDICATORIA

*Mi sobrina Valeria Patricia León Moya*

## AGRADECIMIENTOS

*Gracias a Dios, a mis Padres, mi tía, Hermanos, mi tutor, profesores amigos y a mis amigos que me acompañaron durante toda mi carrera.*

## RESUMEN

El objetivo del desarrollo de este trabajo consistió en proponer acciones de mantenimiento basada en la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), para equipos críticos de la nueva sección de destilación del proyecto de expansión METOR S.A. Para el logro del objetivo propuesto se procedió a describir el contexto operacional de los equipos y las especificaciones de los mismos para su funcionamiento y el tipo de mantenimiento que recomienda su fabricante, posteriormente se hizo un análisis de criticidad para determinar los equipos rotativos críticos que forman parte de la sección de destilación de la nueva planta, luego se identificaron las funciones, fallas funcionales, modos de fallas y los efectos que generan las mismas a la hora de presentarse dicha falla, procesándose mediante la herramienta de análisis de modo y efecto de falla (AMEF), posteriormente se aplicó el Árbol Lógico de Decisión ALD, con la finalidad de establecer el tipo de mantenimiento y así mitigar los modos de fallas y por ende sus efectos en los equipos rotativos críticos, Finalmente se propusieron las acciones de mantenimiento que buscan garantizar el buen funcionamiento de estos equipos. Con la realización del AMEF a los equipos rotativos que resultaron críticos: bomba centrífuga vertical P-1511 y las bombas centrífugas horizontales P-1516 A/B, se determinó 10 modos de fallas para la bomba P-1511 y 13 modos de fallas para la bomba P-1516 A/B que están asociados al proceso de arranque del equipo, También se realizó la propuesta de un procedimiento a realizar en el proceso de arranque de los equipos rotativos, para de esta manera disminuir la ocurrencia de ciertas fallas que están asociadas al proceso de preparación y revisión para el arranque de las operaciones.

## ÍNDICE

RESOLUCIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
RESUMEN.....	vii
INDICE.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA.....	18
1.1 Aspectos de la empresa .....	18
1.1.1 Reseña histórica de la empresa .....	18
1.1.2 Visión .....	19
1.1.3 Misión .....	19
1.1.4 Organización .....	19
1.1.5 Ubicación Geográfica.....	20
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	21
1.3 OBJETIVOS .....	22
1.3.1 Objetivo general.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos.....	22
CAPITULO 2. MARCO TEORICO .....	24
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
2.2 BASES TEORICAS.....	25
2.2.1 Mantenimiento .....	25
2.2.2 Tipos de Mantenimiento .....	25
2.2.3 Planificación de Mantenimiento .....	26
2.2.4 Contexto operacional .....	27
2.2.5 Acción de Mantenimiento.....	27
2.2.6 Análisis de Criticidad.....	27

2.2.7	Análisis de criticidad basado en la filosofía MCC.....	28
2.2.8	Metodología DS .....	29
2.2.9	Factores que Intervienen en el Área de Mantenimiento: .....	30
2.2.10	Factores que Intervienen en el Área Operacional: .....	32
2.2.11	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) .....	32
2.2.12	Características del MCC .....	33
2.2.13	Finalidad de la Implementación del MCC .....	34
2.2.14	Equipo Natural de Trabajo. (ENT).....	34
2.2.15	Características de un Equipo Natural de Trabajo. (ENT) .....	34
2.2.16	Fallas .....	35
2.2.17	Fallas Funcionales.....	35
2.2.18	Modo de Fallas.....	35
2.2.19	Consecuencias de las Fallas. ....	35
2.2.20	Tareas a Condición Cíclicas.....	36
2.2.21	Tareas de Reacondicionamiento Cíclico.....	36
2.2.22	Tareas de Sustitución Cíclica.....	37
2.2.23	Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).....	37
2.2.24	Árbol Lógico de Decisiones (ALD).....	38
2.2.25	Proceso de Producción de Metanol.....	38
2.2.26	Equipo rotativo.....	39
2.2.27	Máquina. ....	39
2.2.28	Máquina de fluido .....	40
2.2.29	Bomba .....	40
2.2.30	Metanol .....	41
2.2.31	Uso del Metanol.....	42
2.2.32	Proceso de Destilación del Metanol.....	43

CAPITULO 3. METODOLOGIA .....	44
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	44
3.1.1 Según la Estrategia:.....	44
3.1.2 Según el Propósito: .....	44
3.1.3. Según el nivel de Conocimiento: .....	44
3.2 POBLACIÓN.....	45
3.3 MUESTRA.....	45
3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	45
3.5 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.....	47
3.6 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
3.6.1 Revisión Bibliográfica. ....	48
3.6.2 Descripción del contexto operacional de los equipos rotativos en la nueva sección y las especificaciones de los mismos para su funcionamiento. ...	48
3.6.3 Conformación del Equipo Natural de Trabajo (E.N.T).....	48
3.6.4 Análisis de criticidad a los equipos rotativos que conforman la sección de destilación de la nueva planta de METOR S. A.....	50
3.6.5 Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).....	57
3.6.6 Establecer el tipo de mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos rotativos críticos mediante la aplicación del Arbol Lógico de Decisión (ALD).....	58
3.6.7 Formulacion de las acciones de mantenimiento correspondiente a los equipos rotativos críticos de la sección de destilación del proyecto expansión METOR S.A. ....	58
3.6.8 Redacción y presentación del trabajo.....	58
CAPITULO 4. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	59
4.1 DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS EN LA NUEVA SECCIÓN Y LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MISMOS PARA SU FUNCIONAMIENTO. ....	59

4.1.1 Especificaciones, Uso y Funcionamiento de los Equipos Rotativos que Conforman la Nueva Sección de Destilación Proyecto Expansión METOR S.A.....	65
4.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS QUE CONFORMARAN LA SECCIÓN DE DESTILACIÓN DE LA NUEVA PLANTA DE METOR S. A. ....	67
4.3. ANÁLISIS DE LOS MODOS Y EFECTOS DE FALLAS EN LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS DE LA SECCIÓN DE DESTILACIÓN DE METANOL. ....	75
4.4. APLICACIÓN DEL ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN A LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS DE LA NUEVA SECCIÓN DE DESTILACIÓN DE METANOL. ....	81
4.5 ACCIONES DE MANTENIMIENTO, DIRIGIDAS A LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS DE LA NUEVA SECCIÓN DE DESTILACIÓN DE METANOL. ....	85
CONCLUSIONES .....	91
RECOMENDACIONES .....	92
BIBLIOGRAFÍA CITADA. ....	93
APÉNDICE .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
METADATOS PARA TRABAJO DE GRADO .....	105

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Matriz de criticidad basada en la filosofía MCC .....	29
<b>Tabla 2.2.</b> Identificación del metanol.....	41
<b>Tabla 2.3.</b> Efectos del METANOL en las personas. ....	42
<b>Tabla 3.1</b> Descripción de los integrantes del Equipo Natural de Trabajo ENT .....	49
<b>Tabla 3.2</b> Ponderaciones de los factores por el área de mantenimiento.....	50
<b>Tabla 3.3</b> Ponderaciones de los factores por el área operacional.....	51
<b>Tabla 3.4.</b> Criterios para la evaluación de criticidad.....	55
<b>Tabla 3.5</b> Formato de encuesta, para cada miembro del E.N.T entrevistado.....	55
<b>Tabla 3.6</b> Hoja de Resultados de Encuestas, Realizadas a cada Integrante del E.N.T57	
<b>Tabla 4.1</b> Resumen Meteorológico Histórico del Criogénico de JOSE CIJ Año 2009.....	59
<b>Tabla 4.2</b> Equipos Rotativos de la Sección de Destilación del Proyecto de Expansión METOR S.A.....	61
<b>Tabla 4.3.</b> Especificaciones, Uso y Funcionamiento de la Bomba P1501 A/B .....	65
<b>Tabla 4.4.</b> Especificaciones, Uso y Funcionamiento de la Bomba P1503A/B .....	66
<b>Tabla 4.10.</b> El resultado de las encuestas realizadas al ENT. ....	68
<b>Tabla 4.11</b> Sumatoria de números de fallas de cada grupo (Cantidad de Falla). ....	68
<b>Tabla 4.12</b> Sumatoria de los Tiempos Fuera de Servicio TFS de cada grupo (Horas).....	69
<b>Tabla 4.13</b> Sumatoria de la disponibilidad de repuestos DR de cada grupo.....	70
<b>Tabla 4.14</b> Sumatoria del Cumplimiento del mantenimiento preventivo CMP de cada grupo. ....	71
<b>Tabla 4.15</b> Sumatoria de la Efectividad E de cada grupo. ....	72
<b>Tabla 4.16.</b> Factores evaluados para el área de Mantenimiento de la matriz de Criticidad D.S.....	73
<b>Tabla 4.17.</b> Factores Evaluados para el Área Operacional de la Matriz de Criticidad D.S.....	74

<b>Tabla 4.18</b> Niveles de Criticidad de los Equipos en Estudio. ....	75
<b>Tabla 4.19</b> Analisis de Modos y efectos de Fallas(AMEF) de la bomba 1511.....	76
<b>Tabla 4.21</b> Analisis de Modos y efectos de Fallas(AMEF) de la bomba 1511 (Continuacion).....	77
<b>Tabla 4.22</b> Analisis de Modos y efectos de Fallas(AMEF) de la bomba 1516A/B.	78
<b>Tabla 4.20</b> Analisis de Modos y efectos de Fallas(AMEF) de la bomba P-1516A/B (Continuación).....	79
<b>Tabla 4.20</b> Analisis de Modos y efectos de Fallas(AMEF) de la bomba P-1516A/B (Continuación).....	80
<b>Tabla 4.21</b> Hoja de Trabajo de MCC, de la Bomba P-1511. ....	81
<b>Tabla 4.22</b> Hoja de Trabajo de MCC, de la Bomba P-1511. (Continuación) .....	82
<b>Tabla 4.23.</b> Hoja de Trabajo de MCC, de la Bomba P-1516 A/B.....	83
<b>Tabla 4.24.</b> Hoja de Trabajo de MCC, de la Bomba P-1516 A/B (Continuación). ..	84
<b>Tabla 4.24</b> Actividades Propuestas para la Bomba P-1511. ....	85
<b>Tabla 4.25</b> Actividades Propuestas para la Bomba P-1516A/B.....	86
<b>Tabla 4.26.</b> Procedimientos Mecánicos para Bombas Centrifugas.....	89
<b>Tabla 4.27.</b> Procedimientos Mecánicos para Bombas Centrifugas.....	90
<b>Tabla A1.</b> Especificaciones, Uso y Funcionamiento de la Bomba P1504A/B. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
<b>Tabla A2.</b> Especificaciones, Uso y Funcionamiento de la Bomba P1507A/B. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
<b>Tabla A3.</b> Especificaciones, Uso y Funcionamiento de la Bomba P1511. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
<b>Tabla A4.</b> Especificaciones, Uso y Funcionamiento de la Bomba P1513A/B. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
<b>Tabla A5.</b> Especificaciones, Uso y Funcionamiento de la Bomba P1516A/B. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
<b>Tabla C1.</b> Resultados de la Evaluación de la Matriz de Criticidad D.S, a los Equipos Rotativos de la Sección de Destilación de la Nueva Planta METOR S.A.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Gráfico de accionistas.....	18
<b>Figura 1.1</b> Organograma de La gerencia de Expansión.....	20
<b>Figura 1.2</b> Ubicación geográfica de la planta METOR S.A. ....	20
<b>Figura 2.1.</b> Factores a evaluar dentro de cada área en estudio.....	30
<b>Figura 2.2</b> Tiempos para Disponibilidad y Efectividad Operacional.....	31
<b>Figura 2.3</b> Flujograma de implantación del AMEF. ....	37
<b>Figura 2.4</b> Formato de la hoja de información, para el análisis de modos y Efectos de fallas (AMEF).....	38
<b>Figura 2.5</b> Diagrama de Procesos. ....	39
<b>Figura 2.6.</b> Bomba de fondos de la columna de recuperación de la sección de destilación. ....	41
<b>Figura 3.1</b> Esquema Representativo de la Conformación del Equipo Natural de Trabajo .....	49
<b>Figura 3.2</b> Grupos conformados en el ENT. ....	56
<b>Figura 4.1</b> Equipos Rotativos de la Sección de Destilación del Proyecto de Expansión METOR S.A.....	60
<b>Figura 4.2</b> Representacion Gráfica del Comportamiento de la Temperatura Ambiental en el Criogénico de JOSE, durante la Realizacion de este Trabajo. ....	62
<b>Figura 4.3</b> Representacion Grafica del Comportamiento de la Humedad en el Ambiente en el Criogenico de JOSE, Durante la Realizacion de este Trabajo. ....	62
<b>Figura 4.4</b> Foto de la Cercanía del Proyecto de Expansión con el Mar Caribe. ....	63
<b>Figura 4.5</b> Presencia de oxido en los elementos de sujeción y el eje de la Bomba P 1613 A/B del Proyecto de Expansión METOR S.A .....	64

**Figura 4.6** Presencia de Corrosión y deterioro del Casco de la bomba P 503 de la  
Planta en Operación de METOR S.A..... 64

**Figura B1.** Hoja de Resultados de Encuestas de la Bomba P-1501 A/B. **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura B2.** Hoja de Resultados de Encuestas de la Bomba P-1504 A/B. **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura B3.** Hoja de Resultados de Encuestas de la Bomba P-1503 A/B. **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura B4.** Hoja de Resultados de Encuestas de la Bomba P-1507 A/B. **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura B5.** Hoja de Resultados de Encuestas de la Bomba P-1513 A/B. **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura B6.** Hoja de Resultados de Encuestas de la Bomba P-1516A/B. **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura D1.** Árbol Lógico de Decisión ALD ..... **¡Error! Marcador no definido.**

## INTRODUCCIÓN.

El metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), es un Petroquímico básico, del cual se derivan otras clases de químicos intermedios. Es utilizado como materia prima para producir resinas y otros compuestos químicos, como solvente y combustible.

La empresa METOR S. A, luego de 15 años de operaciones de la planta existente y motivada en gran medida al acelerado crecimiento de la demanda del producto, actualmente se encuentra en el desarrollo de su proyecto de expansión, el cual consiste en la construcción de una planta similar a la ya existente, con lo cual se busca incrementar la producción de metanol de 2200 a 4700 toneladas métricas de metanol diarias (ton/día) y así mantener su estatus como uno de los principales productores mundiales de metanol.

Las grandes empresas petroquímicas como METOR S. A, en la actualidad se están enfocando en estrategias y capacidades, hacia el área de mantenimiento, lo cual le permite mejorar la confiabilidad operacional de sus equipos, sistemas e instalaciones en general, y conlleva al incremento de la competitividad de METOR S.A, frente a otras empresas productoras de metanol. Es por ello que la Gerencia del proyecto de expansión de Metanol de Oriente METOR S.A, decidió llevar a cabo este proyecto con el fin de obtener un conjunto de acciones de mantenimiento que permita mitigar la ocurrencia de fallas potenciales en los equipos rotativos de la nueva sección de destilación, basándose en la experiencia adquirida por su personal sobre los equipos que conforman la planta, la incidencia de factores climático y conocimientos teóricos, para de esta manera tener un soporte técnico de mantenimiento que permita realizar las actividades futuras, que sirva como material de apoyo para el adiestramiento del nuevo personal técnico y a su vez una mejora en el proceso productivo, la seguridad y conservación del medio ambiente.

Para el desarrollo de este proyecto fue necesario abordar cuatro capítulos debidamente desglosados, los cuales se describen a continuación:

**Capítulo I:** El Problema, el cual incluye el planteamiento y formulación del problema en estudio, así como los objetivos de la investigación.

**Capítulo II:** El Marco Teórico, en el cual se presentan los antecedentes de la investigación, así como los diferentes términos y bases teóricas necesarias para la comprensión de la investigación.

**Capítulo III:** Marco Metodológico, en este capítulo se presenta las diferentes metodologías utilizadas en cada una de las etapas de la investigación, la población y muestras que se utilizarán para la realización de este proyecto así como también el tipo de investigación que se basa: según la estrategia, según el propósito y según el nivel de conocimiento.

**Capítulo IV:** Desarrollo, en este apartado se presenta los resultados obtenidos y análisis de los mismos en la investigación, dirigidas a los equipos rotativos críticos de la nueva sección de destilación de metanol. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, arrojadas de los resultados de la investigación y se plantean las recomendaciones a aplicar por la organización.

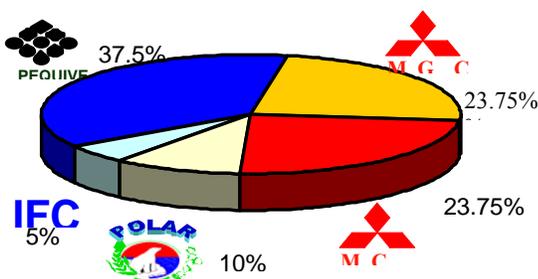
## CAPITULO 1. EL PROBLEMA.

### 1.1 ASPECTOS DE LA EMPRESA

#### 1.1.1 Reseña histórica de la empresa

Metanol de Oriente, METOR S.A. (Metor), es una empresa mixta ubicada en el Complejo Petroquímico e Industrial “General José Antonio Anzoátegui”, constituida bajo leyes venezolanas el 19 de marzo de 1992. Desde su creación, el capital que compone a esta empresa ha estado distribuido de la manera siguiente:

- 37.50% Corporación Petroquímica de Venezuela S.A. (PEQUIVEN).
- 23.75% Mitsubishi Corporation (MC).
- 23.75% Mitsubishi Gas Chemical Company, Inc. (MGC).
- 10% Empresas Polar, S.A.
- 5% Internacional Finance Corporation (IFC).



