

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN REGIÓN CENTRO SUR ANACO  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE MEJORAS DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA DEL  
SISTEMA DE AGUA CONTRA INCENDIOS, EN LA PLANTA DE  
SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA SAN ROQUE**

**Presentado por:**

**Cairo, Eliana C.**

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

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**Anaco, Agosto de 2017**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**EXTENSIÓN REGIÓN CENTRO SUR ANACO**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE MEJORAS DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA DEL**  
**SISTEMA DE AGUA CONTRA INCENDIOS, EN LA PLANTA DE**  
**SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA SAN ROQUE**

**Revisado por:**

**M.Sc. Bousquet, Juan C.**

**Asesor Académico**

**M.Sc. Romero, Daniel**

**Asesor Industrial**

**Anaco, Agosto de 2017**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**EXTENSIÓN REGIÓN CENTRO SUR ANACO**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE MEJORAS DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA DEL  
SISTEMA DE AGUA CONTRA INCENDIOS, EN LA PLANTA DE  
SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA SAN ROQUE**

**El jurado hace constar que asignó a este Trabajo de Grado la calificación de:**

**APROBADO**

**M.Sc. Bousquet, Juan C.**  
**Asesor Académico**

**Ing. Ledezma, Melchor**  
**Jurado Principal**

**Ing. Coa, Manuel**  
**Jurado Principal**

**Anaco, Agosto de 2017**

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de trabajos de grado (vigente a partir del II semestre 2009) según comunicación CU-034-209:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

## **DEDICATORIA**

A Dios Todopoderoso, el creador de todas las cosas, por escuchar mis oraciones, porque él me ha dado la fortaleza cuando he estado a punto de decaer, por todas las experiencias vividas en la universidad y por brindarme la sabiduría necesaria para el logro de mis objetivos y encaminarme hacia el éxito.

A mi abuela Justa Maita De Cairo, una de las personas más importantes de mi vida y la más buena y comprensiva que Dios me dio la dicha de conocer. Este logro te lo dedico a ti por ser una mujer excepcional y acompañarme en todo momento, porque sé que, aunque ya no estas físicamente, tú has sido mi Ángel de la Guarda y de la mano de Dios me ayudaste a superar todos los obstáculos con los que tuve que batallar para culminar mi carrera y desarrollar mi tesis.

A mi madre Elandia Cairo, por apoyarme incondicionalmente y por su motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien; lo cual, me ayudó a no darme por vencida cada vez que creía que no lo lograría. Este logro es para ti Mamá.

A mi abuelo Luis Cairo, quien ha sido como un padre para mí; y a mis tías Nairovis, Del Valle, Maritza y Gloria Cairo, quienes han sido ejemplo a seguir, me han brindado siempre su apoyo incondicional y me ayudaron en todo lo que estuvo a su alcance.

Al más pequeño de la casa; mi hermano, mi primo, mi ahijado; quien es como un hijo para mí; Luis Josué, este logro también te lo dedico a ti.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme la fuerza para superar obstáculos y dificultades durante toda mi vida y mi carrera universitaria. Gracias Dios por permitirme alcanzar con éxito esta meta y darme la dicha de pertenecer a “La Casa Mas Alta”, la Universidad de Oriente.

A mi madre por darme la vida, por sus sacrificios todos estos años, por su confianza y apoyo brindado, por demostrarme su amor durante todo el trayecto de mi vida, por corregir mis faltas y celebrar mis triunfos, y por enseñarme que todas las cosas llegan a su debido tiempo y no hay que desesperarse. Gracias Mamá.

A mi familia, quienes han sido pieza fundamental en mi vida, mil gracias por su apoyo incondicional, por todos sus consejos y por su constante motivación.

A la Universidad de Oriente, Extensión Anaco por abrirme sus puertas para formarme como profesional, y a todo su personal docente quienes me enseñaron a amar mi carrera; y comparten sus conocimientos día a día para que alcancemos nuestros objetivos con éxito.

A mi amigo y asesor académico, Juan C. Bousquet; por su dedicación, sus conocimientos, su orientación, su manera de trabajar, su motivación, sus regaños y sobre todo su paciencia; virtudes que han sido fundamentales para mi formación como investigador. Gracias por todo el apoyo que me has brindado durante mi formación académica y en el desarrollo de mi tesis.

A mi asesor industrial Daniel Romero, por su asesoría, por su orientación y también por su amistad. Gracias por el apoyo brindado y por compartir conmigo tus conocimientos cuando más los necesite.

A la Refinería San Roque, por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de grado en sus instalaciones, y a todo su personal por el apoyo y la ayuda que me brindaron durante la realización de mi tesis, especialmente al Sr. Rogelio Rodríguez y Rubén Macías, por toda su colaboración y por sus consejos.

A Oscar Arismendi, por estar conmigo, apoyarme, aconsejarme y compartir conmigo sus conocimientos durante la realización de mi tesis, mil gracias amor.

Y, por último, pero no menos importante a mis amigos y compañeros de estudio, Carlos Guzmán, Odalis Maitan, Nieves Cordero y Alfredo Gómez, por el apoyo, la ayuda que me brindaron durante todos estos años, por su paciencia, su gentileza y por todos los buenos y malos momentos que pasamos en la UDO. Gracias por todo.

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN REGIÓN CENTRO SUR ANACO  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS INDUSTRIALES**



**PROPUESTA DE MEJORAS DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA DEL  
SISTEMA DE AGUA CONTRA INCENDIOS, EN LA PLANTA DE  
SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA SAN ROQUE**

**Autor:** Cairo, Eliana C.

**Tutor Académico:** M.Sc. Bousquet, Juan C.

**Fecha:** Agosto, 2017

**RESUMEN**

La investigación tuvo como objetivo general proponer mejoras de la integridad mecánica del sistema de agua contra incendios, en la planta de servicios industriales de la Refinería San Roque. Primeramente, se realizó el diagnóstico de la situación actual del sistema existente; a fin, de facilitar la comprensión y familiarizarnos con el proceso para el cual está destinado dicho sistema. En segundo lugar, se determinaron los factores principales que afectan la integridad mecánica de los equipos, para lo cual se utilizó la norma API 571. Seguidamente, se realizó un Análisis de Inspección Basada en Riesgo (IBR), mediante la utilización del Software versión 3.3.3 para conocer el nivel de riesgo de los equipos y estimar la probabilidad y consecuencias de fallas de los mismos, y se emitieron los resultados a través de la matriz de riesgo. Aunado a esto, se realizó un Análisis Modos y Efectos de Fallas (AMEF), para seguidamente establecer las acciones de mantenimiento más óptimas que deben ser empleadas para lograr disminuir el constante fallo en los equipos dinámicos del sistema. Finalmente se elaboró y propuso un plan de inspección tomando en consideración las metodologías aplicadas, así como lo establecido en la norma NFPA 25.

**Descriptor:** Propuesta, mejoras, integridad, sistema, agua, incendio.

## INDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESOLUCIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
RESUMEN.....	viii
INDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
CAPITULO I.....	20
EL PROBLEMA .....	20
1.1 Planteamiento del Problema.....	20
1.2 Objetivos de la Investigación .....	23
1.2.1 Objetivo General .....	23
1.2.2 Objetivos Específicos.....	23
1.3 Identificación y Descripción de la Empresa.....	24
1.3.1 Reseña Histórica .....	24
1.3.2 Nombre de la Empresa.....	25
1.3.3 Ubicación Geográfica .....	25
1.3.4 Refinería San Roque .....	26
1.3.5 Políticas Tecnológicas de PDVSA .....	28
1.3.6 Misión .....	29
1.3.7 Visión .....	29
1.3.8 Objetivos .....	29
1.3.9 Funciones de la Empresa.....	30
1.3.10 Estructura Organizativa.....	30
CAPITULO II .....	31
MARCO TEÓRICO.....	31
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	31
2.2 Bases Teóricas .....	36
2.2.1 Equipo .....	36
2.2.2 Sistema.....	37
2.2.3 Sistema de Agua Contra Incendios .....	37
2.2.4 Bomba de Incendios.....	37
2.2.5 Bombas Centrífugas Horizontales .....	38
2.2.6 Bombas de Presurización .....	38
2.2.7 Programas de Seguridad Contra Incendios .....	39
2.2.8 Objetivo del Sistema de Protección Contra Incendios.....	39
2.2.9 Concepción Básica de los Sistemas de Agua Contra Incendio .....	40