**Figura 1.1.** Gráfico de accionistas.

**Fuente:** METOR S.A (2009)

La planta fue diseñada cumpliendo con leyes ambientales nacionales e internacionales, para una capacidad nominal de 2200 toneladas métricas diarias de

metanol, la mayor parte de las ventas de Metanol está orientada al mercado de exportación, principalmente Norte América, Europa y Asia.

El 25 de enero de 2005, se firmó la carta de intención para el desarrollo del Proyecto de Expansión de Metor, a fin de satisfacer la creciente demanda internacional. Los socios de la empresa acordaron realizar acciones en materia de financiamiento, ingeniería básica y detalle, procura y construcción, para la construcción de una segunda planta de metanol, con una capacidad nominal de 2500 toneladas métricas diarias.

### **1.1.2 Visión**

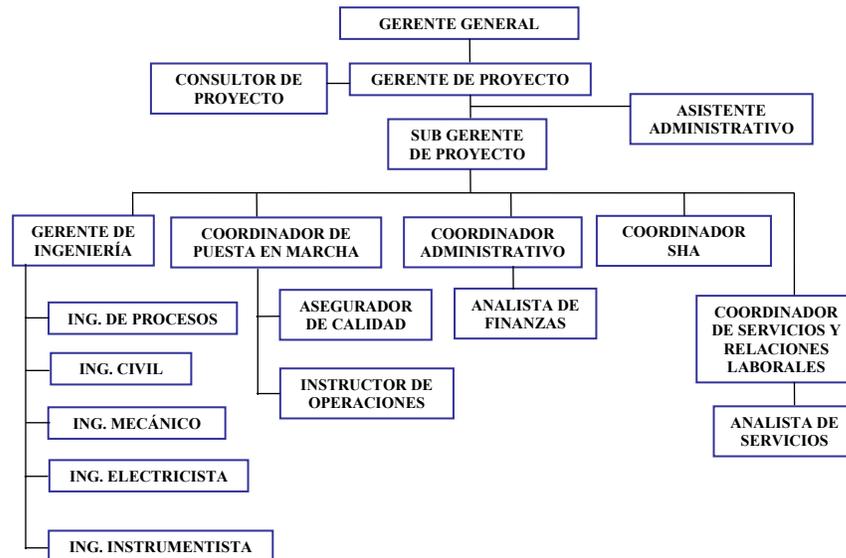
Ser una de las empresas líderes del negocio de metanol y consolidar su participación en el mercado mundial, en base al cumplimiento de los estándares de producción, entregas oportunas y seguras, satisfaciendo las expectativas de los clientes, en armonía con el ambiente y agregando valor a los accionistas,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

### **1.1.3 Misión**

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

### **1.1.4 Organización**

La empresa metanol de oriente METOR S.A, conformó una estructura organizacional con la finalidad de cumplir con el compromiso adquirido, el cual se basa en la ejecución del proyecto de expansión. En la figura N° 1.1, se muestra la estructura organizacional de la gerencia del proyecto de expansión de METOR S.A.



**Figura 1.1** Organograma de La gerencia de Expansión.

**Fuente:** Intranet de METOR.(2009)

### 1.1.5 Ubicación Geográfica

Las instalaciones de la planta, se encuentran ubicadas en el Complejo Petroquímico e Industrial “José Antonio Anzoátegui” Jose, entre Puerto Píritu y Barcelona en el Estado Anzoátegui. ver figura 1.2.



**Figura 1.2** Ubicación geográfica de la planta METOR S.A.

**Fuente:** METOR S.A.(2009)

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Metanol de Oriente METOR S.A., es una empresa mixta, productora y comercializadora del producto químico metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), utilizado en la industria química y petroquímica, esta empresa cuenta con un área de extensión de 177.320 m<sup>2</sup>, constituida bajo leyes venezolanas el 19 de marzo de 1992.

La empresa METOR S. A, luego de 15 años de operaciones de la planta existente y motivada en gran medida al acelerado crecimiento de la demanda del producto, actualmente se encuentra en el desarrollo de su proyecto de expansión, el cual consiste en la construcción de una planta similar a la ya existente, con lo cual se busca incrementar la producción de metanol de 2200 a 4700 toneladas métricas de metanol diarias (ton/día) y así mantener su estatus como uno de los principales productores mundiales de metanol.

Tras estos 15 años de operación, la gerencia de mantenimiento de la planta existente ha tenido que enfrentar una gran cantidad de problemas, los cuales derivan principalmente por fallas en los equipos rotativos de la sección de destilación en su mayoría. Entre los factores más influyentes en la ocurrencia de estas fallas podemos mencionar la adaptación parcial de algunas actividades de mantenimiento que se implementaron desde el arranque operacional, las cuales destacaron únicamente las recomendadas por el fabricante y aunado a esto podemos mencionar el deterioro acelerado de las partes de los equipos debido a corrosión. Esta estrategia ha promovido la aparición de múltiples fallas en los equipos que conforman esta sección.

En virtud de la problemática antes mencionada, en la gerencia del proyecto de expansión METOR S.A, surge la necesidad de establecer un conjunto de actividades de mantenimiento, que involucre la experiencia técnica, incidencia de factores ambientales propios del lugar donde estarán en operación los equipos, debido al

proceso de tropicalización de los mismos y conocimientos teóricos asociados al área de estudio, que busque minimizar la ocurrencia de fallas potenciales causadas por los factores antes mencionado durante y después del proceso de arranque de las operaciones. Por tal motivo se propone en esta investigación, un conjunto de acciones de mantenimiento apoyado en la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), a fin mitigar la ocurrencia de fallas potenciales en los equipos rotativos de la nueva sección de destilación, con lo cual se busca tener un soporte técnico en la gerencia de mantenimiento que permita realizar las actividades futuras del mantenimiento y así mejorar los controles de calidad de los equipos y proceso productivo de la nueva planta Metanol de Oriente METOR S.A.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Proponer acciones de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para equipos rotativos de la nueva sección de destilación del proyecto de expansión METOR S.A.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- 1 Describir el contexto operacional de los equipos rotativos en la nueva sección y las especificaciones de los mismos para su funcionamiento.
- 2 Identificar los equipos rotativos críticos que conformaran la sección de destilación de la nueva planta de METOR S. A.
- 3 Determinar las causas potenciales de fallas y los efectos que originaran a los equipos rotativos críticos asociados al proceso de destilación de metanol.

4 Establecer el tipo de mantenimiento preventivo o correctivo a los equipos rotativos críticos de la nueva sección de destilación de metanol, mediante la aplicación del Árbol Lógico de Decisión.

5 Formular las acciones de mantenimiento, dirigidas a los equipos rotativos críticos de la nueva sección de destilación de metanol.

## CAPITULO 2. MARCO TEORICO

### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, se ha implementado ampliamente como ayuda técnica en propuestas de mejoras en las políticas de mantenimiento en diversas organizaciones. El autor del presente estudio, realizó una revisión de diferentes investigaciones las cuales sirven como bases, bien sea por su contenido o metodología para el desarrollo del mismo.

- **Orlando J. Salazar R.** Diseñó de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Las Líneas de Recepción –Secado de Maíz, Planta SOLAGRO II Valle de La Pascua Estado Guárico. En este proyecto se creó un plan de mantenimiento con la finalidad de garantizar la continuidad operativa y que se adaptó a lo requerimientos particulares de la organización, generando información estadística y técnica de cada unos de los equipo involucrados en el trabajo y logrando asegurar así los niveles de productividad requeridos por la gerencia de la empresa. [1].
- **Freddy J. Álvarez C.** Diseñó de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Las Fases Iniciales de una Planta de Extracción de Sílice. Para la realización de este proyecto se conformo un equipo natural de trabajo ENT, el cual aportó la información necesaria sobre los equipos en estudios, basándose en un diagnósticos de los mismos y posteriormente determinando los equipos críticos, enfocando todo los esfuerzo en la realización del plan de mantenimiento a estos equipos, con la finalidad de minimizar las fallas y conservar los componentes de los equipos de la planta de extracción de sílice. [2].

- **Jayssam N . Hlal D** , Elaboró de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Evergreen Service. Esto con la finalidad de promover el buen funcionamiento de los equipos tales como: bombas centrifugas, compresores, etc., mediante estrategias de mantenimiento apoyadas en la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad MCC, para de esta forma manera aprovechar al máximo el periodo de vida útil de los equipos involucrados en este trabajo. [3]

## **2.2 BASES TEORICAS**

### **2.2.1 Mantenimiento**

Conjunto de actividades que permiten mantener un equipo o sistema en condiciones operativas, de tal forma que cumplan las funciones para las cuales fueron diseñadas y designadas o restablecer dicha condición cuando esta se pierde. [5]

### **2.2.2 Tipos de Mantenimiento**

- **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. [5]

- **Mantenimiento sistemático**

Son actividades establecidas en función del uso del equipo (hora, kilómetro, etc.), se utiliza cuando la frecuencia de inspección y ejecución de las actividades de mantenimiento son conocidas. [5]

- **Mantenimiento Condicional**

Actividades basadas en seguimiento del equipo, mediante diagnóstico de sus condiciones, se recomienda utilizarla cuando la frecuencia de inspección y ejecución de las actividades de mantenimiento no están determinadas, es decir son desconocidas. [5]

- **Mantenimiento de Ronda**

Consiste en una vigilancia regular a frecuencias cortas, se diferencia de las anteriores, por ser actividades de mantenimiento eventuales, es decir no están contempladas en un programa de mantenimiento, por esta razón también se conoce como mantenimiento circunstancial. [5]

- **Mantenimiento Predictivo**

Monitoreo de condiciones y análisis del comportamiento de los equipos para predecir intervenciones, de acuerdo a los niveles de admisibilidad, requiere personal especializado, los más utilizados son el de vibración y análisis de aceite. [5]

- **Mantenimiento Correctivo.**

Es una actividad que se realiza después de la ocurrencia de una falla. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar a los equipos después de una falla a sus condiciones originales, por medio restauración o reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste, daños o roturas. [5]

### **2.2.3 Planificación de Mantenimiento**

Es el diseño de programas de actividades de mantenimiento, distribuidas en el tiempo, con una frecuencia específica y dinámica que permite mantener los equipos en operación para cumplir con las metas de producción preestablecidas por la organización. [5]

- **No planificado:**

Es el mantenimiento de emergencia (reparación de roturas). Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo mas pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.) [3]

- **Planificado:**

Se sabe con antelación que es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuarse la reparación, se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.[3]

#### **2.2.4 Contexto operacional**

El primer documento que se realiza para un análisis de mantenimiento centrado en confiabilidad, es el contexto operacional, este representa *las circunstancias en las cuales se espera que opere un activo físico o sistemas productivos*. Debe contener una descripción detallada de la instalación que va a ser analizada; también se refleja el propósito del equipo o sistema, descripción del equipo y proceso, dispositivos de seguridad, metas de seguridad ambiental y operacional, volumen de producción y calidad. [8]

#### **2.2.5 Acción de Mantenimiento**

*Todo acto o actividad* comprendida en la ejecución del mantenimiento de un activo, equipo o sistema. [10]

#### **2.2.6 Análisis de Criticidad**

El análisis de criticidad es una metodología que se utiliza para jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance

y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los equipos y sistemas objeto del análisis. [6]

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía del proceso, sistema y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. La información recolectada en el estudio podrá ser utilizada para:

- Priorizar ordenes de trabajo de operaciones y mantenimiento.
- Priorizar proyecto de inversión.
- Diseñar políticas de mantenimiento.
- Seleccionar una política de manejo de repuesto y materiales.
- Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos [6].

### **2.2.7 Análisis de criticidad basado en la filosofía MCC**

En este estudio la criticidad se evalúa de forma cuantitativa, en cinco grandes factores: frecuencias de fallas, flexibilidad operacional, impacto operacional, costos de mantenimiento, impacto en la seguridad, higiene y ambiente, agrupados en la matriz mostrada en la tabla 2.1. Esta metodología posee pocos factores a evaluar, por lo cual el estudio de criticidad puede llegar a no describir la situación real de los equipos, además toma en cuenta para el factor de la frecuencia de fallas, un valor de menos de 0.5 fallas por año, lo cual no es real, porque si una falla ocurre su frecuencia es uno, y si no ocurre es cero, además no especifica la puntuación para que un equipo sea no critico, semi-critico y critico. [11]

**Tabla 2.1** Matriz de criticidad basada en la filosofía MCC

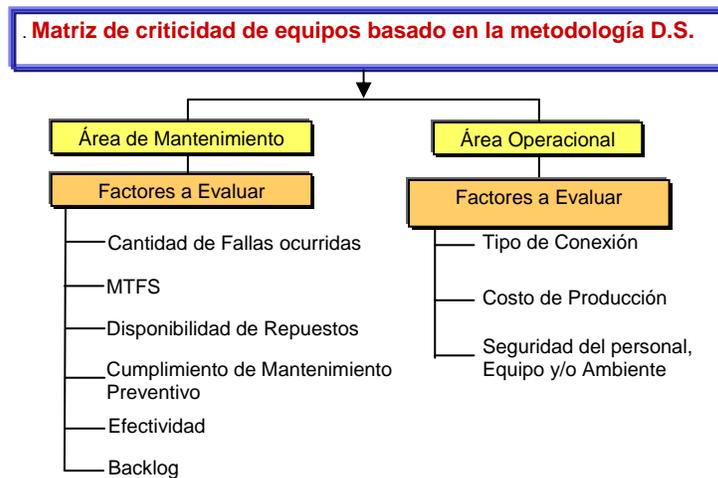
(Fuente: Confima &amp; Consultores, 2008)

<b>Frecuencia de Fallas</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor a 2 Fallas/año	4
Promedio 1 a 2 Fallas/año	3
Buena 0.5 – 1 Falla/año	2
Excelente menos de 0.5 Fallas/año	1
<b>Frecuencia de Fallas</b>	<b>Ponderación</b>
Pérdida de todo el despacho	10
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7
Impacta en niveles de inventario o calidad	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1
<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
No existe opción de producción y no hay opción de repuestos	4
No hay opción de repuestos compartido/almacén	2
Función de repuesto disponible	1
<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a \$20000	2
Inferior a \$20000	1
<b>Impacto en Seguridad, Ambiente, Higiene (SAH)</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere de notificación a entes externos de la organización	8
Afecta el ambiente/instalaciones	7
Afecta las instalaciones causando daños severos	5
Provoca daños menores (Ambiente - Seguridad)	3
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1

### 2.2.8 Metodología DS

Esta metodología puede determinar la criticidad de los equipos considerando el métodos de criterios ponderados, tomando seis (6) factores para evaluar el área de mantenimiento y tres (3) para el operacional; los cuales se muestran en la figura 2.1

[6]



**Figura 2.1.** Factores a evaluar dentro de cada área en estudio.

**Fuente:** Suárez, D. Criticidad de equipos utilizando Metodología D.S. UDO. (2005).

#### 2.2.8.1 Factores que Intervienen en el Área de Mantenimiento:

- **Cantidad de Fallas Ocurridas:**

Número de fallas que ocurren en el período a evaluar.

- **Media de los Tiempo Fuera de Servicio (MTFS):**

Es el tiempo promedio que el equipo se encuentra fuera de servicio, es decir, desde que aparece una falla imputable al equipo hasta que se logra poner en marcha en el periodo a evaluar.

- **Disponibilidad de Repuestos (DR):**

Es la relación entre la cantidad satisfecha y la demandada, es decir, representa el cociente entre las veces que se solicite un repuesto en almacén y es encontrado, con respecto a la cantidad total de oportunidades que solicite el repuesto.

- **Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP):**

Es la relación de ejecución de las órdenes de trabajo durante un período de tiempo determinado, con respecto al total de las emitidas.

- **Efectividad de Equipos:**

Es el tiempo de aprovechamiento real de los equipos para la producción, representa el factor de utilización de los equipos, la misma se refleja en la figura 2.2.



**Figura 2.2** Tiempos para Disponibilidad y Efectividad Operacional.

**Fuente:** SUAREZ, D., BRAVO, D. “Mantenimiento Mecánico”, Manual Teórico-Práctico (2008)

- **Backlog:**

Indica la cantidad de horas hombre pendiente por realizar mantenimiento en función de las horas disponibles. Es el tiempo que el personal seleccionado de mantenimiento deberá trabajar para ejecutar las actividades pendientes, partiendo del hecho de que no se incorporen nuevas actividades en las órdenes de trabajo durante la ejecución de los trabajos por realizar. [3]

### **2.2.8.2 Factores que Intervienen en el Área Operacional:**

- Tipo de Conexión:

Se refiere a la configuración que están los equipos dispuestos para producción. Las configuraciones pueden ser serie, paralelo, mixto (k de n), compleja o una combinación de las mismas. [3]

- Costo de Producción:

Son los desembolsos que se generan debido a la operación y aplicación de mantenimiento, por ejemplo: adquisición de equipos, personal de labores y servicios en general, a fin de mantener la producción. [3]

- SIAHO (Seguridad Industrial, Ambiente e Higiene Ocupacional):

Es un factor que pondera los efectos de las consecuencias que se puedan generar sobre el personal de labores, medio ambiente y los equipos en general.

El total de los puntos obtenidos tanto en el área de mantenimiento como operacional son evaluados para determinar la criticidad de los equipos que intervienen en el proceso productivo. [3]

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

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario en el contexto operacional presente. Un aspecto clave de la metodología MCC es reconocer que el mantenimiento asegura que un activo continúe cumpliendo su misión de forma eficiente en el contexto operacional. La definición de este concepto se refiere a cuando el valor del estándar de funcionamiento deseado sea igual, o se encuentre dentro de los límites del estándar de ejecución asociado a su capacidad inherente (de diseño) o a su confiabilidad inherente (de diseño).

Desde este punto de vista, el MCC, es más que una herramienta de gestión del mantenimiento, que permitirá maximizar la confiabilidad de los activos en su contexto operacional, a partir de la determinación de los requerimientos reales de mantenimiento. El MCC es necesario porque: responde a las debilidades derivadas de los enfoques tradicionales de mantenimiento, permite asociar y sopesar el riesgo del negocio con la falla de los activos, facilita de manera sistemática, la determinación del enfoque que se le debe dar a los recursos de la función mantenimiento.

La metodología MCC, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas:

- ¿Cuál es la función del activo?
- ¿De qué manera puede fallar?
- ¿Qué origina la falla?
- ¿Qué pasa cuando falla?
- ¿Importa si falla
- ¿Se puede hacer algo para prevenir la falla?
- ¿Qué pasa si no podemos prevenir la falla? [6]

#### **2.2.9.1 Características del MCC**

- Es una herramienta que permite ejecutar las acciones de control de fallas al entorno operacional.
- Metodología basada en un procedimiento sistemático que genera planes de mantenimiento.
- Filosofía de trabajo que exige un intercambio cultural.
- Permite detectar oportunidades de mejoras y soluciones de problemas a través de rediseño y otros análisis específicos, mediante un diagrama de decisión.

- El proceso de implementación es de mediano plazo a largo plazo. [11]

#### **2.2.9.2 Finalidad de la Implementación del MCC**

- Que los activos cumplan con su vida útil
- Motivar al personal tanto de operación como de mantenimiento
- Mejorar el trabajo en equipo y conseguir el consenso
- Incrementar el rendimiento operacional de los activos
- Mejorar las relaciones costo/efectividad del mantenimiento
- Aumentar la seguridad e integridad ambiental
- Disposición de bases de datos documentadas.[11]

#### **2.2.10 Equipo Natural de Trabajo. (ENT)**

Grupo multidisciplinario que pertenecen a una misma organización y trabajan en conjunto, durante un periodo de tiempo, para solucionar problemas específicos con ayudas del valor agregado que suministra cada miembro para mejorar la gestión a corto plazo. [11]

##### **2.2.10.1 Características de un Equipo Natural de Trabajo. (ENT)**

- Involucrar cada miembro, para la búsqueda de solución de problema con sentido de pertenencia.
- Participación de todos los miembros de las discusiones. Consiente de que los roles de los integrantes son diferentes, pero complementario.
- Se atiende a cada miembro y no hay temor de hacer sugerencias, existe consenso y compromiso.
- Los desacuerdos no se ocultan, se discuten para resolverlo.
- Las críticas son sinceras y frecuentes, pero sin ataques personales.
- Utiliza ayuda externa cuando es requerida.

- Los resultados son validados por el mismo proceso de análisis y la implementación de acciones deben garantizarse. [11]

### **2.2.11 Fallas**

Se dice que un componente o equipo ha fallado cuando:

- Llega a ser completamente inoperante
- Puede todavía operar, pero no puede realizar satisfactoriamente la función para la cual fue diseñado
- Por serios daños es inseguro su uso.[5]

#### **2.2.11.1 Fallas Funcionales**

Es la capacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado. La pérdida parcial de una función es razón por lo que la misma pueda tener más de una falla funcional, una función puede incorporar varios criterios de prestación y si no se cumplen alguno ya es una falla funcional. [8]

#### **2.2.11.2 Modo de Fallas**

Son las causas de las fallas funcionales. En otras palabras, el modo de falla es el que provoca la pérdida de funciones total o parcial de un activo en su contexto operacional (cada falla funciona puede tener más de un modo de falla) . [9]

#### **2.2.11.3 Consecuencias de las Fallas.**

Es como y cuanto importa cada falla, son los impactos que produce cada modo de falla en el negocio. Estas indican si se necesita prevenirlas y con que esfuerzo, es decir proporciona una base para decidir si merece la pena realizar el mantenimiento preventivo. [8]

Las consecuencias de las fallas se clasifican en:

- **Consecuencias Operacionales:** las fallas tienen efecto sobre la capacidad operacional, es decir: capacidad de producción, calidad del producto, servicios al cliente, costo de operación o una combinación de los anteriores.
- **Consecuencias no operacionales:** la única consecuencia de esta falla son los costos directos de la reparación, es decir, representan consecuencias económicas.
- **Consecuencia de fallas ocultas:** son aquellas que ocurren de tal forma que nadie sabe que el elemento se ha dañado, a menos que se produzca otra falla. Comúnmente se asocian con los dispositivos de seguridad, cuya falla solo se aprecia, cuando falla el sistema que protege.
- **Consecuencia en la seguridad y el medio ambiente:** causa pérdida de funciones u otros daños que puedan herir o causar la muerte a alguien y conduce la infracción de una normativa ambiental. [10]

### 2.2.12 Tareas a Condición Cíclica

#### Características Principales

- Las tareas a condición se llaman así porque los elementos que se inspeccionan se dejan en funcionamiento a condición de que continúe desempeñando satisfactoriamente sus estándares de operación.
- Consiste en chequear los equipos y sistemas, para tomar medidas dirigidas a prevenir la falla funcional o para evitar sus consecuencias
- Es importante tomar en cuenta el tiempo necesario para planificar la acción preventiva y para organizar tanto el personal como los materiales.

### 2.2.13 Tareas de Reacondicionamientos Cíclico

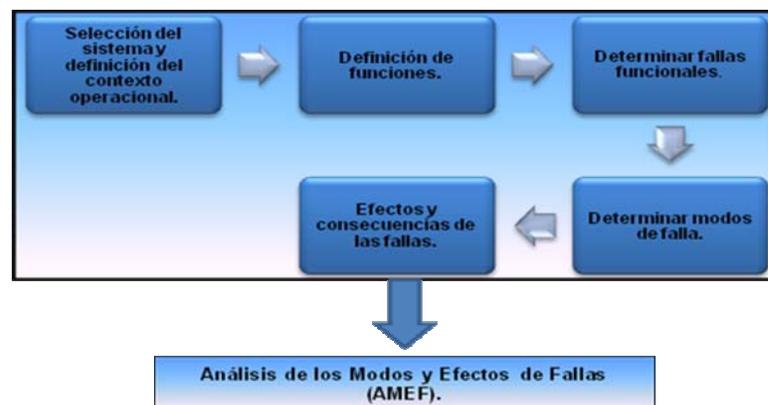
Consiste en reparar los componentes a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento, para lograr la restauración del componente.

### 2.2.14 Tareas de Sustitución Cíclica

Consiste en reemplazar un elemento o componente por uno nuevo a intervalos fijos, independientemente de su estado en ese momento, para lograr renovar el componente a sus condiciones originales. [11]

### 2.2.15 Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)

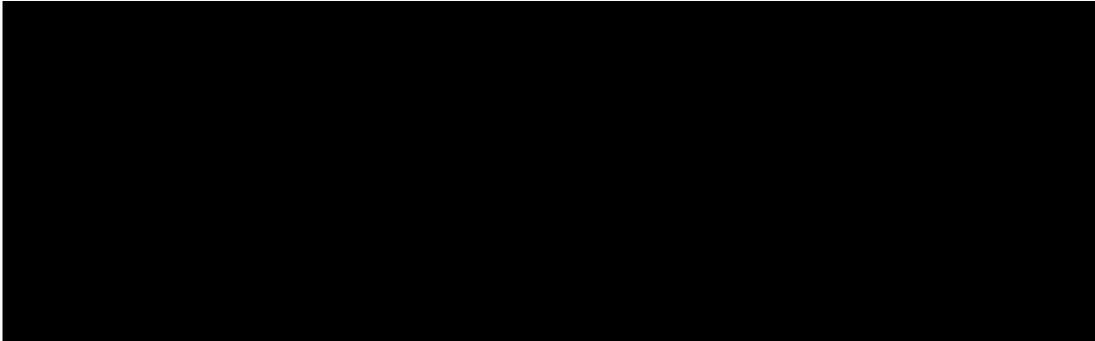
El AMEF es un método sistemático que permite identificar las causas de ocurrencia de fallas, que puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado como se puede apreciar en la figura 2.3.



**Figura 2.3** Flujograma de implantación del AMEF.

**Fuente:** Comfima & Consultores, “Curso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad MCC” (2009)

Hay que tener presente que la realización del AMEF, constituye la parte más importante del proceso de implantación del MCC, ya que a partir del análisis realizado por el ENT, a los distintos activos en su contexto operacional, se obtendrá la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de fallas y sus posibles consecuencias. El formato utilizado se muestra en la figura 2.4. [7]



**Figura 2.4** Formato de la hoja de información, para el análisis de modo y efecto de falla (AMEF).

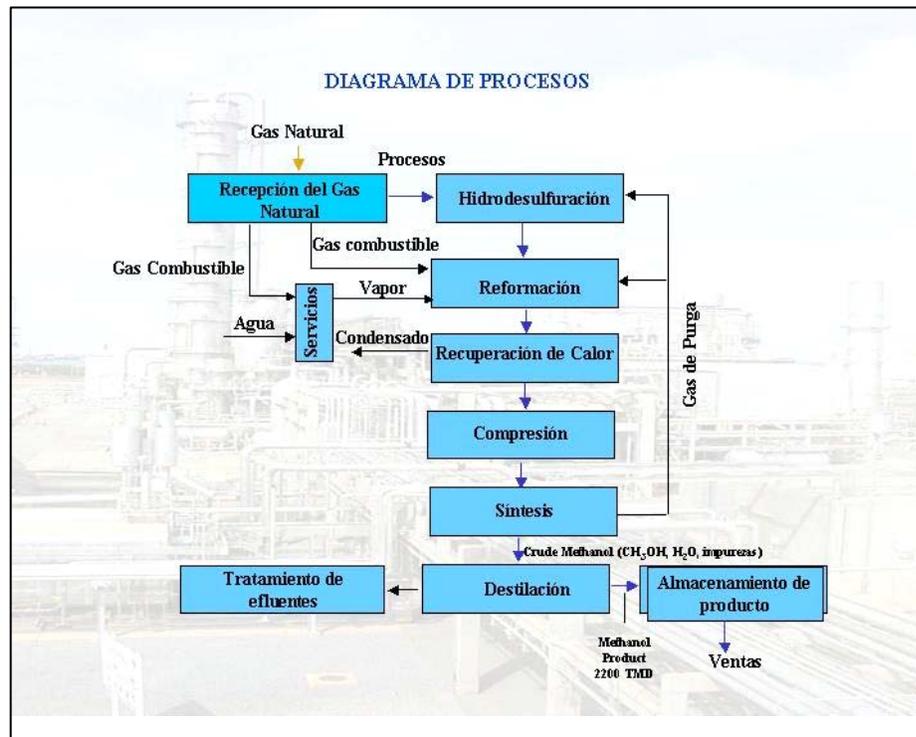
**Fuente:** Comfima & Consultores, “Curso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad MCC” (2009)

#### **2.2.16 Árbol Lógico de Decisiones (ALD).**

Una vez realizado el AMEF, el equipo natural de trabajo ENT, deberá seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento que ayude a prevenir la aparición de cada modo de falla previamente indicado, a partir del Árbol Lógico de Decisión (herramienta diseñada por el MCC, que permite seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento más adecuada para minimizar la ocurrencia de cada modo de falla o disminuir sus posibles efectos). [7]

#### **2.2.17 Proceso de Producción de Metanol.**

El proceso de producción de metanol utiliza como materia prima el gas natural y agua, ambos suministrados por Pequiven, al igual que algunos servicios como la electricidad, agua contra incendio, entre otros. La planta METOR consta de 8 etapas: Recepción y Distribución del gas natural, Hidrodesulfuración, Reformación y Recuperación de calor, Compresión del gas Reformado, Síntesis de metanol, Destilación, Unidad de servicios, Tratamiento de efluentes, Almacenamiento y Distribución ver figura 2.5. [5]



**Figura. 2.5** Diagrama de Procesos.

**Fuente:** Manual de proceso, proyecto de expansión (2007).

### 2.2.18 Equipo rotativo

*Es un dispositivo mecánico, cuyo principio de funcionamiento es el movimiento relativo entre dos o más componente del mismo dispositivo o equipo. [12]*

### 2.2.19 Máquina.

*Una máquina es un transformador de energía, una máquina absorbe energía de una clase y restituye de otra clase (un motor eléctrico, por ejemplo, absorbe energía eléctrica restituye energía mecánica).*

Las máquinas se clasifican en grupo: máquina de fluido, máquina herramienta, máquina eléctrica etc.

Las máquinas hidráulicas pertenecen a un grupo muy importante de máquinas que se llaman máquinas hidráulicas de fluido. Aunque rara es la maquina en que no intervienen uno o más fluidos como refrigerantes, lubricantes, etc.; eso solo no es suficiente para incluir dicha maquina en el grupo de máquinas de fluido. [12]

#### **2.2.20 Máquina de fluido**

Son aquellas máquinas en que el fluido, bien proporciona la energía que absorbe la máquina (por ejemplo, el agua que se suministra a una turbina posee una energía preferentemente de presión y que a su vez la turbina transforma en energía mecánica) *o bien aquella en que el fluido es el receptor de energía, al que la máquina restituye la energía mecánica absorbida*. Entre las máquinas de fluidos mas comunes podemos mencionar bombas centrífugas (**figura 2.6**) y turbinas. [12]

#### **2.2.21 Bomba**

Es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa (energía hidráulica). Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos; líquidos alimenticios: cerveza, leche, etc.; estas últimas constituyen el grupo importante de las bombas sanitarias).



**Figura 2.6.** Bomba de fondos de la columna de recuperación de la sección de destilación.

**Fuente:** Proyecto de expansión METOR S.A (2009)

### 2.2.22 Metanol:

El metanol es un insumo para la manufactura de productos oxigenados, utilizados para producir gasolina de alto octanaje. Es utilizado como materia prima para producir resinas y otros compuestos químicos, como solvente y combustible. [5]

A continuación se muestra en la **Tabla N° 2.2**, la descripción del producto químico Metanol y en la **Tabla N° 2.3**, los efectos para la salud que este producto puede generar.

**Tabla 2.2.** Identificación del metanol.

**Fuente:** Proyecto de expansión METOR S.A (2009)

<b>Nombre comercial :</b>	Metanol	<b>Formula Química:</b>	CH <sub>3</sub> OH
<b>Familia Química:</b>	Alcohol alifático	<b>Sinónimo:</b>	Alcohol de madera o alcohol metílico.

**Tabla 2.3.** Efectos del METANOL en las personas.**Fuente:** Proyecto de expansión METOR S.A (2009)

<b>Riesgo para la salud</b>	<b>Prevención</b>	<b>Primeros auxilios</b>
<b>INHALACION:</b> Provoca necrosis en el hígado, narcosis, edema de riñones y pulmones	<b>INHALACION:</b> use respirador con cartuchos orgánicos. En espacio confinados use equipos de aire auto contenidos o respirador con aire suplido	<b>INHALACION:</b> respirar aire fresco
<b>PIEL:</b> puede provocar irritación, dermatitis, eritema, Escamaduras y posibles efectos sistemáticos	<b>PIEL:</b> use guantes de neopreno, delantar de neopreno y botas de gomas con puntera.	<b>PIEL:</b> lave con agua y jabón y aplique lociones para la piel
<b>OJOS:</b> Causa irritación en la mucosa de los ojos	<b>OJOS:</b> use lentes herméticos contra salpicadura, excluir personas con problemas visuales.	<b>OJOS:</b> lave con abundante agua y jabón, durante al menos 15 minutos.
<b>INGESTION:</b> causa irritación en la mucosa	<b>INGESTION:</b> use un lugar ventilado y/o extracción mecánica.	<b>INGESTION:</b> provoque el vomito, una vez que ocurre el vomito tomar agua o bicarbonato de sodio con agua.

### 2.2.23 Uso del Metanol.

El metanol es un Petroquímico básico, del cual se derivan otras clases de químicos intermedios. Estos químicos, que se producen aguas abajo, son utilizados en la fabricación de productos finales, muchos de los cuales observamos en la vida diaria.

Se cuenta con una empresa nacional OXINOVA, localizada al Sur del estado Anzoátegui, la cual produce formaldehído para la fabricación de tableros a partir de metanol proveniente de la planta. El segundo más alto consumo de metanol en el ámbito mundial hasta la fecha (26%) se encuentra en la producción de MTBE. El MTBE (por sus siglas Metil Tert Butil Eter) es un aditivo que aumenta el octanaje en la gasolina y reduce la emisión de monóxido de carbono, lo cual permite reducir las emisiones tóxicas de los vehículos. La gasolina sin plomo que es colocada en los tanques de la mayoría de los vehículos contiene MTBE. [5]

#### 2.2.24 Proceso de Destilación del Metanol

El metanol crudo contiene alrededor de 80% de metanol, 18% de agua y pequeñas cantidades de impurezas orgánicas y gases disueltos producido simultáneamente con la síntesis de metanol. Las impurezas consisten en dimetil éter, formiato de metilo, cetonas, alcoholes pesados, hidrocarburos parafínicos, ácido acético, entre otros. El metanol se purifica en tres columnas de destilación atmosféricas.[5]

- **Columna estabilizadora T-1501:** es una columna de 60 platos perforados en la cual 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, alimentando así a los azeótropos presentes en la mezcla de metanol crudo. Además como el metanol crudo es ácido debido a la presencia del ácido acético formado en la sección de síntesis, se añade soda cáustica (NaOH) por el plato 5 para controlar el pH del agua de fondo de la columna de refinación el cual debe variar entre 9 y 11. [5]
- **Columna de refinación T-1502:** es una columna de 100 platos perforados, en la cual se obtiene un 95%, aproximadamente, de metanol como destilado, con una relación de reflujo igual a 2.0, según diseño. El metanol crudo proveniente del fondo de la columna estabilizadora contiene cerca de 74% de metanol, 26% de agua y algunas impurezas pesadas tales como etanol; alcoholes pesados y parafinas pesadas. [5]
- **Columna de recuperación T- 1503:** esta columna consta de 70 platos perforados y es usada para recuperar el metanol contenido en el corte lateral de la columna de refinación. El corte lateral de la columna de refinación contiene aproximadamente 68% de metanol, 31% de agua e impurezas pesadas. [5]

## **CAPÍTULO 3. METODOLOGIA**

### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1 Según la Estrategia:**

En el desarrollo de este trabajo se emplearon las estrategias de investigación documental y la de investigación de campo, la primera debido a que este proyecto estuvo sujeto a la consulta de documentos bibliográficos, manuales de los equipos, especificaciones, procedimientos así como la consulta de criterios y metodologías de mantenimiento de diversos autores. La investigación de campo permitió conocer las condiciones reales de operación, ubicación, características y configuración de los equipos rotativos de la nueva sección de destilación de la Planta Metanol de Oriente METOR S. A.