2.2.10 Fuentes de Suministro de Agua.....	41
2.2.10.1 Capacidad.....	41
2.2.10.2 Calidad de Agua.....	42
2.2.11 Requerimientos de Agua.....	43
2.2.13 Red de Distribución.....	43
2.2.14 Requerimientos Generales de la Red de Distribución.....	44
2.2.15 Boca de Agua.....	45
2.2.16 Revestimiento Contra Incendio.....	45
2.2.17 Motores.....	45
2.2.18 Motor Diésel.....	46
2.2.19 Motor Eléctrico.....	46
2.2.20 Señalización.....	46
2.2.21 Señales de Alarma Contra Incendio.....	47
2.2.21.1 Señal de Alarma.....	47
2.2.21.2 Señal de Alarma General.....	47
2.2.21.3 Señal de Alarma Previa.....	47
2.2.21.4 Señal de Avería.....	47
2.2.21.5 Señal Supervisoria.....	48
2.2.22 Tablero Central de Control.....	48
2.2.23 Tablero Remoto.....	48
2.2.24 Hidrante Contra Incendio.....	49
2.2.25 Hidrante Industrial.....	49
2.2.26 Monitores Contra Incendio.....	49
2.2.27 Presión Residual.....	50
2.2.28 Integridad Mecánica de Equipos Críticos (IMEC).....	50
2.2.29 Corrosión.....	50
2.2.30 Mecanismos de Degradación.....	51
2.2.31 Tipos de Mecanismos de Degradación más Comunes.....	51
2.2.31.1 Corrosión Uniforme.....	51
2.2.31.2 Corrosión por Picaduras.....	52
2.2.31.3 Corrosión Atmosférica.....	52
2.2.31.4 Corrosión Bajo Aislamiento.....	53
2.2.31.5 Termofluencia.....	53
2.2.32 Medidas Correctivas.....	54
2.2.33 Inspección Basada en Riesgo (IBR).....	54
2.2.34 Pasos Básicos para Aplicar la Inspección Basada en Riesgo (IBR).....	55
2.2.35 Características Principales de la Inspección Basada en Riesgo (IBR).....	56
2.2.36 Beneficios del Programa de Inspección Basada en Riesgo (IBR).....	56
2.2.37 Análisis de Inspección Basada en Riesgo (IBR).....	57
2.2.38 Riesgo.....	58
2.2.39 Análisis de Riesgos del Trabajo.....	58
2.2.40 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).....	59

2.2.41 Preguntas Básicas del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) .....	59
2.2.42 Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) .....	60
2.2.43 Falla.....	60
2.2.44 Modo de Falla .....	61
2.2.45 Efecto de Falla .....	61
2.2.46 Equipos Críticos.....	61
2.2.47 Inspección .....	62
2.2.48 Tipos de Inspección.....	62
2.2.48.1 Mayor Inicial.....	62
2.2.48.2 Inspección Mayor.....	63
2.2.48.3 Inspección Intermedia .....	63
2.2.49 Mantenimiento .....	64
2.2.50 Parada de Planta de Mantenimiento.....	64
2.2.51 Acciones de Mantenimiento.....	64
2.2.52 Monitoreo.....	65
2.2.53 Registro .....	65
2.2.54 Taller .....	65
2.2.55 Equipos de Protección Personal.....	66
2.2.56 Equipo Natural de Trabajo.....	66
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>68</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>68</b>
3.1 Tipo de Investigación .....	68
3.2 Diseño de la Investigación .....	68
3.3 Población, Muestra y Unidad de Estudio.....	69
3.3.1 Población.....	69
3.3.2 Muestra.....	70
3.3.3 Unidad de Estudio.....	70
3.4 Técnicas de Recolección de la Información a Utilizar.....	71
3.4.1 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	71
3.4.1.1 Análisis Documental .....	72
3.4.1.2 Observación Directa.....	73
3.4.1.3 Entrevista No Estructurada .....	73
3.4.2 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos .....	74
3.4.2.1 Metodología de Inspección Basada en Riesgo.....	74
3.4.2.2 Software API-RBI Versión 3.3.3 .....	75
3.4.2.3 Fichas Técnicas de los Equipos.....	76
3.4.2.5 Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) .....	78
3.4.2.6 Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).....	78
3.4.2.7 Gráficos Circulares.....	79
3.5 Procedimiento Metodológico para la Consecución de los Objetivos.....	80