#### **3.1.2 Según el Propósito:**

Por los resultados obtenidos al realizar esta investigación, la misma puede ser clasificada según su propósito como **aplicada**, ya que se propuso la solución de problemas prácticos basados en los conocimientos teóricos de mantenimiento para ajustarlo al contexto de la nueva sección de destilación de metanol de la empresa METOR S.A.

#### **3.1.3. Según el nivel de Conocimiento:**

Según el nivel de conocimiento la investigación se clasifica como descriptiva, ya que comprendió la descripción, registro e interpretación de la problemática actual, aunado a esto se necesitó la recolección de datos y documentación, entrevistas informales al personal experimentado y técnicas de investigación y análisis.

### **3.2 POBLACIÓN.**

Este proyecto esta constituido por una población humana y una población de equipos. La población humana está constituida por todos los integrantes del Proyecto de expansión los cuales son treinta y seis (36) personas. Mientras que la población de equipos está conformada por (11) Bombas centrifugas y (2) dos bombas recíprocas dosificadoras.

### **3.3 MUESTRA.**

En este estudio, la muestra humana está conformada por las personas que conforman el Equipo Natural de Trabajo, los cuales son nueve (9). En cuanto a la muestra de los equipos rotativos industriales, en esta investigación se seleccionó por un análisis de criticidad basado en la metodología D.S, donde los equipos que resultaron críticos son la Bomba P-1511 y la Bomba P-1516A/B.

### **3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

En el desarrollo de este proyecto se recolectó y revisó la información relacionada de los equipos rotativos que conforman la nueva sección de destilación de metanol, con la finalidad de establecer las condiciones reales de operación y realizar una propuesta de acciones de mantenimiento que incida de manera positiva en la operatividad de los equipos. Entre las técnicas utilizadas para el desarrollo de este trabajo tenemos las siguientes:

- **Revisión documental**

Esta técnica de recopilación de información, se utilizó para extraer de los manuales de diseño, catálogos y documentos de la empresa relacionados al mantenimiento y funcionamiento de los equipos, lo cual sirvió de apoyo técnico en la elaboración del trabajo.

- **Entrevistas al personal**

Por medio de esta técnica se pudo obtener de manera personal e informal con los trabajadores de mas experiencias en estos equipos, la mayor parte de la información necesaria tales como: funcionamiento de cada uno de los equipos y detalles técnicos de cada uno de los equipos involucrados en el estudio, siendo de gran utilidad toda esta información ya que la información aportada por el personal de experiencia en el área de mantenimiento y operaciones, permitió además conocer en detalle los problemas ocasionados por las fallas más comunes en los equipos similares en la planta actualmente en operación, así como también información referente a los equipos rotativos que conforman la nueva sección de destilación, funcionamiento de los equipos y los parámetros mínimos requerido de operación de estos equipos.

- **Observación directa**

La observación directa, se utilizó como técnica para identificar y describir los equipos que conforman la nueva sección de destilación de metanol, ubicación de los mismos, condiciones generales de equipos similares en la planta existen así como también el proceso productivo.

- **Encuestas**

Se utilizó como método de recolección de información con el fin de obtener la información necesaria para aplicar el análisis de criticidad, así como también lograr realizar el proceso de recolección de información de una manera más sencilla, rápida y fácil de manejar por las personas encuestadas, se realizó de esta manera en vista de que no se contaba con la información documentada y registrada, necesaria para la elaboración de dicho tipo de análisis.

### 3.5 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

- **Análisis de Criticidad.**

Para la realización de este análisis, el equipo natural de trabajo (ENT) consideró la matriz de criticidad D.S ver las **tablas 3.1; 3.2; 3.3**, la más apropiada a aplicar, debido a que se adapta a las condiciones operacionales de la nueva sección de destilación, jerarquizando según su criticidad a los equipos rotativos que conforman la nueva sección de destilación de metanol.

- **Metodología MCC**

Es una metodología de análisis sistemático, útil para el desarrollo de acciones de mantenimiento. Con esta herramienta se pudo manejar de forma organizada la información específica recolectada, relacionadas al sistema y equipos involucrados en este estudio. A la vez que se aprovechó la experiencia del personal que mantiene y opera dicho equipos, el análisis de modo y efecto de falla (AMEF), facilitó la comprensión de las funciones, fallas y efectos que los equipos pudiesen presentar. Mientras que la aplicación del árbol lógico de decisiones (ALD), permitió determinar el tipo de mantenimiento, con la finalidad de prevenir la ocurrencia de dicha falla, mientras que la hoja de información y decisión, facilitaron el procesamiento de los datos generados a medida que avanza la metodología MCC.

## **3.6 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.6.1 Revisión Bibliográfica.**

En esta etapa inicial del proyecto, se procedió a la búsqueda y revisión de la información fundamental para el desarrollo de este trabajo, mediante tesis referentes a planes estratégicos de mantenimiento basado en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad “MCC”, internet, libros referentes al tema, manuales, datos de operación de los equipos estudiados y manual de proceso de destilación de metanol facilitados por la empresa.

### **3.6.2 Descripción del contexto operacional de los equipos rotativos en la nueva sección y las especificaciones de los mismos para su funcionamiento.**

Para el cumplimiento de esta etapa se realizaron visitas a la planta en construcción, permitiendo ubicar los equipos, realizar el inventario, inspección visual e identificar las condiciones reales de operación de los equipos rotativos de la sección de destilación. Luego se procedió a la revisión de los manuales técnicos de los equipos estudiados y se tomó nota de la información suministrada por el personal de experiencia, para así de esta manera describir el contexto operacional y funcionamiento de los mismos.

### **3.6.3 Conformación del Equipo Natural de Trabajo (E.N.T)**

En el cumplimiento de esta etapa se conformó un grupo multidisciplinario, todos pertenecientes al proyecto de expansión (ver figura 3.1 y tabla 3.1), y con amplia experiencia en las áreas tales como: proceso, mantenimiento, mecánica rotativa, seguridad, salud y ambiente (SSA), instrumentación, electricidad entre otros. Obteniendo la información necesaria en cuanto a requerimientos de operaciones y mantenimiento para la realización de esta investigación, así mismo la ejecución del análisis de criticidad de los equipos rotativos en la nueva sección de destilación, hoja de información y de decisión en la aplicación del MCC.



**Figura 3.1** Esquema Representativo de la Conformación del Equipo Natural de Trabajo ENT

**Fuente:** Propia

**Tabla N° 3.1** Descripción de los integrantes del Equipo Natural de Trabajo ENT

<b>Gerente del Proyecto Expansión</b>	<b>Jesús Mora</b>
<b>Coordinador de Ingeniería</b>	<b>Ali Delgado</b>
<b>Coordinador de Adiestramiento de Operadores</b>	<b>Félix Meléndez</b>
<b>Coordinador de Construcción</b>	<b>Luis Salazar</b>
<b>Entrenador de Operadores</b>	<b>Siobel Fajardo</b>
<b>Coordinador SSA</b>	<b>Roberto Batistini</b>
<b>Ingeniería Mecánica</b>	<b>Mario Villasmil</b>
<b>Especialista de Equipos Rotativos</b>	<b>José Manuel Gamboa</b>
<b>Especialista de Planificación</b>	<b>Wilmer Urbaz</b>
<b>Facilitador</b>	<b>Francisco Moya</b>

### 3.6.4 Análisis de criticidad a los equipos rotativos que conforman la sección de destilación de la nueva planta de METOR S. A.

El análisis de criticidad basado en la filosofía de MCC no se utiliza por los factores antes expuesto en el capítulo II, donde se describe la metodología, es por este motivo que para la realización de este análisis se utilizó la metodología de criticidad D.S. por ser la que más se adapta a las condiciones de operaciones de los equipos sujetos a estudio, debido a los factores que se evalúa en el área de mantenimiento y el área operacional, las cuales se describen con mas detalle en la figura 2.2. Para aplicar este análisis de criticidad, se requiere la evaluación de los factores antes mencionados y referenciados en la figura 2.2, cuyas ponderaciones se muestran en las **Tablas N° 3.2, 3.3 y 3.4.**

**Tabla N° 3.2** Ponderaciones de los factores por el área de mantenimiento.

Equipo:	ÁREA DE MANTENIMIENTO	
Factor a evaluar	Criterios	Ponderación
1) Cantidad de Fallas Ocurridas	1a) $0 \leq F \leq 3$	1
	1b) $3 < F < 5$	2
	1c) $F \geq 5$	3
2) Media de los Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)	2a) $MTFS \leq 158$	1
	2b) $158 < MTFS \leq 200$	2
	2c) $MTFS > 200$	3
3) Disponibilidad de Repuestos	3a) $DR > 80\%$	1
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$	2
	3c) $DR < 50\%$	3
4) Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo	4a) $75 \leq Cump \leq 100\%$	1
	4b) $50 \leq Cump < 75\%$	2
	4c) $0 \leq Cump \leq 50\%$	3
5) Efectividad	5a) $E \geq 80\%$	1
	5b) $50 < E \leq 80\%$	2
	5c) $0 < E \leq 50\%$	3
6) Backlog	6a) $0 \leq B \leq 1$	1
	6b) $1 < B \leq 1,5$	2
	6c) $B > 2$	3

**Tabla N° 3.3** Ponderaciones de los factores por el área operacional.

Equipo:	ÁREA OPERACIONAL	
Factor a evaluar	Criterios	Ponderación
7) Tipo de Conexión	7a) Sistema Paralelo	1
	7b) Combinación	2
	7c) Sistema Serie	3
8) Costo de Producción	8a) Igual a la Meta	1
	8b) Menor a la Meta	2
	8c) Mayor a la Meta	3
9) Seguridad del Personal, Equipo y/o Ambiente	9a) Sin Consecuencias	1
	9b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Ambiente	2
	9c) Efecto permanente sobre la Seg. y/o Ambiente	3

#### • Factores del Área de Mantenimiento

##### Frecuencia de Falla

Representa la cantidad de fallas ocurridas durante el periodo en estudio, factor N°1 de la **Tabla N° 3.1**.

##### Tiempo Fuera de Servicio (TFS)

Es el tiempo que transcurre desde que falla el equipo, hasta que vuelve a arrancar, el valor utilizado en el análisis de criticidad corresponde a la media de tiempos fuera de servicio

### **Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)**

Es el tiempo promedio que el equipo se encuentra fuera de servicio, es decir, desde que aparece una falla imputable al equipo hasta que se logra poner en marcha en el periodo a evaluar. [6]

$$MTFS = \frac{Tfs_1 + Tfs_2 + \dots + Tfs_N}{N} \quad \text{Ec (3.1)}$$

Donde:

MTFS: Media de tiempos fuera de servicio.

Tfs: Representa el tiempo fuera de servicio del equipo.

N: Cantidad de fallas ocurridas en el periodo de evaluación

### **Disponibilidad de Repuestos:**

Representa la relación entre la cantidad de repuestos solicitados por el área de mantenimiento y la cantidad de repuestos entregados por el almacén, se calcula de acuerdo a la ecuación 3.2. [6]

$$\%D.R = \frac{Cant.Satisfecha}{Cant.Demandada} \times 100 \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Donde:

DR: Disponibilidad de repuestos.

Cant. Satisfecha: es la cantidad de repuestos entregada por el almacén.

Cant. Demandada: representa la cantidad de repuestos que son solicitados por mantenimiento.

**Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo:**

Representa la relación entre las órdenes de trabajos emitidas y las ejecutadas y se calcula mediante la ecuación 3.3. [6]

$$\%C.M.P = \frac{ODT.Ejecutada}{ODTEmitidas} \times 100 \quad \text{Ec. (3.3)}$$

%C.M.P: cumplimiento de mantenimiento preventivo.

O.D.T Ejecutadas: Órdenes de trabajos ejecutadas.

O.D.T Emitidas: Órdenes de trabajos Emitidas.

**Efectividad:**

Representa las horas reales de aprovechamiento del equipo para la distribución del producto, se calcula mediante la ecuación 3.4 [6]

$$\%Efectividad = \frac{Horas.Efectivas}{Horas.Disponibles} \times 100 \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Donde:

%Efectividad: Porcentaje de efectividad.

Horas Efectivas: son las horas aprovechables del equipo.

Horas Disponibles: Son las horas disponibles para la operación del equipo.

**Backlog:**

Indica la cantidad de trabajo pendiente por realizar en un periodo determinado en función de las horas disponibles. . [6]

$$Back\ log = \frac{H - H \text{ de las ordenes de trabajo pendiente por ejecución}}{H - H \text{ Disponibles por semana}} \quad \text{E.c . (3.5)}$$

## • Factores del Área Operacional

### Tipo de conexión:

Este factor indica como están conectados los equipos dentro del proceso productivo, es decir, la secuencia en la cual los equipos deben operar para que el sistema funcione. [6]

### Costo de Reparación:

El parámetro costo de producción, fue cambiado por el costo de reparación, en vista de que en el proyecto de expansión de METOR S.A, no se cuenta con esa información y en función a esta circunstancia se decidió con los integrantes del equipo natural de trabajo ENT, efectuar la sustitución de costo de producción por el costo de reparación de equipos, logrando de esta manera adaptar mejor la metodología al contexto operacional de los equipos y las políticas de la empresa, este parámetro indica la inversión que debe realizar la organización para reactivar un equipo determinado.

### Seguridad, Higiene y Ambiente:

Para determinar este factor en cada equipo, se estimaron los efectos en la seguridad e higiene del operario, así como los efectos ambientales que pudieran generarse al momento de la ocurrencia de una falla.

$$\text{Criticidad del equipo} = [\text{K1 (Ptos área de mttto)} + \text{K2 (Ptos área operacional)}] \times 100. \quad (3.6)$$

Donde:

$$\text{K1} = 0,0270.$$

$$\text{K2} = 0,0555.$$

Los valores de K1 y K2, son los recomendados por el autor de la metodología D.S.

A continuación se presentan en la **Tabla N° 3.4** los criterios para la evaluación de criticidad de los equipos involucrado en el estudio.

**Tabla 3.4.** Criterios para la evaluación de criticidad.

(Fuente: Confima & Consultores, 2008)

Criterio	Criticidad
$(32 \leq \text{Ponderación total} < 50\%)$	No Crítico
$(50 \leq \text{Ponderación total} < 70\%)$	Semi-Crítico
$(\text{Ponderación total} \geq 70\%)$	Crítico

Para la evaluación de los factores en el área de mantenimiento y los factores en el área de operación de cada uno de los equipos rotativos que conforman la sección de destilación de metanol, fue necesario realizar una encuesta **Tabla 3.5** a cada uno de los miembros del equipo natural de trabajo (E.N.T), donde se le realizó, para obtener la información necesaria para así obtener la ponderación de cada uno de los factores evaluados y la puntuación total en el área de mantenimiento y operación.

**Tabla 3.5** Formato de encuesta, para cada miembro del E.N.T entrevistado.

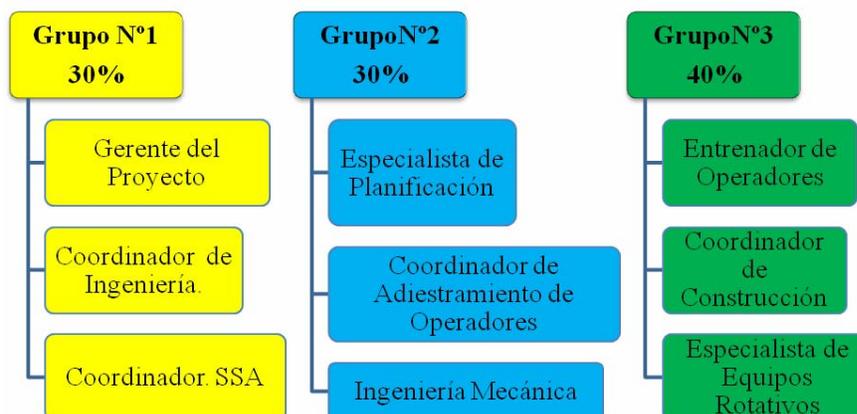
Fuente: Propia

Formato de Encuesta					
<i>Persona Entrevistada:</i>	Ali Delgado	<i>Seccion :</i>	Destilacion	<i>Equipos:</i>	P-1511
<i>Fecha :02 /12/08</i>					
ÁREA DE MANTENIMIENTO					
Factor a evaluar	Criterios	Ponderación	Preguntas		
Cantidad de Fallas Ocurridas	1a) $0 \leq F \leq 6$	1	¿Qué cantidad de falla presento este equipo al inicio de las operaciones?		
	1b) $6 < F < 12$	2			
	1c) $F \geq 12$	3			
Tiempo fuera de servicio (Tfs)	////////////////////////////////////	////////////////////////////////////	¿Cuándo ocurre la falla, que tiempo aproximadamente transcurre entre la ocurrencia y la solución de la misma?		
Media de los Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en (horas)	2a) $MTFS \leq 4$	1	////////////////////////////////////		
	2b) $4 < MTFS \leq 8$	2			
	2c) $MTFS > 8$	3			
Disponibilidad de Repuestos (DR)	3a) $DR > 80\%$	1	¿Cuándo el equipo necesita la sustitución de piezas o repuestos, cuanto es la disponibilidad en el almacén ? ¿Por cada 10 piezas demandadas, cuantas son satisfechas?		
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$	2			
	3c) $DR < 50\%$	3			
Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (Cump)	4a) $75 \leq \text{Cump} \leq 100\%$	1	¿De cada 10 Orden de Trabajo( ODT) Emitidas, cuantas son Ejecutadas?		
	4b) $50 \leq \text{Cump} < 75\%$	2			
	4c) $0 \leq \text{Cump} < 50\%$	3			
Efectividad	5a) $E \geq 80\%$	1	¿ De cada 100 Horas Disponible para operar el equipo, cuantas horas son efectivas?		
	5b) $50 \leq E < 80\%$	2			
	5c) $0 \leq E < 50\%$	3			
Backlog	6a) $0 \leq B \leq 2$	1	¿De cada 10 Horas hombres(H-H) disponibles por semanas, cuantas H-H de las ordenes de trabajos pendientes por ejecución?		
	6b) $2 < B \leq 5$	2			
	6c) $B > 5$	3			

**Tabla 3.6** Formato de encuesta, para cada miembro del E.N.T entrevistado  
(continuación).

AREA OPERACIONAL			
Tipo de Conexión	Costo de Reparacion		Seguridad del Personal, Equipos y/o Ambiente
Sistema Paralelo	De 0 a 10.000 (Dólares)		Sin Consecuencias
Combinacion	De 10.001 a 50.000 (Dólares)		Efecto Temporal Sobre la Seg y/o Amb
Sistema en serie	De 50.001 en Adelante (Dólares)		Efecto Permanente Sobre la Seg y/Amb

Debido a que el formato de encuesta tabla 3.5, se le realizó a todos los integrantes del ENT, fue necesario dividirlos en grupos y asignarle una ponderación a los resultados obtenido, de acuerdo al grado de conocimiento y experiencia con los equipos a estudiar ver **Figura N° 3.2**.