3.5.1 Diagnóstico de la Situación Actual del Sistema Existente de Agua Contra Incendios en la Planta de Servicios Industriales de Refinería San Roque .....	80
3.5.2 Determinación de los Factores que Afectan la Integridad Mecánica de los Equipos del Sistema de Agua Contra Incendios .....	81
3.5.3 Realización de un Análisis de Inspección Basada en Riesgo (IBR) a los Equipos Estáticos del Sistema de Agua Contra Incendios, para Minimizar los Factores que Afectan su Integridad Mecánica.....	82
3.5.4 Análisis de las Fallas de las Bombas del Sistema de Agua Contra Incendios Mediante un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) .....	85
3.5.5 Establecimiento de Acciones de Mantenimiento a los Equipos Dinámicos del Sistema de Agua Contra Incendios .....	86
3.5.6 Elaboración de un Plan de Inspección para el Sistema de Agua Contra Incendios según lo Establecido en el Código 25 de la Asociación Nacional para la Protección Contra el Fuego (NFPA 25) .....	87
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>88</b>
<b>PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>88</b>
4.1 Diagnóstico de la Situación Actual del Sistema Existente de Agua Contra Incendios en la Planta de Servicios Industriales de Refinería San Roque .....	88
4.1.1 Descripción General de los Equipos .....	89
4.1.1.1 Bombas Presurizadoras (Jockey) .....	89
4.1.1.2 Bomba Contra Incendio Eléctrica .....	91
4.1.1.3 Bomba Contra Incendio Diesel .....	92
4.1.1.4 Tanque de Agua Contra Incendio .....	93
4.1.2 Equipos Asociados .....	94
4.1.2.1 Hidrantes .....	94
4.1.2.2 Monitores .....	95
4.1.4 Fichas Técnicas de los Equipos del Sistema de Agua Contra Incendios .....	98
4.2 Determinación de los Factores que Afectan la Integridad Mecánica de los Equipos del Sistema de Agua Contra Incendios .....	100
4.2.1 Mecanismo de Degradación en las Bombas de la Unidad de SACI .....	100
4.3 Realización de un Análisis de Inspección Basada En Riesgo (IBR) a los Equipos Estáticos del Sistema de Agua Contra Incendios, para Minimizar los Factores que Afectan su Integridad Mecánica .....	106
4.4 Análisis de las Fallas de las Bombas del Sistema de Agua Contra Incendios Mediante un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) .....	115
4.5.1. Resultados del Análisis de Modos y Efectos de Fallas .....	118
4.5 Establecimiento de Acciones de Mantenimiento a los Equipos Dinámicos del Sistema de Agua Contra Incendios.....	119
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>124</b>
<b>PLAN DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE AGUA CONTRA INCENDIOS .....</b>	<b>124</b>

5.1 Objeto.....	125
5.2 Alcance y Aplicación.....	125
5.3 Referencias.....	125
5.4 Definiciones .....	126
5.4.1 Norma.....	126
5.4.2 Detector Automático de Incendios .....	126
5.4.3 Dispositivo de Descarga.....	126
5.4.4 Desagüe Principal .....	126
5.4.5 Hidrante de Incendios .....	127
5.4.6 Concentrado de Espuma.....	127
5.4.7 Inspección .....	127
5.4.8 Mantenimiento .....	127
5.4.9 Operación Manual.....	127
5.4.10 Norma NFPA 25 .....	128
5.4.11 Norma PDVSA IR-S-13 .....	128
5.4.12 Norma PDVSA IR-M-03 .....	128
5.4.13 Sistema de Agua Contra Incendio.....	129
5.4.14 Pruebas .....	129
5.4.15 Presión Residual.....	129
5.4.16 Presión Estática .....	129
5.4.17 Coeficiente de Rugosidad .....	129
5.4.18 Pérdida por Fricción.....	130
5.5 Actividades de Mantenimiento.....	130
5.5.1 Procedimiento .....	130
5.6 Formato de Reporte de Fallas .....	134
5.6.1 Procedimiento .....	134
CAPITULO VI.....	136
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	136
6.1 Conclusiones .....	136
6.2 Recomendaciones.....	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140
ANEXOS .....	145
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	146

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1.1. Ubicación geográfica de la Refinería San Roque .....	26
Figura 1.2. Organigrama organizacional de Refinería San Roque.....	30
Figura 2.1. Matriz de Riesgo según IBR.....	55
Figura 2.2. Equipo Natural de Trabajo.....	67
Figura 3.1. Ventana de inicio del Software API-RBI Versión 3.3.3 .....	76
Figura 3.2. Diagrama circular .....	80
Figura 3.3. Ventana de inicio del Software API-RBI Versión 3.3.3 .....	83
Figura 3.4. Módulo básico de datos de los equipos .....	84
Figura 4.2. Distribución de equipos asociados al SACI.....	89
Figura 4.3. Bomba jockey (B-98 D).....	90
Figura 4.4. Bomba Jockey (B-98 C) .....	90
Figura 4.5. Bomba Principal Eléctrica (B-98 B).....	92
Figura 4.6. Bomba Principal Diesel (B-98 A).....	93
Figura 4.7. Tanque de almacenamiento de agua (20x1).....	94
Figura 4.8. Hidrantes contra incendios .....	95
Figura 4.9. Hidrantes contra incendios .....	96
Figura 4.10. Fatiga mecánica de los equipos .....	101
Figura 4.11. Corrosión galvánica de los equipos .....	101
Figura 4.12. Comportamiento de cloruros en el agua del tanque 20X1 .....	104
Figura 4.13. Corrosión debido al agua salubre .....	105
Figura 4.14. Corrosión debido al agua salubre .....	105
Figura 4.15. Riesgo actual para los equipos del SACI.....	109
Figura 4.16. Distribución porcentual actual de los equipos estudiados, según la categoría de riesgo.....	110
Figura 4.17. Riesgo actual de los equipos del SACI, con frecuencia de 2 años entre inspecciones .....	113
Figura 4.18. Riesgo futuro sin inspecciones de los equipos del SACI, con frecuencia de 2 años entre inspecciones.....	113
Figura 4.19. Riesgo futuro con inspecciones de los equipos del SACI, con frecuencia de 2 años entre inspecciones.....	114
Figura 4.20. Despiece de las bombas del Sistema de Agua Contra Incendios.....	115
Figura 4.21. Distribución porcentual de los resultados del AMEF.....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 3.1. Población de Personas Objeto de Estudio .....	69
Tabla 3.2. Unidad de Estudio .....	71
Tabla 3.3. Formato de ficha técnica de los equipos .....	77
Tabla 3.4. Formato de la Hoja de Información de MCC.....	79
Tabla 3.5. Formato de información de acciones de mejora continua.....	87
Tabla 4.1. Presión y caudal de los hidrantes del SACI .....	96
Tabla 4.2. Presión y caudal de los hidrantes del SACI .....	97
Tabla 4.3. Ficha Técnica de Bomba jockey (B-98 D).....	99
Tabla 4.4. Datos de agua salobre del tanque de almacenamiento 20X1 .....	103
Tabla 4.5. Parámetros de las Unidades de Proceso .....	106
Tabla 4.6. Datos necesarios para el software API-RBI de las bombas del SACI.....	108
Tabla 4.7. Resumen de corrosión de los equipos .....	111
Tabla 4.8. Resumen del análisis de resultados de la matriz .....	111
Tabla 4.9. Análisis Modo Efecto de Fallas del Motor Diesel del Sistema de Bombeo A.....	117
Tabla 4.10. Contabilización de las variables .....	118
Tabla 4.11. Distribución porcentual de los resultados del AMEF.....	118
Tabla 4.12. Hoja De Información de Acciones de Mejora Continua para el Sistema de Bombeo A .....	121
Tabla 5.1. Plan de Mantenimiento para el Sistema de Agua Contra Incendio .....	131
Tabla 5.2. Formato de reporte de fallas.....	135

## INTRODUCCIÓN

Los incendios son uno de las mayores catástrofes que durante los últimos años han aumentado desorbitadamente su frecuencia. El Manual de Prevención de Incendios (2015), establece que: “es un fuego de grandes proporciones que se desarrolla sin control, el cual puede presentarse de manera instantánea o gradual, pudiendo provocar daños materiales, interrupción de procesos de producción, pérdida de vidas humanas y afectación al ambiente”. (p.20).

El crecimiento demográfico, los procesos propios del desarrollo en la industria, el uso cada vez más frecuente de sustancias inflamables peligrosas; así como, la falta de precauciones en su manejo, transporte y almacenamiento, son los principales factores que han propiciado un aumento significativo en la magnitud y frecuencia de los incendios, particularmente en los grandes complejos industriales, comerciales y también de servicios.

La Refinería San Roque, actualmente procesa 5.800 barriles diarios de crudos parafinosos y produce cerca de 60 toneladas de parafina macrocristalina cada día, lo que representa un 57% de las ventas de este producto en el país. La misma, se encuentra actualmente preparada para asumir sus objetivos de producción y cumplir eficientemente con todos sus clientes, gracias a la capacidad técnica y humana de los 125 trabajadores que diariamente entregan su esfuerzo para mantener las operaciones de esta instalación en los más altos estándares de calidad.

La fuerza laboral no solo realiza una gran cantidad de reparaciones menores con esfuerzo propio, sino que también es la responsable de los mantenimientos generales programados, los cuales permiten cumplir con el objetivo de renovar la capacidad operativa de la planta.

Dentro de una refinería tienen lugar los procesos de separación de los compuestos que forman el crudo. Estos procesos se basan en los puntos de ebullición de los diferentes compuestos para así poder destilarlos; además de, obtenerlos por separado. Estos procesos conllevan operaciones a altas temperaturas y presiones. Además, muchos de estos productos derivados del petróleo son inflamables, tóxicos; e incluso, combustibles. Lo que origina gran cantidad de situaciones en las que se puede provocar un incendio.

Cabe destacar que muchos de los incendios ocurridos en plantas industriales, plataformas petroleras, entre otros, han ocurrido debido a que no poseen un sistema de agua contra incendios adecuado para solventar este tipo de emergencias.