**Figura 3.2** Grupos conformados en el ENT.

**Fuente:** Propia.

Luego de realizar la encuesta y llenar la tabla 3.5, se procedió a llenar la hoja de resultados de encuestas tabla 3.6, para cada uno de los equipos rotativos objeto de estudio.

**Tabla 3.6** Hoja de Resultados de Encuestas, Realizadas a cada Integrante del E.N.T

Fuente: Propia

Grupos	ITEM: P-1511	Hoja de Resultados de Encuestas												
	Equipo : bomba vertical	TFS (Horas)	Total	Cant. De Fallas	Total	disponibilidad de repuestos (DR)	Total	cumplimiento de Mantenimiento Preventivo(CMP)	Total	Efectividad	Total	Backlog	Total	
1	A) Gerente del Proyecto Expansión													
	B) Coordinador de Ingeniería													
	C) Coordinador SSA													
2	A) Especialista de Planificación													
	B) Coordinador de Adiestramiento de Operadores													
	C) Ingeniería Mecánica													
3	A) Entrenador de Operadores													
	B) Coordinador de Construcción													
	C) Especialista de Equipos Rotativos													
<b>AREA OPERACIONAL</b>														
<b>Tipo de Conexión</b>		<b>Costo de Reparacion</b>					<b>Seguridad del Personal, Equipos y/o Ambiente</b>							
Sistema Paralelo		De 0 a 10.000 (Dólares)					Sin Consecuencias							
Combinacion		De 10.001 a 50.000 (Dólares)					Efecto Temporal Sobre la Seg y/o Amb							
Sistema en serie		De 50.001 en Adelante (Dólares)					Efecto Permanente Sobre la Seg y/Amb							

Como se puede apreciar en la figura 3.2 y la tabla 3.6, se conserva la secuencia de colores, cuando se refiere a cada uno de los grupos en particular, señalándose así:

 Grupo N°1 ;  Grupo N°2 ;  Grupo N°3.

### 3.6.5 Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).

En la realización del AMEF, fue necesario establecer las funciones principales y secundarias de los equipos rotativos que conforman la nueva sección de destilación, así como también las fallas funcionales, modos de fallas y los efectos asociados. Las funciones primarias están definidas por la razón de existencia del equipo, mientras que las funciones secundarias son todo el resto de las prestaciones del equipo.

Una vez definidas las funciones principales y secundarias bajo el contexto operacional de los equipos, se procedió a establecer los modos de fallas y los efectos para el desarrollo del AMEF. Toda esta información requerida se pudo obtener

gracias a la experiencia de los integrantes del Equipo Natural de Trabajo sobre estos equipos.

### **3.6.6 Establecimiento del tipo de mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos rotativos críticos mediante la aplicación del árbol lógico de decisión (ALD).**

Una vez realizado el AMEF a cada equipo rotativo crítico en estudio, se procedió con la ayuda del ENT a aplicar el árbol lógico de decisión (ver Apéndice D, **Figura D1**), y así seleccionar el tipo de mantenimiento que se les aplicará a los equipos rotativos críticos en las condiciones reales de operación de los mismos, con la finalidad evitar la ocurrencia de cada modo de fallas descrito en el AMEF.

### **3.6.7 Formulación de las acciones de mantenimiento correspondiente a los equipos rotativos críticos de la sección de destilación del proyecto expansión METOR S.A.**

En esta fase se formularon las acciones de mantenimiento y procedimientos que se deben aplicar para la revisión anterior a la operación, arranque y funcionamiento normal, con la finalidad de disminuir la ocurrencia de fallas potenciales de los equipos rotativos críticos de la sección de destilación del proyecto expansión METOR S.A

### **3.6.8 Redacción y presentación del trabajo.**

Esta última fase consistió en realizar la redacción del proyecto de grado de acuerdo a las normas establecidas por la Universidad de Oriente, obteniendo del mismo las conclusiones y recomendaciones mas relevante para luego realizar la presentación y defensa del mismo.

## CAPITULO 4. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS EN LA NUEVA SECCIÓN Y LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MISMOS PARA SU FUNCIONAMIENTO.

Dentro del estudio del contexto operacional de los equipos rotativos en este trabajo, es importante destacar las condiciones ambientales del lugar donde estarán operando, debido a la influencia que tienen estos factores en el deterioro acelerado de las partes de los equipos, siendo esta información de gran ayuda en el análisis de fallas y deterioro acelerado de los componentes de los equipos debido a la incidencia de factores como la temperatura, humedad ver Tabla 4.1 y las Figuras 4.2 y 4.3. Cabe mencionar también dentro de las condiciones ambientales, la cercanía que existe entre la planta y el mar Figura 4.3. Siendo la cercanía al mar, la humedad y temperatura factores que inciden directamente de manera negativa en la condiciones de operación de los equipos, así como también la presencia de sustancias corrosivas, como el polvillo de UREA proveniente de la planta adyacente a METOR S.A.

**Tabla 4.1** Resumen Meteorológico Histórico del Criogénico de JOSE CIJ Año 2009.

**Fuente:** Departamento de Meteorología del Criogénico de JOSE

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
<b>Temperatura °C</b>							
Media	30	28	27	25	25	26	27
Mínimo	24	23	23	21	22	23	23
Máximo	35	33	31	28	28	29	30
<b>Humedad %</b>							
Media	83	87	95	82	81	75	76
Mínimo	65	74	90	65	65	54	56
Máximo	100	100	100	99	97	95	96

Los equipos involucrados en este proyecto de investigación, son todos los equipos rotativos que conforman la sección de destilación del proyecto de expansión

de metanol de oriente METOR S.A. ver en la Figura 4.1 y la descripción de los mismo en la Tabla 4.2, Estos equipos son los que hacen posible que los fluidos requeridos en el proceso de destilación, fluyan a través de tuberías hasta llegar a la columna de estabilización T1501, columna de refinación T1502 y la columna de recuperación T1503, obteniendo como producto final el Metanol, que luego es enviado a los tanques de almacenamientos para su comercialización.



**Figura 4.1** Equipos Rotativos de la Sección de Destilación del Proyecto de Expansión METOR S.A

**Fuente:** Proyecto de Expansión METOR S.A

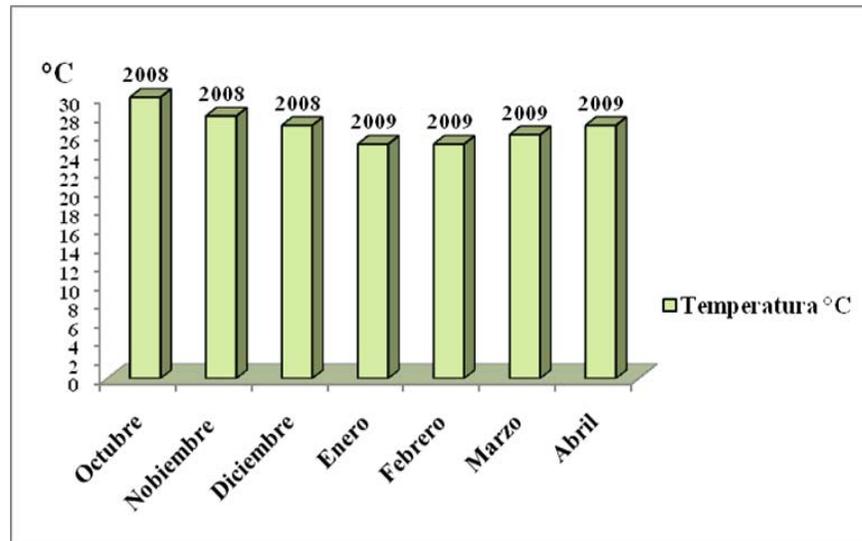
**Tabla 4.2** Equipos Rotativos de la Sección de Destilación del Proyecto de Expansión

METOR S.A

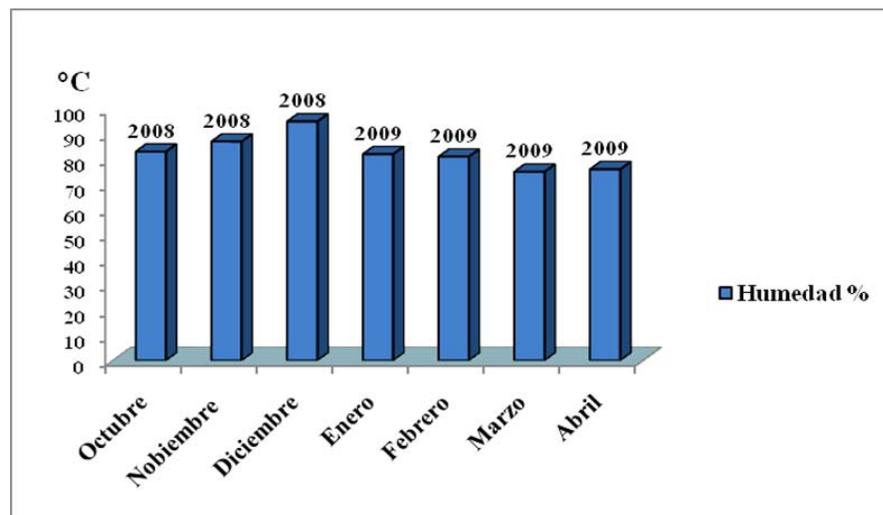
Fuente: Propia

ITEM	DESCRIPCION	MODELO	TIPO	Cant
P-1501A/B	Bomba de alimentación del cáustico para destilación	CDK302-1	Diafragma	2
P-1503A/B	Bomba de alimentación de la columna de refinación	150X100UCWM32	Centrifuga Horizontal	2
P-1504A/B	Bomba de reflujo de la columna de refinación	150X100UCWM25N	Centrifuga Horizontal	2
P-1507A/B	Bomba de transferencia de sub-productos	40X25UCWM16	Centrifuga Horizontal	2
P-1511	Bomba del tanque sumidero de destilación	50VPSM218	Centrifuga Vertical	1
P-1513A/B	Bomba de condensado de vapor del rehervidor de vapor de la columna de destilación	80X50UCWM20N	Centrifuga Horizontal	2
P-1516A/B	Bomba de fondos de la columna de recuperación	150X80UCWM40	Centrifuga Horizontal	2

Como se aprecia en la Tabla 4.2, los equipos objetos de estudio son trece (13) bombas en total, dentro de los cuales podemos apreciar tres (3) tipos de bombas diferentes, centrifugas horizontal, centrifuga vertical y de diafragma. La denominación de A/B indica que la bomba posee una auxiliar, es decir conectada en paralelo, mientras que las que no tienen esta denominación se encuentran conectadas en serie.



**Figura 4.2** Representación Gráfica del Comportamiento de la Temperatura Ambiental en el Criogénico de JOSE, Durante la Realización de este Trabajo.



**Figura 4.3** Representación Gráfica del Comportamiento de la Humedad en el Ambiente en el Criogénico de JOSE, Durante la Realización de este Trabajo.

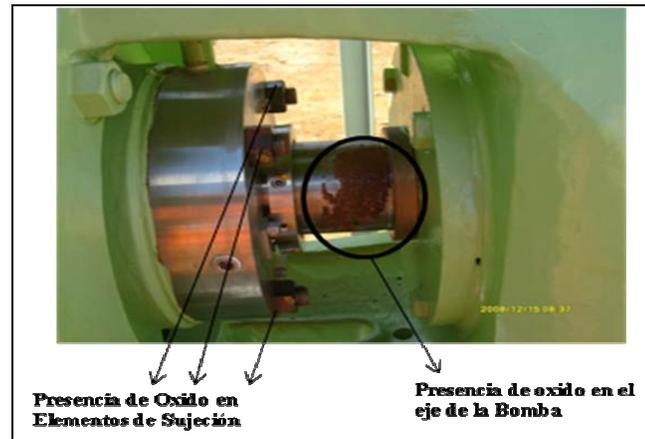
En la Figura 4.4 , se puede apreciar y sirve como referencia de la cercanía que existe entre la planta METOR S.A y el mar, reflejando así el ambiente marino al cual estarán expuesto los equipos de la nueva sección de destilación de metanol.



**Figura 4.4** Foto de la Cercanía del Proyecto de Expansión con el Mar Caribe.

**Fuente:** Proyecto de Expansión Metor S.A (2009)

Algunas de las principales consecuencias directas de la insidencia de los factores ambientales antes mencionado asociados a un ambiente marino como es el caso de la ubicación de la Planta METOR S.A , sobre equipos es la corrosión de los mismo como se aprecia en la Figura 4.5 y la Figura 4.6.



**Figura 4.5** Presencia de oxido en los elementos de sujeción y el eje de la Bomba P 1613 A/B del Proyecto de Expansión METOR S.A  
**Fuente:** Proyecto de Expansión METOR S.A (2009)



**Figura 4.6** Presencia de Corrosión y deterioro del Casco de la bomba P 503 de la Planta en Operación de METOR S.A  
**Fuente:** METOR S.A (2009)

#### 4.1.1 Especificaciones, Uso y Funcionamiento de los Equipos Rotativos que Conforman la Nueva Sección de Destilación, Proyecto Expansión METOR S.A.

Para recabar la información necesaria, referente a detalles mecánicos, operación, uso y funcionamiento de cada uno de los equipos objeto de estudio **Tabla N° 4.3**, fue necesario el uso de las técnicas de recolección de datos descrita anteriormente en el capítulo III de este trabajo.

**Tabla 4.3.** Especificaciones, Uso y Funcionamiento de la Bomba P1501 A/B

**Fuente:** Propia

 <b>DESCRIPCION DEL EQUIPO</b>					
EQUIPO:	P-1501 A/B	SECCION:	1500	CANTIDAD:	2
CATEGORIA:	BOMBA RECIPROCANTE (DOSIFICADORA)				
SERVICIO:	SOLUCION CAUSTICA AL 15 % (SODA CAUSTICA + AGUA)				
<b>CARACTERISTICAS:</b>					
<b>OPERACION</b>			<b>DETALLES MECANICOS</b>		
FLUJO DE OPERACION:	74 Kg/h	MATERIAL DE LA CARCAZA:	ACERO AL CARBONO FC 200		
FLUJO MAXIMO:	85 Kg/h	MATERIAL DEL IMPELE:	ACERO INOXIDABLE 316SS		
PRESION DESCARGA:	5,38 Kg/cm <sup>2</sup>	DIAMETRO BOQUILLA DE SUCCION:	3/4 "		
PRESION SUCCION:	0,07 Kg/cm <sup>2</sup>	DIAMETRO BOQUILLA DE DESCARGA:	3/4 "		
PRESION DIFERENCIAL:	5,31 Kg/cm <sup>2</sup>	ALTURA TOTAL:	745 mm		
ALTURA DE BOMBEO:	45 m	LONGITUD TOTAL:	450 mm		
<b>DISEÑO</b>			ANCHURA TOTAL:		
			550 mm		
TIPO:	DIAFRAGMA				

**Uso:** Bomba dosificadora de solución de soda cáustica (NaOH) al 15%, que succiona desde el tanque con dique contorno TK-1501 hacia el tope de la torre de destilación T-1501 para el control del PH en la sección de destilación.

**Funcionamiento:** Esta bomba reciprocante dosifica de manera controlada un flujo continuo de soda cáustica hasta el tope de la torre de destilación T-1501 con el objetivo de controlar el PH en la sección de destilación. Normalmente opera una de las bombas de forma continua y la otra permanece en reserva, el operador asignado realiza el ajuste a la bomba de acuerdo a la tendencia de los indicadores de PH por medio de un tornillo STROKE con el cual se puede aumentar o disminuir el flujo. Ambas bombas son movidas por motores eléctricos.

**Observaciones:** Esta bomba posee sellos mecánicos, los ajustes en la dosificación son realizados manualmente por el operador, quien utiliza un traje anti químico, están dentro del perímetro del dique que rodea al tanque TK-1501.

**Tabla 4.4.** Especificaciones, Uso y Funcionamiento de la Bomba P1503A/B

**Fuente:** Propia

 <b>DESCRIPCION DEL EQUIPO</b>			
EQUIPO:	P-1503 A/B	SECCION:	1500
		CANTIDAD:	2
CATEGORIA:	BOMBA CENTRIFUGA		
SERVICIO:	METANOL CRUDO		
<b>CARACTERISTICAS:</b>			
<b>OPERACIÓN</b>		<b>DETALLES MECANICOS</b>	
FLUJO DE OPERACION:	175 m3/h	MATERIAL DE LA CARCAZA:	ACERO INOXIDABLE 304SS
FLUJO MAXIMO:	205 m3/h	MATERIAL DEL IMPELE:	ACERO INOXIDABLE 304SS
PRESION DESCARGA:	11,30 Kg/cm2	DIAMETRO BOQUILLA DE SUCCION:	6"
PRESION SUCCION:	1,17 Kg/cm2	DIAMETRO BOQUILLA DE DESCARGA:	4"
PRESION DIFERENCIAL:	10,13 Kg/cm2	ALTURA TOTAL:	1100 mm
ALTURA DE BOMBEO:	131 m	LONGITUD TOTAL:	2783 mm
		ANCHURA TOTAL:	1180 mm

**Uso:** Bomba de alimentación de metanol crudo hacia la columna de refinación T-1502, corriente posteriormente es refinada para la producción de metanol.

**Funcionamiento:**

Esta bomba centrífuga succionan el metanol crudo desde el fondo de la columna estabilizadora t-1501 en donde ha sido despojado de los componentes livianos y lo envía como alimentación continua hacia la columna de refinación T-1502 en donde es sometido a un proceso de fraccionamiento ( destilación ) para la obtención de metanol producto. Normalmente opera una de las bombas y la otra está en reserva. Ambas bombas son movidas por motores eléctricos.

**Observaciones:** Esta bomba posee sellos mecánicos y cubiertas laterales para la protección de los mismos. La información técnica referente a detalles mecánicos, operación, uso y funcionamiento de los demás equipos se encuentran en el apéndice A.

#### **4.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS QUE CONFORMARÁN LA SECCIÓN DE DESTILACIÓN DE LA NUEVA PLANTA DE METOR S. A.**

Este estudio se realizó con la finalidad de jerarquizar los equipos rotativos que conformaran la sección de destilación y así enfocar todo el esfuerzo a los equipos que más lo requieran. Para este análisis se utilizó la matriz de criticidad D.S como se explicó en el capítulo III de este trabajo. Toda la información recabada para realizar este estudio, se basa fundamentalmente en la experiencia adquirida por cada uno de los integrantes del (E.N.T) descrito en el capítulo III, en la operación de la planta existente y ahora la construcción de la nueva planta o “Proyecto de Expansión METOR S.A”

Luego de realizada la encuesta, a cada uno de los integrantes del E.N.T, sobre la bomba P-1511, se vacio toda la información en la hoja de resultados de encuestas Tabla 4.10, donde se obtuvo la información mostrada.

**Tabla 4.10.** Resultado de las Encuestas Realizadas al ENT.

Fuente: Propia

Grupos	ITEM: P-1511		Hoja de Resultados de la Encuesta					
	Equipo : bomba vertical		TFS (Horas)	Cant. De Fallas	disponibilidad de repuestos (DR)	cumplimiento de Mantenimiento Preventivo(CMP)	Efectividad(Horas)	Backlog
1	1A)	Gerente del Proyecto Expansión	7	2	9	10	95	2
	1B)	Coordinador de Ingeniería	8	2	8	10	80	2
	1C)	Coordinador SSA	8	2	8	10	80	2
2	2A)	Especialista de Planificación	9	3	8	8	70	2
	2B)	Coordinador de Adiestramiento de Operadores	9	3	8	8	70	2
	2C)	Ingeniería Mecánica	9	3	7	8	70	2
3	3A)	Entrenador de Operadores	9	2	7	8	80	2
	3B)	Coordinador de Construcción	10	3	7	9	80	2
	3C)	Especialista de Equipos Rotativos	10	3	7	9	80	2

Debido a la cantidad de equipos rotativos (13), se presenta a continuación la aplicación de la matriz de criticidad por la metodología D.S. para la bomba P-1511, las hojas de resultados del resto de los equipos se encuentra en el apéndice B de este trabajo.

Como ejemplo de cálculo se utilizará la información brindada por el gerente del proyecto de expansión (encuestado 1A), como se observa en la tabla N° 4.10.

- **Cantidad de falla ocurrida:**

**Tabla 4.11** Sumatoria de números de fallas de cada grupo (Cant Falla).

Grupo N°1		Grupo N°2		Grupo N°3 Ponderación:	
Ponderación: 30%		Ponderación: 30%		40%	
Encuestado	Resultado (Cant Falla)	Encuestado	Resultado (Cant Falla)	Encuestado	Resultado (Cant Falla)
1A	2	2A	3	3A	2
1B	2	2B	3	3B	3
1C	2	2C	3	3C	3
$\Sigma$ falla(1A,1B,1C)=	6	$\Sigma$ Falla(2A,2B,2C)=	9	$\Sigma$ Falla(3A,3B,3C)=	8

$$\text{Falla (Grupo 1)} = (\Sigma (1A, 1B, 1C) * 30\%) / 100\% = (6*30\%)/100\% = 1,8 \text{ fallas}$$

$$\text{Falla (Grupo 2)} = (\Sigma (2A, 2B, 2C) * 30\%) / 100\% = (9*30\%)/100\% = 2,7 \text{ fallas}$$

$$\text{Falla (Grupo 3)} = (\Sigma (3A, 3B, 3C) * 40\%) / 100\% = (8*40\%)/100\% = 3,2 \text{ fallas}$$

$$\text{N}^\circ \text{ Falla} = (\text{Falla (Grupo 1)} + \text{Falla (Grupo 2)} + \text{Falla (Grupo 3)}) / \text{N}^\circ$$

$$\text{N}^\circ \text{ Falla} = (1,8 + 2,7 + 3,2) / 3 = 2,57$$

- **Tiempos Fuera de Servicio TFS (Horas)**

Con los datos obtenidos en la Tabla 4.10, referentes al tiempo fuera de servicio, se procede a determinar la sumatoria de los TFS por cada grupo, como se observa en la Tabla 4.12.

**Tabla 4.12** Sumatoria de los Tiempos Fuera de Servicio TFS de cada grupo (Horas).

<b>Grupo N°1</b>		<b>Grupo N°2</b>		<b>Grupo N°3 Ponderación:</b>	
<b>Ponderación: 30%</b>		<b>Ponderación: 30%</b>		<b>40%</b>	
Encuestado	Resultado (horas)	Encuestado	Resultado (horas)	Encuestado	Resultado (horas)
1A	7	2A	9	3A	9
1B	8	2B	9	3B	10
1C	8	2C	9	3C	10
<b>Σ TFS(1A,1B,1C)=</b>	<b>23</b>	<b>Σ TFS(2A,2B,2C)=</b>	<b>27</b>	<b>Σ TFS(3A,3B,3C)=</b>	<b>29</b>

Calculado el total en horas de los TFS por cada grupo, se procede a determinar el TFS definitivo por cada Grupo, en función a la ponderación asignada a cada uno de ellos, como se explica previamente en el capítulo III.

$$\text{TFS (Grupo 1)} = (\Sigma (1A, 1B, 1C) * 30\%) / 100\% = (23*30\%)/100\% = 6,9 \text{ horas}$$

$$\text{TFS (Grupo 2)} = (\Sigma (2A, 2B, 2C) * 30\%) / 100\% = (27*30\%)/100\% = 8,1 \text{ horas}$$

$$\text{TFS (Grupo 3)} = (\Sigma (3A, 3B, 3C) * 40\%) / 100\% = (29*40\%)/100\% = 11,6 \text{ horas}$$

- **Media de los Tiempos Fuera de Servicio MTFS (Horas)**

$$\text{MTFS} = (\text{TFS (Grupo 1)} + \text{TFS (Grupo 2)} + \text{TFS (Grupo 3)}) / N^{\circ}$$

$$\text{MTFS} = (6,9 + 8,1 + 11,6) / 3$$

$$\text{MTFS} = 8,87 \text{ horas}$$

- **Disponibilidad de Repuesto D.R:**

El cálculo de la disponibilidad de repuesto DR por cada encuestado en función a la información recabada en la encuesta realizada a cada uno de ellos Tabla 4.10, se realiza de la siguiente manera:

**Cálculo de la disponibilidad de Repuesto del Encuestado ( 1A):**

$$\text{Cantidad demandada} = 10$$

$$\text{Cantidad satisfecha} = 9$$

$$\text{DR (1A)} = (8/10) = 0,9$$

**Tabla 4.13** Sumatoria de la disponibilidad de repuestos DR de cada grupo.

<b>Grupo N°1</b>		<b>Grupo N°2</b>		<b>Grupo N°3</b>	
<b>Ponderación: 30%</b>		<b>Ponderación: 30%</b>		<b>Ponderación: 40%</b>	
Encuestado	Resultado	Encuestado	Resultado	Encuestado	Resultado
1A	0,9	2A	0,8	3A	0,7
1B	0,8	2B	0,8	3B	0,7
1C	0,8	2C	0,7	3C	0,7
<b>Σ DR(1A,1B,1C)=</b>	<b>2,5</b>	<b>Σ DR(2A,2B,2C)=</b>	<b>2,3</b>	<b>Σ DR(3A,3B,3C)=</b>	<b>2,1</b>

Calculado el total de la disponibilidad de repuestos (DR) por cada grupo, se procede a determinar el DR definitivo por cada Grupo, en función a la ponderación asignada a cada uno de ellos, como se explica previamente en el capítulo III.

$$\text{DR Grupo N°1} = (\Sigma \text{DR}(1A,1B,1C) * 30\%) / 100\% = (2,5 * 30\%) / 100\% = 0,75$$

$$\text{DR Grupo N°2} = (\Sigma \text{DR}(2A,2B,2C) * 30\%) / 100\% = (2,3 * 30\%) / 100\% = 0,69$$

$$\text{DR Grupo N}^\circ\text{3} = (\Sigma \text{DR}(3\text{A},3\text{B},3\text{C}) * 40\%) / 100\% = (2,1 * 40\%) / 100\% = 0,84$$

$$\% \text{DR} = ( (\text{DR Grupo N}^\circ\text{1} + \text{DR Grupo N}^\circ\text{2} + \text{DR Grupo N}^\circ\text{3} ) / \text{N}^\circ ) * 100 \%$$

$$\% \text{DR} = ( (0,75 + 0,69 + 0,84) / 3 ) * 100\% = 76\%$$

- **Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo CMP:**

El cálculo de Cumplimiento del mantenimiento preventivo CMP por cada encuestado en función a la información recabada en la encuesta realizada a cada uno de ellos Tabla 4.10, se realizó de la siguiente manera:

**Calculo del Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo del Encuestado ( 1A):**

ODT Emitidas = 10

ODT Ejecutadas= 10

$$\text{CMP (1A)} = (10/10) = 1$$

**Tabla 4.14** Sumatoria del Cumplimiento del mantenimiento preventivo CMP de cada grupo.

Grupo N°1		Grupo N°2		Grupo N°3	
Ponderación: 30%		Ponderación: 30%		Ponderación: 40%	
Encuestado	Resultado	Encuestado	Resultado	Encuestado	Resultado
1A	1	2A	0,8	3A	0,8
1B	1	2B	0,8	3B	0,9
1C	1	2C	0,8	3C	0,9
$\Sigma \text{CMP (1A,1B,1C)} =$	3	$\Sigma \text{CMP (2A,2B,2C)} =$	2,4	$\Sigma \text{CMP (3A,3B,3C)} =$	2,6

Calculado el total de Cumplimiento del mantenimiento preventivo CMP por cada grupo, se procede a determinar el CMP definitivo por cada Grupo, en función a la ponderación asignada a cada uno de ellos, como se explica previamente en el capítulo III.

$$\text{CMP Grupo N}^{\circ}1 = (\Sigma \text{CMP (1A,1B,1C)} * 30\%) / 100\% = (3 * 30\%) / 100\% = 0,9$$

$$\text{CMP Grupo N}^{\circ}2 = (\Sigma \text{CMP (2A,2B,2C)} * 30\%) / 100\% = (2,4 * 30\%) / 100\% = 0,72$$

$$\text{CMP Grupo N}^{\circ}3 = (\Sigma \text{CMP (3A,3B,3C)} * 40\%) / 100\% = (2,6 * 40\%) / 100\% = 1,04$$

$$\% \text{ CMP} = ((\text{CMP Grupo N}^{\circ}1 + \text{CMP Grupo N}^{\circ}2 + \text{CMP Grupo N}^{\circ}3) / \text{N}^{\circ}) * 100 \%$$

$$\% \text{ CMP} = ((0,9 + 0,72 + 1,04) / 3) * 100\% = 88,67\%$$

- **Efectividad E:**

El cálculo de la Efectividad (E), por cada encuestado en función a la información recabada en la encuesta realizada a cada uno de ellos Tabla 4.10, se realizará de la siguiente manera:

**Cálculo de la Efectividad del Encuestado ( 1A):**

Horas Disponible= 100

Horas Efectivas= 95

$$E (1A) = (95/100) = 0,95$$

**Tabla 4.15** Sumatoria de la Efectividad E de cada grupo.

<b>Grupo N°1</b>		<b>Grupo N°2</b>		<b>Grupo N°3</b>	
<b>Ponderación: 30%</b>		<b>Ponderación: 30%</b>		<b>Ponderación: 40%</b>	
Encuestado	Resultado	Encuestado	Resultado	Encuestado	Resultado
1A	0,95	2A	0,7	3A	0,8
1B	0,8	2B	0,7	3B	0,8
1C	0,8	2C	0,7	3C	0,8
<b>ΣE (1A,1B,1C)=</b>	<b>2,55</b>	<b>Σ E(2A,2B,2C)=</b>	<b>2,1</b>	<b>Σ E (3A,3B,3C)=</b>	<b>2,4</b>

Calculado el total de la Efectividad (E) por cada grupo, se procedió a determinar la efectividad (E) definitivo por cada Grupo, en función a la ponderación asignada a cada uno de ellos, como se explica previamente en el capítulo III.

$$E \text{ Grupo N}^{\circ}1 = (\Sigma E(1A,1B,1C) * 30\%) / 100\% = (2,55 * 30\%) / 100\% = 0,765$$

$$E \text{ Grupo N}^{\circ}2 = (\Sigma E(2A,2B,2C) * 30\%) / 100\% = (2,1 * 30\%) / 100\% = 0,63$$

$$E \text{ Grupo N}^{\circ}3 = (\Sigma E(3A,3B,3C) * 40\%) / 100\% = (2,4 * 40\%) / 100\% = 0,96$$

$$\% E = (E \text{ Grupo N}^{\circ}1 + E \text{ Grupo N}^{\circ}2 + E \text{ Grupo N}^{\circ}3) / N^{\circ} * 100 \%$$

$$\% E = (0,765 + 0,63 + 0,96) / 3 * 100\% = 78,5 \%$$

- **Backlog:**

Para la información necesaria para la evaluación de este parámetro todos los integrantes del ENT, se basaron en la experiencia del especialista de planificación, el cual se estableció el valor máximo permitido en esta organización, para este parámetro es un valor de dos (2).

**Tabla 4.16.** Factores evaluados para el área de Mantenimiento de la matriz de Criticidad D.S.

Equipo: P-1511		Marca: EBARA			
Tipo: Bomba Centrifuga		Sección: 1500 Destilación			
Área De Mantenimiento			2009-2010		
Factor a evaluar	Criterio		Ponderación	C. Selecc.	Punto
1) Cantidad de Fallas Ocurridas.	<b>Rotativo</b>				
	1a)	$0 \leq F \leq 6$	1	1a	1
	1b)	$6 < F < 12$	2		
	1c)	$F \geq 12$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de Servicio (MTFS) en horas.	2a)	$MTFS \leq 4$	1	2c	3
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$	2		
	2c)	$MTFS > 8$	3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR).	3a)	$DR \geq 80\%$	1	3b	2
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$	2		
	3c)	$DR < 50\%$	3		
4) Cumplimiento de 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	5b	2
	5b)	$50\% \leq E < 80\%$	2		
	5c)	$0\% \leq E < 50\%$	3		
6) Backlog (B).	6a)	$0 \leq B \leq 2$	1	6a	1
	6b)	$2 < B \leq 5$	2		
	6c)	$B > 5$	3		
<b>Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento</b>					<b>10</b>

**Tabla 4.17.** Factores Evaluados para el Área Operacional de la Matriz de Criticidad D.S

<b>Equipo: P-1511</b>		<b>Marca: EBARA</b>			
<b>Tipo: Bomba Centrifuga Vertical</b>		<b>Sección: 1500 Destilación</b>			
<b>Área Operacional</b>			<b>2009-2010</b>		
<b>Factor a evaluar</b>	<b>Criterio</b>	<b>Ponderación</b>	<b>C. Selecc.</b>	<b>Puntos</b>	
7) Tipo de Conexión	7a) Sistema Paralelo	1	7c	3	
	7b) Combinación	2			
	7c) Sistema Serie	3			
8) Costo de Reparación	8a) De 0 a 10.000 (Dólares)	1	8b	2	
	8b) De 10.001 a 50.000 (Dólares)	2			
	8c) De 50.001(Dólares) en Adelante	3			
9) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	9a) Sin Consecuencias	1	9c	3	
	9b) Efecto temporal sobre la	2			
	9c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3			
<b>Total puntos obtenidos en el área operacional</b>				<b>8</b>	

Evaluado la ecuación 3.6 con los puntos obtenidos en el área de mantenimiento y el área operacional en la matriz de criticidad D.S para la bomba P1511 **Tabla N°4.16** y **Tabla 4.17**, se obtiene el siguiente valor de criticidad.

$$\text{Criticidad} = ((0,0270 * 10) + (0,0555 * 8)) * 100\% = 71 \%$$

Los resultados de los demás equipos se encuentran en la **Tabla 4.18**, La demostración de criticidad para el resto de los equipos se encuentra en el apéndice C

**Tabla 4.18** Niveles de Criticidad de los Equipos en Estudio.

<i>Nivel de Criticidad</i>	<i>Equipo</i>	<i>Porcentaje de Criticidad</i>
Semi-critico	P-1501 A	51,8%
Semi-critico	P-1501 B	51,8%
No critico	P-1503 A	49,1%
No critico	P-1503 B	49,1%
No critico	P-1504 A	46,4%
No critico	P-1504 B	46,4%
Semi-critico	P-1507 A	57,3%
Semi-critico	P-1507 B	57,3%
critico	P-1511	71%
Semi-critico	P-1513 A	51,9%
Semi-critico	P-1513B	51,9%
Critico	P1516 A	70,9%
Critico	P-1516 B	70,9%