El desarrollo de un Sistema de Agua Contra Incendio, es una aplicación de mucha importancia en las plantas industriales. Por ello, en los últimos años el diseño y el mantenimiento de estos sistemas se ha vuelto más riguroso, debido al alto factor de riesgo existente en la mayoría de estas plantas.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, se decidió realizar alternativas de mejoramiento de la integridad mecánica del Sistema de Agua Contra Incendios perteneciente a la Planta de Servicios Industriales de la Refinería San Roque, debido a ciertas irregularidades encontradas en el mismo. Por ello, se implementaron herramientas metodológicas como la Inspección Basada en Riesgo (IBR) y una de las técnicas del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), como lo es el Análisis Modos Efectos de Fallas (AMEF), las cuales son descritas brevemente a continuación:

La metodología de Inspección Basada en Riesgo (IBR), se presenta como una herramienta de análisis útil para el personal de la instalación, la cual permite evaluar el nivel de riesgo asociado a la operación de los equipos estáticos, identificando así,

aquellos sobre los cuales se deben enfocar los esfuerzos y recursos de las actividades de inspección y mantenimiento, permitiendo al mismo tiempo reducir la probabilidad de ocurrencia de eventos no deseados y controlar los riesgos de operación, al detectar y conocer el comportamiento de los mecanismos de daño que afectan a un equipo y pueden conducir a una falla.

El Análisis Modos Efectos de Fallas (AMEF), es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Por lo tanto, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total. También es de gran importancia para la industria porque identifica los modos de falla de proceso, evalúa los efectos potenciales en el cliente, identifica las causas de los procesos de manufactura o ensamble e identifica las variables significativas del proceso para enfocar los controles para reducción de ocurrencia o detección en las condiciones de falla.

Para lograr desarrollar este trabajo de manera satisfactoria se estructuró la investigación de la siguiente manera:

Capítulo I. El Problema: en esta sección se describe la empresa como tal, reseña histórica, nombre, ubicación, geográfica, misión, visión, objetivos, estructura organizativa, así como también se detalla el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación tanto general como específicos.

Capítulo II. Marco Teórico: contiene los antecedentes necesarios para la comprensión y realización de la investigación y las bases teóricas representadas por la información recolectada de bibliografías, fuentes electrónicas, revistas, entre otras fuentes de documentación.

Capítulo III. Marco Metodológico: contempla la metodología utilizada para el desarrollo de los objetivos específicos de la investigación, tipo de investigación, diseño de la investigación, las técnicas e instrumentos de recolección de datos a utilizar.

Capítulo IV. Análisis y Presentación de los Resultados: contempla la descripción del contexto operacional del sistema, y se desarrollan los objetivos propuestos para la obtención de resultados y su posterior análisis.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones: donde finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones en funciones de los resultados obtenidos en el proyecto en estudio.

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Venezuela da inicio a la explotación comercial de petróleo en el año de 1.914, lo cual generó la creación de empresas y formación de personal capacitado para darle el manejo adecuado a tal hidrocarburo, para el año de 1.975 se nacionaliza la industria petrolera y nace Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), una empresa estatal la cual se dedica a la explotación, producción, refinación, mercadeo y transporte del petróleo venezolano, el estado cuenta con seis (6) Refinerías a nivel nacional, las cuales son: Amuay, Bajo Grande, Cordón, El Palito, Puerto La Cruz y San Roque.

De la misma manera, la Refinería San Roque, adscrita a Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) Refinación Oriente, inició sus operaciones el 23 de septiembre de 1.952. Actualmente, tiene una capacidad de procesamiento de 5.800 BPD de crudo parafinosos. Dicha Refinería es la principal fuente económica de la población de Santa Ana, Estado Anzoátegui.

Esta empresa está dedicada al procesamiento de crudos parafínicos livianos, procedentes en su mayoría de áreas de producción del Distrito Anaco. Su misión está orientada a la producción y suministro de parafinas industriales a todo el mercado nacional, la cual es utilizada para la elaboración de velas, fósforos, cera para pisos, artículos artesanales, papel encerado, entre otros. De igual forma, esta Refinería es la única productora de la parafina en Latinoamérica y una de las más rentables de PDVSA.

Al mismo tiempo, la refinería está conformada por cuatro (4) plantas: parafina, crudo-vacío, almacenaje y servicios industriales. Esta última, es de vital importancia, debido a que proporciona servicios tales como: generación de vapor, despacho de productos, sistema de aire comprimido, sistema de enfriamiento de agua y sistema de agua contra incendios, el cual se encuentra debidamente distribuido por toda la planta para combatir y/o sofocar cualquier tipo de incendios accidentales que se puedan generar.

En la planta de servicios industriales, así como también en las otras plantas, se debe tener presente que el fuego es un elemento que puede hacer presencia en cualquier momento y es un enemigo potencial para el desarrollo de la empresa y la vida de sus trabajadores.

Desde la antigüedad se han dispuesto diversos medios para luchar contra los incendios accidentales; sin embargo, es a principios del siglo XX cuando se comenzaron a instalar los sistemas mecánicos de agua contra incendios, los cuales basan su funcionamiento en almacenar agua y descargarla automáticamente o de manera manual en caso de una emergencia. Actualmente, la Refinería San Roque cuenta con un sistema de agua contra incendios el cual consta de un (1) tanque de almacenamiento de agua salada de 20.000 BLS (3.179.600 lts.), dos (2) bombas Jockey de 100 GPM a 160 psig, dos (2) bombas de 2.500 GPM a 160 psig contra incendios principales (una eléctrica y la otra con motor Diesel), equipos asociados y controles.