#### **4.3. ANÁLISIS DE LOS MODOS Y EFECTO DE FALLAS EN LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS DE LA SECCIÓN DE DESTILACIÓN DE METANOL.**

Una vez obtenidos los equipos rotativos críticos se procedió a elaborar el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), basado en la experiencia del equipo natural de trabajo sobre las funciones de los mismo, las causas potenciales de fallas y los efectos que originaran a los equipos rotativos críticos asociados al proceso de destilación de metanol, y en aspecto como la producción, seguridad y medio ambiente. **Tablas 4.19 y 4.20.**

**Tabla 4.19** Analisis de Modo y efecto de Falla(AMEF) de la bomba 1511

<b>Hoja de Información</b>		<b>Sistema: Destilación-Sección 1500</b>		<b>Realizado Por:</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hoja</b>
		<i>Metanol de Oriente S.A</i>		<i>Francisco Moya</i>	<b>Día:07</b>	<b>1</b>
		<b>Equipo: Bomba Centrifuga vertical</b>		<b>Revisado Por:</b>	<b>Mes:01</b>	<b>de</b>
		<b>Ítem : P-1511</b>		<i>Ing. Luis Salazar</i>	<b>Año:09</b>	<b>2</b>
<b>N°</b>	<b>FUNCIONES</b>	<b>FALLAS FUNCIONALES</b>		<b>MODOS DE FALLAS</b>	<b>EFFECTOS DE FALLAS</b>	
<b>1</b>	Bompear los condensados de metanol desde el tanque sumidero TK-1502 hacia el tanque de almacenamiento de metanol crudo TK-802 B. a un flujo de 3m <sup>3</sup> /h y una presión de 3.55 kg/cm <sup>2</sup> .	A	No Bombea	<p><b>1</b> Mala conexión del cableado que suministra la electricidad al motor eléctrico</p> <p><b>2</b> No hay el voltaje o corriente necesaria para el funcionamiento del motor eléctrico.</p> <p><b>3</b> Filtro de tubería de carga obstruido</p> <p><b>4</b> Rodamiento Trancado</p>	<p>Al momento del arranque de la Bomba, el motor no encienda, debido a un corto, provocando la quema del fusible y por ende la paralización del equipo, influyendo directamente en la producción de metanol.</p> <p>Por insuficiente corriente o voltaje el motor eléctrico no arranca, ocasionando que la bomba no funcione ocasionando que no se transfiera el metanol proveniente de las toma de muestra y de purga al tanque de almacenamiento TK-802 B. impactando en la producción , seguridad y medio ambiente</p> <p>Se puede generar el fenómeno de cavitación, generando ceberos daños al impulsor de la bomba así como recalentamiento del sello mecánico. Impactando en la producción y medio ambiente</p> <p>Paralización del motor eléctrico, lo cual detiene el proceso productivo y a su vez acorta la vida útil del equipo.</p>	



**Tabla 4.21** Analisis de Modo y efecto de Falla(AMEF) de la bomba 1511 (Continuacion)

Hoja de Información		Sistema: <i>Destilación-Sección 1500</i>		Realizado Por:	Fecha	Hoja	
		<i>Metanol de Oriente S.A</i>		<i>Francisco Moya</i>	<b>Día:15</b>	<b>2</b>	
		Equipo: Bomba Centrifuga vertical		Revisado Por:	<b>Mes:01</b>	<b>de</b>	
		Ítem : <i>P-1511</i>		<i>Ing. Luis Salazar</i>	<b>Año:09</b>	<b>2</b>	
Nº	FUNCIONES	FALLAS FUNCIONALES		MODOS DE FALLAS		EFECTOS DE FALLAS	
1		B	El caudal es menor a 3m <sup>3</sup> /h	1	Válvula de descarga cerrada	Genera daños en el equipo debido al aumento de temperatura del líquido, promoviendo la corrosión.	
				2	empaque roto	Pérdida de fluido y por ende no se transfiere el caudal necesario para el proceso	
				3	Impulsor obstruido.	No gira a las rpm necesaria para garantizar el caudal requerido para el proceso, y generando a su vez un recalentamiento del motor.	
		C	La presión es menor a 3.55 kg/cm <sup>2</sup> .	1	El filtro del tubo de succión está obstruido o sucio	Lo cual ocasiona la pérdida de la capacidad del equipo, forzar mas el equipo para vencer esta perdida hidráulica generándose un desgaste prematuro.	
				2	El instrumento de medida defectuoso	No se indica la presión real de descarga, generando confusión y la toma de un mal registró por parte del operador del equipo.	
				3	La revolución es inversa	El impeler gira en la dirección contraria al diseño del equipo, no garantizando así la presión requerida.	

**Tabla 4.22** Analisis de Modo y efecto de Falla(AMEF) de la bomba 1516A/B.

<b>Hoja de Información</b>		<b>Sistema: Destilación-Sección 1500</b>		<b>Realizado Por:</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hoja</b>
		<i>Metanol de Oriente S.A</i>		<i>Francisco Moya</i>	<b>Día:21</b>	<b>1</b>
		<b>Equipo: Bomba Centrifuga vertical</b>		<b>Revisado Por:</b>	<b>Mes:01</b>	<b>de</b>
		<b>Ítem : P-1516A/B</b>		<i>Ing. Luis Salazar</i>	<b>Año:09</b>	<b>3</b>
<b>N°</b>	<b>FUNCIONES</b>	<b>FALLAS FUNCIONALES</b>		<b>MODOS DE FALLAS</b>		<b>EFFECTOS DE FALLAS</b>
<b>1</b>	Bombear agua desde el fondo de la columna de refinación T-1503, con un caudal de 32 m <sup>3</sup> /h y una presión de 28, 18 Kg/cm <sup>2</sup> hasta el saturador de gas natural N° 01 (E-1223).	A	No Bombea	<b>1</b>	No hay la potencia eléctrica requerida	Al no suplir la potencia eléctrica requerida por el motor eléctrico la bomba no arranca, ocasionando una interrupción del proceso de destilación.
<b>2</b>	Válvula cerradas en las tubería de succión			El fluido no es bombeado, logrando una interrupción de proceso, y ocasionando que el equipo trabaje en vacío, lo que conlleva a un incremento de la temperatura, ruido y vibración.		
<b>3</b>	Válvula cerrada en la tubería de descarga			Generar daños en el equipo debido al aumento de la temperatura del líquido en la bomba, lo que lleva a la generación de vapor o promueve la corrosión.		
<b>4</b>	Presencia de aire en la tubería de succión.			Al arrancar el equipo, trabaja vacío, generando un incremento de las vibraciones, temperatura y ruido, impactando negativamente en componentes mecánicos del equipo como: cojinetes y sello mecánico.		
<b>5</b>	Acople Roto			Se generan altas vibraciones entre el motor y la bomba, ocasionando daños en el eje de la misma, impactando la producción.		



**Tabla 4.20** Analisis de Modo y efecto de Falla(AMEF) de la bomba P-1516A/B (Continuación)

Hoja de Información		Sistema: <i>Destilación-Sección 1500</i>		Realizado Por:	Fecha	Hoja
		<i>Metanol de Oriente S.A</i>		<i>Francisco Moya</i>	Día:03	2
		Equipo: Bomba Centrifuga vertical		Revisado Por:	Mes:02	de
		Ítem : <i>P-1516</i>		<i>Ing. Luis Salazar</i>	Año:09	3
						
Nº	FUNCIONES	FALLAS FUNCIONALES		MODOS DE FALLAS		EFECTOS DE FALLAS
1		B	El caudal es menor a 32 m <sup>3</sup> /h	1	Ruptura del sello mecánico	Pérdida de fluido y por ende no se transfiere el caudal necesario para le proceso, por lo que debe paralizarse el equipo como me día de seguridad hacia el personal y protección del medio ambiente.
				2	Impulsor atorado con material extraño.	La bomba no gira, lo que genera una sobrecarga en el motor eléctrico, impactando negativamente en la vida útil del estator.
				3	Dirección de rotación incorrecta	Sobrecarga e incremento de la temperatura del motor, debido a la mala ventilación, por el giro incorrecto de los alavés del sistema de enfriamiento del mismo, ubicado en la parte posterior del motor.
				4	Álabes del impulsor desgastados.	Los álabes desgastados en el impulsor, provocan el deslizamiento y recirculación del producto, lo que se traduce en una pérdida de la capacidad de bombeo.

**Tabla 4.20** Analisis de Modo y efecto de Falla(AMEF) de la bomba P-1516A/B (Continuación)

Hoja de Información		Sistema: <i>Destilación-Sección 1500</i>		Realizado Por:	Fecha	Hoja	
		<i>Metanol de Oriente S.A</i>		<i>Francisco Moya</i>	Día:08	3	
		Equipo: Bomba Centrifuga vertical		Revisado Por:	Mes:02	de	
		Ítem : <i>P-1516A/B</i>		<i>Ing. Luis Salazar</i>	Año:09	3	
N°	FUNCIONES	FALLAS FUNCIONALES		MODOS DE FALLAS		EFECTOS DE FALLAS	
1		C	La presión de descarga es menor a 28, 18 Kg/cm <sup>2</sup>	1	Filtro en la tubería de succión tapado.	El fluido no es bombeado a la presión requerida por el proceso, debido a la obstrucción del fluido al entrar al equipo, lo que genera que el equipo trabaje mas forzado y desgaste prematuro del motor eléctrico.	
	2			Desgaste del estator del motor eléctrico.	El motor transfiere potencia menor a la requerida por el rodete para impulsar el agua, por lo tanto este fluido es impulsado con poca energía, no satisfaciendo el requerimiento de presión del proceso.		
	3			Rotura del sellos.	Al haber salida de fluido en el equipo, se pierde presión y esta no alcanza la carga requerida para el proceso, generando la paralización del equipo y poniendo en marcha el equipo conectado en paralelo.		
	4			Desgaste prematuro de los rodamientos.	Se generan sobrecalentamiento en los mismos, ruidos y altas vibraciones, lo que conlleva a una pérdida en las capacidades de operación del equipo y sobrecargas del motor eléctrico, impactando negativamente en la vida útil de equipo y en la producción.		

#### 4.4. APLICACIÓN DEL ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN A LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS DE LA NUEVA SECCIÓN DE DESTILACIÓN DE METANOL.

Con la información obtenida al realizar el AMEF a los equipos rotativos críticos, se procedió a aplicar el Árbol lógico de decisión, para determinar el tipo de mantenimiento que se les aplicará a los equipos.

Tabla 4.21 Hoja de Trabajo de MCC, de la Bomba P-1511.

			<h2 style="text-align: center;">HOJA DE TRABAJO DE MCC</h2>													
MCC Hoja de Trabajo			Sistema: <i>Sección de Destilación de Metanol</i>						Realizado por:			<i>Francisco Moya</i>		Hoja _1_ de _2_		
			Equipo: <i>P-1511</i>						Revisado por:			<i>Luis Salazar</i>				
Información referencia			Consecuencia evaluación				H1	H2	H3	Tareas a falta de			Actividades Propuestas			
F	F	M	H	S	E	O	S1	S2	S3	BF	NMP	R				
	F	F					O1	O2	O3							
							E1	E2	E3							
1	A	1	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Inspeccionar la conexión eléctrica del equipo.			
1	A	2	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear el voltaje que se suministra al equipo.			
1	A	3	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear visualmente la configuración del sistema de válvulas del equipo.			
1	A	4	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear que el tanque sumideroTK-1502, contienen fluido.			
1	B	1	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear que el tanque sumideroTK-1502, contienen fluido.			
1	B	2	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear/ si es necesario sustituir el empaque por uno nuevo			
1	B	3	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Inspeccionar visualmente y limpiar el impulsor			

**Tabla 4.22** Hoja de Trabajo de MCC, de la Bomba P-1511. (Continuación)

			<h2>HOJA DE TRABAJO DE MCC</h2>														
MCC Hoja de Trabajo			Sistema: <i>Sección de Destilación de Metanol</i>							Realizado por:		Fecha:		Hoja _2_ de _2_			
			Equipo: P-1511							Francisco Moya							
Información referencia			Consecuencia evaluación				H1	H2	H3	Tareas a falta de				Actividades Propuestas			
							S1	S2	S3								
F	F	M	H	S	E	O	O1	O2	O3	BF	NMP	R					
	F	F					E1	E2	E3								
1	C	1	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear/si es necesario cambiar el filtro por uno nuevo				
1	C	2	N	N	N	N	S	/	/	/	/	/	Chequear que los instrumentos de medidas funcionan correctamente.				
1	C	3	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear el sentido de giro del motor.				

Tabla 4.23. Hoja de Trabajo de MCC, de la Bomba P-1516 A/B.

MCC Hoja de Trabajo			Sistema: <i>Sección de Destilación</i>										Realizado por:		Fecha:		Hoja 1_ de 2_	
			Equipo: <i>P-1516 A/B</i>										Francisco Moya					
													Revisado por:		Fecha:			
													Luis Salazar					
Información referencia			Consecuencia evaluación				H1	H2	H3	Tareas a falta de				Actividades Propuestas				
F	F	M	H	S	E	O	S1	S2	S3	BF	NMP	R						
	F	F					O1	O2	O3									
							E1	E2	E3									
1	A	1	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear el voltaje que se suministra al equipo.					
1	A	2	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear visualmente la configuración del sistema de válvulas del equipo.					
1	A	3	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear visualmente la configuración del sistema de válvulas del equipo.					
1	A	4	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chuequear que tanto el equipo, como la tubería de succión contienen fluido.					
1	A	5	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear el acople/ sustituir si es necesario.					

**Tabla 4.24.** Hoja de Trabajo de MCC, de la Bomba P-1516 A/B (Continuación).

			<h2 style="text-align: center;">HOJA DE TRABAJO DE MCC</h2>											
Equipo: <i>P-1516 A/B</i>										Revisado por:	Fecha:			
										Tareas a falta de			Actividades Propuestas	
Información referencia	Consecuencia evaluación						H1	H2	H3					
	F	F	M	H	S	E	O	S1	S2	S3				
	F	F					O1	O2	O3	BF	NMP	R		
							E1	E2	E3					
1	B	1	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear y dependiendo del estado operativo en que se encuentre, se deja el mismo o se sustituye por uno nuevo.	
1	B	2	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Inspeccionar y limpiar el impulsor	
1	B	3	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear el sentido de giro del motor.	
1	B	4	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear, dependiendo del estado operativo se deja o reemplaza por uno nuevo	
1	C	1	S	N	N	S	N	/	/	/	/	/	Chequear y limpiar filtro /sustituir si es necesario	
1	C	2	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear, dependiendo del estado operativo se deja o reemplaza por uno nuevo	
1	C	3	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Chequear y dependiendo del estado operativo en que se encuentre, se deja el mismo o se sustituye por uno nuevo.	
1	C	4	S	N	N	S	S	/	/	/	/	/	Inspección y medición de los rodamientos/ Reemplazar si es necesario.	

#### 4.5 ACCIONES DE MANTENIMIENTO, DIRIGIDAS A LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS DE LA NUEVA SECCIÓN DE DESTILACIÓN DE METANOL.

Una vez aplicada la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad MCC, se propusieron las propuestas de acciones de mantenimiento Tabla 4.24 y Tabla 4.25, dirigidas fundamentalmente a minimizar la ocurrencia de cada modo de falla obtenido en la realización del análisis de modo y efecto de fallas AMEF a los equipos que resultaron críticos en el desarrollo de este trabajo, como lo son las bombas P-1511 y P-1516 A/B de la sección de destilación de metanol.

**Tabla 4.24** Actividades Propuestas para la Bomba P-1511.

N°	Sección: <i>Destilación de Metanol</i>				
	Equipo: <i>P-1511</i>				
Realizado Por: Francisco Moya		Revisado Por: Luis Salazar		Condición del Equipo	
Actividades Propuestas		Encendido	Apagado		
1	Inspeccionar visualmente la conexión eléctrica del equipo.			X	
2	Chequear el voltaje que se suministra al equipo.		X		
3	Chequear visualmente la configuración del sistema de válvulas del equipo.			X	
4	Chequear y limpiar acoplamiento/ sustituir si es necesario.				
5	Inspección los rodamientos/ reemplazar si es necesario.				
6	Chequear empaque /sustituir si es necesario				X
7	Inspeccionar y limpiar el impulsor/ sustituir si es necesario				X
8	Chequear y limpiar filtro /sustituir si es necesario				X
9	Chequear que los instrumentos de medidas funcionan correctamente.		X		
10	Chequear el sentido de giro del motor.		X		
11	Chequear aspas del ventilador del motor de la bomba.				X
12	Limpiar visores de aceite				X
13	Chequear y limpiar el estator del motor /sustituir si es necesario				X
14	Chequear la presión de carga y descarga del equipo.		X		
15	Inspección visual de la corrosión presente en las partes externas del equipo		X		
16	Limpiar y lubricar válvulas.				X
17	Limpieza externa y pintura del equipo.		X		
18	Limpieza general del área.		X		
19	Monitoreo por vibración.		X		

Tabla 4.25 Actividades Propuestas para la Bomba P-1516A/B.