Uno de los problemas más notorios en los equipos que conforman el sistema de agua contra incendios fue el deterioro interno y externo, sobrecarga de trabajo y desgaste, lo cual afecta el desenvolvimiento de las operaciones normales de los mismos; así como también, la mantenibilidad del sistema, lo cual se debe a que no se contaba con un plan de inspección o mantenimiento que se aplicara en lapsos de

tiempo establecidos y esto aceleraba el proceso de corrosión, la cual se debe a los altos niveles de cloruro presentes en el agua con la que trabaja el sistema. Todo esto es de vital importancia; ya que, podría tener como consecuencias un gran riesgo en la seguridad de la planta y de los trabajadores; aunado a esto, puede provocar pérdidas monetarias.

Todos los inconvenientes que presenta el sistema van de la mano con la falta de aplicación de tareas de mantenimiento como: ajustes, reparaciones, reemplazos, acciones de inspección y mediciones que faciliten el buen funcionamiento del mismo, y que permitan tomar acciones con una frecuencia determinada; de esta manera, se podría evitar un accidente; ya que, la falta de inspección en los equipos y elementos, pueden ocasionar un evento no deseado.

El trabajo tuvo como finalidad realizar una propuesta de mejoras a la integridad mecánica del sistema de agua contra incendios, de acuerdo con los requerimientos y necesidades de la empresa, principalmente se aplicó una descripción de la situación actual en la que se encontraba el sistema existente, la cual ayudó a la comprensión de la naturaleza del problema, seguidamente se aplicó la metodología de Inspección Basada en Riesgo la cual fue de gran ayuda para identificar los factores de degradación que presenten los equipos estáticos con respecto a su integridad mecánica; así como también, el nivel de riesgo que presentaban cada uno de ellos.

Para ello, se utilizó la técnica principal de la metodología o filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, la cual es el Análisis Modo Efecto Falla (AMEF) y se establecieron acciones de mantenimiento los cuales ayudaron a identificar los equipos críticos y las fallas más recurrentes para las tomas de decisiones rápidas y acertadas, en los equipos dinámicos del sistema, y finalmente se establecieron las mejoras necesarias para la solución de los problemas presentados, basándose en los resultados de las metodologías aplicadas.

La importancia de este trabajo de investigación contribuyó con una valiosa herramienta dado a que se elaboró un plan de inspección que apoyará las operaciones en la gestión de mantenimiento y mediante la aplicación del mismo se podrán reducir los inconvenientes ocasionados por desgaste, y permitirá el buen funcionamiento de cada uno de los equipos.

A su vez este proyecto tuvo gran valor para la Universidad; ya que, la biblioteca obtuvo un nuevo recurso a través de una nueva metodología como lo es la Inspección Basada en Riesgo (IBR); así como también, la técnica de la metodología o filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, las cuales permitirán en dicha casa de estudios, incluir nuevas herramientas de investigación para los demás estudiantes que deseen seguir o mejorar esta idea.

## **1.2 Objetivos de la Investigación**

### **1.2.1 Objetivo General**

Proponer Mejoras de la Integridad Mecánica del Sistema de Agua Contra Incendios, en la Planta de Servicios Industriales de la Refinería San Roque.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Diagnosticar la situación actual del sistema existente de agua contra incendios en la planta de Servicios Industriales de Refinería San Roque.
- Determinar los factores que afectan la integridad mecánica de los equipos del sistema de agua contra incendios.

- Realizar un análisis de inspección basada en riesgo (IBR) a los equipos estáticos del sistema de agua contra incendios, para minimizar los factores que afectan su integridad mecánica.
- Analizar las fallas de las bombas del Sistema de Agua Contra Incendios mediante un Análisis Modos Efectos de Fallas (AMEF).
- Establecer acciones de mantenimiento a los equipos dinámicos del Sistema de Agua Contra Incendios.
- Elaborar un plan de inspección para el sistema de agua contra incendios según lo establecido en el Código 25 de la Asociación Nacional para la Protección Contra el Fuego (NFPA 25).