N°	Actividades Propuestas	Condición del Equipo	
		Encendido	Apagado
Sección: 1500 Destilación de Metanol			
Equipo: P-1516 A/B			
Realizado Por: Francisco Moya		Revisado Por: Luis Salazar	
1	Chequear el voltaje que se suministra al equipo.	X	
2	Chequear visualmente la configuración del sistema de válvulas del equipo		X
4	Chequear y limpiar acoplamiento/ sustituir si es necesario.		X
5	Chequear y limpiar sello mecánico/sustituir si es necesario		X
6	Chequear y limpiar el impulsor /sustituir si es necesario.		X
7	Chequear el sentido de giro del motor.	X	
8	Chequear y limpiar filtro de succión /sustituir si es necesario.		X
9	Chequear el estator del motor /sustituir si es necesario.		X
10	Chequear aspas del ventilador del motor de la bomba.		X
11	Inspección los rodamientos/ Reemplazar si es necesario.		X
12	Chequear la presión de carga y descarga del equipo.	X	
13	Limpiar filtro de enfriamiento/sustituir si es necesario.		X
14	Inspección visual de la corrosión presente en las partes externas del equipo	X	
15	Limpiar visores de aceite.		X
16	Limpiar y lubricar válvulas.		X
17	Limpieza externa y pintura de l equipo.	X	
18	Limpieza general del área.	X	
19	Monitoreo por vibración.	X	

En la **Tabla N° 4.26** y la **Tabla N° 4.27**, se establecen las frecuencias de ejecución de las actividades de Mantenimiento para las Bombas P-1511 y P-1516 A/B, basándose en la experiencia del ENT, en el comportamiento de equipos similares y aunado a esto se recomiendan seguir con los procedimientos descritos en las **Tablas 4.28** y **4.29** para los equipos P-1516 A/B y P-1511 respectivamente, buscando disminuir la aparición de algún modo de falla y así garantizar el buen desempeño de los equipos luego de ejecutarse las actividades de mantenimiento propuesta. Este procedimiento se pudo realizar con el apoyo del ENT y el departamento de aseguramiento de la calidad.

**Tabla 4.26** Frecuencia de Ejecución, de las Actividades Propuestas para la Bomba P-1516A/B.

N°	Sección: 1500 Destilación de Metanol		
	Equipo: P-1516 A/B		
Realizado Por: Francisco Moya		Revisado Por: Luis Salazar	Frecuencia de Ejecución
N°	Actividades Propuestas		Frecuencia de Ejecución
1	Chequear el voltaje que se suministra al equipo.		Trimestral
2	Chequear visualmente la configuración del sistema de válvulas del equipo		Bienal
4	Chequear y limpiar acoplamiento/ sustituir si es necesario.		Semestral
5	Chequear y limpiar sello mecánico/sustituir si es necesario		Anual
6	Chequear y limpiar el impulsor /sustituir si es necesario.		Anual
7	Chequear el sentido de giro del motor.		Bienal
8	Chequear y limpiar filtro de succión /sustituir si es necesario.		Trimestral
9	Chequear el estator del motor /sustituir si es necesario.		Semestral
10	Chequear aspas del ventilador del motor de la bomba.		Semestral
11	Inspección los rodamientos/ Reemplazar si es necesario.		Semestral
12	Chequear la presión de carga y descarga del equipo.		Trimestral
13	Limpiar filtro de enfriamiento/sustituir si es necesario.		Trimestral
14	Inspección visual de la corrosión presente en las partes externas del equipo		Mensual
15	Limpiar visores de aceite.		Mensual
16	Limpiar y lubricar válvulas.		Trimestral
17	Limpieza externa y pintura de l equipo.		Trimestral
18	Limpieza general del área.		Quincenal
19	Monitoreo por vibración.		Quincenal

**Tabla 4.27** Frecuencia de Ejecución, de las Actividades Propuestas para la Bomba P-1511.

	Sección: <i>Destilación de Metanol</i>		
	Equipo: <i>P-1511</i>		
	Realizado Por: Francisco Moya	Revisado Por: Luis Salazar	Frecuencia de Ejecución
Nº	<b>Actividades Propuestas</b>		
1	Inspeccionar visualmente la conexión eléctrica del equipo.		Bienal
2	Chequear el voltaje que se suministra al equipo.		Trimestral
3	Chequear visualmente la configuración del sistema de válvulas del equipo.		Bienal
4	Chequear y limpiar acoplamiento/ sustituir si es necesario.		Semestral
5	Inspección los rodamientos/ reemplazar si es necesario.		Semestral
6	Chequear empaque /sustituir si es necesario		Anual
7	Inspeccionar y limpiar el impulsor/ sustituir si es necesario		Anual
8	Chequear y limpiar filtro /sustituir si es necesario		Trimestral
9	Chequear que los instrumentos de medidas funcionan correctamente.		Trimestral
10	Chequear el sentido de giro del motor.		Bienal
11	Chequear aspas del ventilador del motor de la bomba.		Semestral
12	Limpiar visores de aceite		Mensual
13	Chequear y limpiar el estator del motor /sustituir si es necesario		Semestral
14	Chequear la presión de carga y descarga del equipo.		Trimestral
15	Inspección visual de la corrosión presente en las partes externas del equipo		Mensual
16	Limpiar y lubricar válvulas.		Trimestral
17	Limpieza externa y pintura del equipo.		Trimestral
18	Limpieza general del área.		Quincenal
19	Monitoreo por vibración.		Quincenal

**Tabla 4.28.** Procedimientos Mecánicos para Bombas Centrifugas.

	<b>Sección: 1500 Destilación de Metanol.</b>		
	<b>Equipo: P-1516 A/B</b>	<b>Pág. 1 de 2</b>	
<b>PROCEDIMIENTOS PARA EL ARRANQUE DE LAS OPERACIONES.</b>			
<b>Preparación para la Operación</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Llenar la carcasa de cojinete con lubricante al nivel especificado.</li> <li>2. Instalar el filtro en el lado de succión de la bomba, para evitar la entrada de objetos extraños en el inicio de la operación.</li> <li>3. Asegurarse de que las válvulas de descarga o drenaje están completamente cerradas.</li> <li>4. Antes de acoplar el motor y la bomba, verificar el sentido de giro del motor. el sentido correcto es en sentido horario cuando se ve desde el extremo del conductor.</li> <li>5. Después de chequear el sentido de rotación, instalar y apretar los pernos de acoplamiento del eje y del protector del acoplamiento.</li> </ol>			
<b>Antes de Comenzar a Operar</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comprobar, con un giro suave del rotor, si se escucha un sonido anormal, como la causada por la inclusión de arena o de rotación no uniforme, desmontar la bomba y verificar los componentes de rotación.</li> <li>2. Cebado de la bomba Verificar que la válvula de succión está completamente abierta. Llenar la bomba con el líquido antes de la operación y evacuar el aire u otros gases dentro de la bomba, a través de la válvula de ventilación de aire y girando el rotor a mano.</li> <li>3. Comprobar una vez más una mano suave, girar el rotor</li> <li>4. Cerrar Completamente la válvula de ventilación de aire.</li> </ol>			
<b>Puesta en Marcha del Equipo</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. abrir completamente la válvula de la línea de flujo mínimo.</li> <li>2. Chequear cada parte de la bomba y motor. corriente, voltaje, lubricación de cada componente, sonido de rotación, vibración, presión de descarga y presión de salida.</li> <li>3. Después de encendido el equipo durante 30 o 60 minutos, chequear la temperatura de cojinete.</li> </ol>			

**Tabla 4.29.** Procedimientos Mecánicos para Bombas Centrifugas.

	<b>Sección: 1500 Destilación de Metanol.</b>	
	<b>Equipo: P-1511</b>	
<b>PROCEDIMIENTOS PARA EL ARRANQUE DE LAS OPERACIONES.</b>		
<b>Preparación y Revisión Anteriores a la Operación de Arranque del Equipo.</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selle los cojinetes con una cantidad apropiada de lubricante</li> <li>2. Revise si el empalme y la tubería de lubricación interna son apropiados.</li> <li>3. Justo antes del acoplamiento, revise la dirección de rotación encendiendo únicamente el motor.</li> <li>4. Revise si el eje rota suavemente cuando es rotado manualmente. Si se escucha algún sonido anormal.</li> <li>5. Abra la válvula compuerta de descarga un poco antes de arrancar la bomba, para no operar en condiciones de apagado.</li> </ol>		
<b>Arranque del equipo.</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abra la válvula totalmente en la tubería de flujo mínimo que le haya sido provista.</li> <li>2. Encienda el interruptor y apáguelo luego de cuatro o cinco segundos. Durante este tiempo, verifique que la dirección de viraje sea la correcta.</li> <li>3. Encienda el interruptor nuevamente</li> <li>4. Abra gradualmente la válvula de descarga, poniendo atención a la presión de descarga</li> </ol>		
<b>Funcionamiento normal del equipo</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verifique cada parte de la bomba y del motor. Revise la corriente eléctrica, voltaje, lubricación, el sonido de rotación, vibración y temperatura en los cojinetes y el prensaestopas. “Si la temperatura del cojinete es de 80°C o menos, la operación es segura”.</li> <li>2. Luego de operar de 30 minutos a una hora, revise nuevamente cada parte. Si se desarrolla un sobrecalentamiento en los cojinetes, vibración o sonidos anormales, detenga la bomba inmediatamente o colóquela en pausa y revise la causa del problema.</li> </ol>		

## CONCLUSIONES

1. Con la descripción del contexto operacional de los equipos de la sección de destilación, se pudo determinar que presentaran deterioros acelerados en los componentes externos, debido a la corrosión del material, causada por el ambiente corrosivo donde estarán operando y pérdida prematura de las propiedades del lubricante debido a las altas temperatura ambiental, producto de los fenómenos climático que enfrenta la sociedad hoy en día.
2. Mediante la implementación de la metodología D.S, se pudo identificar los equipos rotativos críticos de la sección de destilación de la nueva planta de METOR S.A las cuales son las bombas P-1511 y la bomba P-1516 A/B.
3. Con la elaboración del Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), se pudo determinar diez (10) modos de fallas para la bomba P-1511 y trece (13) para la bomba P-1516A/B, dentro de las fallas de mayor relevancia en estos equipos podemos mencionar ruptura del acople, ruptura de sellos mecánicos y filtros tapados de la tubería de succión.
4. Con la aplicación del ALD, se estableció que el tipo de mantenimiento recomendable a aplicar a los equipos críticos es preventivo a condición cíclica, a fin de aprovechar al máximo la vida útil de sus componentes y a su vez, se genere un histórico de actividades de mantenimientos realizadas y fallas presentadas por estos equipos.
5. Con la implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), se pudo elaborar 19 propuestas de actividades de mantenimiento a implementar a la bomba P-1511 y 19 propuestas de acciones para la Bomba P-1516A/B, conjuntamente con las actividades a realizar en el proceso de arranque de cada uno de estos equipos.

## RECOMENDACIONES

1. Incluir dentro del plan de mantenimiento que se le aplicará a los equipos P-1511 y P-1516 A/B una vez arrancadas las operaciones de la sección de destilación de la nueva planta, las actividades propuestas en esta investigación.
2. Implementar las actividades propuestas para la preparación y revisión de los equipos P-1511 y P1516 A/B, para el inicio de las operaciones.
3. Promover un registro histórico desde el inicio de las operaciones de la planta basadas en variables como: cantidad de fallas, tiempo fuera de servicio, disponibilidad de repuesto, cumplimiento de mantenimiento preventivo y efectividad de cada uno de los equipos.
4. Establecer lo mas pronto posible un estudio para determinar la frecuencia de ejecución del conjunto de actividades propuestas para los equipos rotativos críticos y en cuanto a las actividades recomendadas relacionadas a la limpieza externa del equipo, pintura e inspección visual de la corrosión presente en las partes externas, realizarlas a una frecuencia mas cortas que las demás actividades, debido al ambiente corrosivo donde operaran los equipos.
5. Continuar aplicando la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en las otras secciones que conforman el proceso de producción de metanol a fin de garantizar la continuidad operativa de todas las secciones que conforman la nueva planta METOR S.A.
6. Promover un registro de indicadores de manteamiento como: Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad de los Equipos involucrados en esta investigación.

## **BIBLIOGRAFÍA CITADA.**

1. Jayssam N . Hlal D , **“Elaboración de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Evergreen Service”** (2008 ).
2. Orlando J. Salazar R, **“Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Las Líneas de Recepción –Secado de Maíz”, Planta SOLAGRO II Valle de La Pascua Estado Guárico.** (2008).
3. Freddy J. Álvarez C., **“Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Las Fases Iniciales de una Planta de Extracción de Sílice”.** (2008).
4. SUAREZ, D., BRAVO, D. **“Mantenimiento Mecánico”, Manual Teórico-Práctico de la Universidad de Oriente, Anzoátegui** (2008).
5. METANOL DE ORIENTE, “METOR” S.A., **“Manual de proceso, proyecto de expansión”** (2007).
6. SUÁREZ, Diógenes. **“Clasificación de Equipos en Función de su Criticidad”.** Introducción para el estudio de equipos. Confirma & Consultores. Puerto la cruz (2007).
7. AMENDOLA, Luis Ph.D **“Modelo Mixto de Confiabilidad”,** Universidad Politécnica Valencia España Dpto. Proyecto de Ingeniería (2003).
8. PARRA, Carlos **“Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”** , PUERTO LA Cruz, Venezuela (2002)

9. Strategic Technologies, INC., “ **Reability Centred Maintenance**” , versión N°2. Editado por Aladon Ltd, U.S.A,(1998).
10. MOUBRAY, J . “ RCM Reability Centred Maintenance” , Editorial Butterworth Heinemann, 2<sup>da</sup> Edición, Oxford, (1997)
11. Comfima& Consultores, “**Curso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad MCC**” C.C Judibana, oficina 12, Puerto la Cruz , Edo Anzoátegui.(2009)
12. Claudio Mataix, “**Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas**” Segunda Edición, Editorial HARLA. (1982)
13. Manuales de Bombas centrifugas : **EBARA CORPORATION**.(2008)
14. Manual de instrucción de **SAKURA SEISAKUSHO. LTD**.(2008)
15. **HYDAI HEAVY INDUSTRIES, LTD. ELECTRO-ELECTRIC SYSTEMS** Disponible en <http://www.hhi.co.kr>.(2008)
16. **mitsubishi heavy industries, LTD. “Instruction Manual”**. Nishi-Ku, Hiroshima, Japan. (1995).

## METADATOS PARA TRABAJO DE GRADO

### METADATOS PARA TRABAJO DE GRADO, TESIS Y ASCENSO.

<b>TÍTULO</b>	PROPUESTAS DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS ROTATIVOS.
<b>SUBTÍTULO</b>	

#### AUTOR(ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLA / E-MAIL
Moya R, Francisco J.	CVLA: 17.409.164 E-MAIL: f-j-moya@hotmail.com
	CVLA: E-MAIL:
	CVLA: E-MAIL:
	CVLA: E-MAIL:

#### PALABRAS O FRASES CLAVES:

Bombas
Rotativo
Metanol
Mantenimiento
Evaluación
Criticidad
Mecánica

#### METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Mecánica

#### RESUMEN (ABSTRACT):

El objetivo del desarrollo de este trabajo consistió en proponer acciones de
--

mantenimiento basada en la filosofía del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), para equipos críticos de la nueva sección de destilación del proyecto de expansión METOR S.A. para el logro del objetivo propuesto se procedió a describir el contexto operacional de los equipos y las especificaciones de los mismos para su funcionamiento y el tipo de mantenimiento que recomienda su fabricante, posteriormente se hizo un análisis de criticidad para determinar los equipos rotativos críticos que forman parte de la sección de destilación de la nueva planta, luego se identificaron las funciones, fallas funcionales, modos de fallas y los efectos que generan las mismas a la hora de presentarse dicha falla, procesándose mediante la herramienta de análisis de modo y efecto de falla (AMEF), posteriormente se aplicó el árbol lógico de decisión ALD, con la finalidad de establecer el tipo de mantenimiento y así mitigar los modos de fallas y por ende sus efectos en los equipos rotativos críticos, finalmente se propusieron las acciones de mantenimientos que buscan garantizar el buen funcionamiento de estos equipos. Con la realización del AMEF a los equipos rotativos que resultaron críticos: bomba centrífuga vertical P-1511 y las bombas centrífugas horizontales P-1516 A/B, se determinó 10 modos de fallas para la bomba P-1511 y 13 modos de fallas para la bomba P-1516 A/B que están asociados al proceso de arranque del equipo, También se realizó la propuesta de un procedimiento a realizar en el proceso de arranque de los equipos rotativos, para de esta manera disminuir la ocurrencia de ciertas fallas que están asociadas al proceso de preparación y revisión para el arranque de las operaciones.

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

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E-MAIL									
	ROL	CA		AS	X	TU		JU		
Bravo, Darwin.	CVLAC:	8.298.181								
	E-MAIL.	Darwinjbg@gmail.com								
	E-MAIL.									
	ROL	CA		AS		TU	X	JU		
Salazar, Luis.	CVLAC:	7.426.351								
	E-MAIL.	Lsalazar@Metor.com.ve								
	E-MAIL.									
	ROL	CA		AS		TU		JU	X	
Rodríguez, Edgar.	CVLAC:	4.012.952								
	E-MAIL.	rmedgar5@gmail.com								
	E-MAIL.									
	ROL	CA		AS		TU		JU	X	

Villarroel, Delia.	<b>ROL</b>	<b>CA</b>		<b>AS</b>		<b>TU</b>		<b>JU</b>	<b>X</b>
	<b>CVLAC:</b>	5.189.938							
	<b>E-MAIL.</b>	deliavs@cantv.net							
	<b>E-MAIL.</b>								

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Día</b>
2010	05	18

**LENGUAJE:** SPA

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

<b>Nombre de archivo</b>	<b>Tipo MINE</b>
TESIS. Propuestas de Acciones de Mantenimineto.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:** Gerencia de Mantenimiento. Proyecto de Expansión 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.

**INSTITUCIÓN:** Universidad de Oriente.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS:**

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado:

**“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participará al Consejo Universitario”.**

---

**Francisco J. Moya R  
AUTOR**

---

**Prof. Darwin Bravo  
ASESOR ACADÉMICO**

---

**Prof. Edgar Rodríguez  
JURADO PRINCIPAL**

---

**Prof. Delia Villarroel  
JURADO PRINCIPAL**

---

**Prof. Diógenes Suárez  
POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**