### **1.3 Identificación y Descripción de la Empresa**

#### **1.3.1 Reseña Histórica**

Phillips Petroleum Company empezó su funcionamiento el 23 de septiembre de 1.952, en la localidad de Santa Ana. Esta empresa construye la Refinería San Roque (único complejo industrial en su tipo en el país, que nace con un objetivo muy preciso como era satisfacer la demanda de parafina para la fabricación de velas destinadas al mercado venezolano la cual para la fecha se importaba en su totalidad), para procesar 2.000 BPD de petróleo y 800/mes de parafina. Su primera ampliación fue realizada en 1.963, es decir; diez (10) años después, aumentando la capacidad de procesamiento de crudo de 2.000 BPD a 5.300 BPD de petróleo; y, 2.040 ton/mes de parafina. Después de la nacionalización del petróleo en 1.976, la empresa se denominó ROQUEVEN, posteriormente fue fusionada con MENEVEN, luego el 16 de noviembre de 1.978, nace CORPOVEN, S.A. La creación de esta empresa producto de la nacionalización de las empresas petroleras, para entonces; tales como BARIVEN, DELTAVEN, LLANOVEN, PALMAVEN, y la Corporación del Petróleo

(CVP), se hizo bajo disposición del ejecutivo nacional. Ocho (8) años más tarde, en el mes de junio de 1.986, las empresas MENEVEN S.A., y CORPOVEN S.A., se fusionan con el fin de conformar una sola empresa integrada, la cual conservaría el nombre de CORPOVEN S.A.

Actualmente, la Refinería San Roque se encuentra adscrita a Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), una empresa estatal la cual se dedica a la explotación, producción, refinación, mercadeo y transporte del petróleo venezolano, el estado cuenta con seis (6) Refinerías a nivel nacional, las cuales son: Amuay, Bajo Grande, Cordon, El Palito, Puerto La Cruz y San Roque; y, tiene una capacidad de procesamiento de 5.800 BPD de crudo parafinoso.

### **1.3.2 Nombre de la Empresa**

Refinería San Roque, perteneciente a Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima (PDVSA).

### **1.3.3 Ubicación Geográfica**

La Refinería San Roque, adscrita a la Refinería Puerto la Cruz, geográficamente está ubicada al sur del estado Anzoátegui, específicamente a unos 5 Km del Municipio Santa Ana, a 34 Km del Municipio Anaco y a 31 Km de Aragua de Barcelona.



**Figura 1.1. Ubicación geográfica de la Refinería San Roque**  
Fuente: googlemaps (2016)

#### **1.3.4 Refinería San Roque**

La Refinería de San Roque, extensión de la refinería de Puerto La Cruz, se encuentra ubicada en las cercanías de la ciudad de Anaco, al sur del estado Anzoátegui. Esta Refinería procesa crudos parafinosos livianos, procedentes de las áreas de producción del Distrito Anaco, entre las cuales se encuentran: Santa Rosa I, Santa Ana III, San Joaquín I/IV y el Toco.

La Refinería San Roque procesa actualmente 5.800 BPD de crudo parafinosos de 40°API. Está conformada por una unidad de Destilación Atmosférica, donde los productos principales son: gasolina, diésel liviano, nafta, diésel medio, gas, destilado liviano, gasoil y residuo atmosférico. El residuo atmosférico se alimenta a la unidad de Destilación al Vacío, de la cual se obtienen: destilado pesado, gas y residuo de vacío. Los destilados liviano y pesado son enviados a las plantas de parafina N° 1 y 2 respectivamente, obteniéndose la pasta de parafina que posteriormente es enviada al sistema de denudación de pasta despojándose la nafta para producir parafina

denudada. Esta corriente es llevada al sistema de percolación para obtener la parafina terminada, que puede ser vendida como parafina líquida o parafina sólida.

Sus operaciones están orientadas a la producción y suministro de parafinas industriales al mercado nacional. Actualmente es el único productor de parafinas del país. Para la producción de parafinas se utiliza el proceso de Desaceitado, en el cual las parafinas de alto peso molecular se cristalizan, cuando se enfría la fracción de hidrocarburo en la cual ellas están contenidas, y luego son separadas por filtración.

La refinería está conformada por cuatro (4) plantas: parafina, crudo-vacío, almacenaje y servicios industriales que garantizan su operación.

La planta de crudo cuenta con una (1) unidad de destilación atmosférica (TA-1) y una (1) unidad de destilación al vacío (TV-1), mientras que la planta de parafinas está integrada por dos (2) trenes de cristalización, dos (2) trenes de filtración, dos (2) trenes de torres denudadoras y tres (3) unidades de percolación.

La carga de crudo previamente calentada en el tren de precalentamiento, es alimentada a la unidad de destilación atmosférica (TA-1), donde se obtienen los cortes de gasolina, nafta, diésel liviano, diésel mediano, gasoil, destilado liviano y residuo. Parte de la gasolina y el diésel liviano son utilizados para abastecer las necesidades de combustible de la zona, mientras la nafta es requerida en el proceso de producción de la parafina como agente de dilución y para el lavado de equipos. El fondo atmosférico se procesa en la unidad de destilación al vacío para obtener los cortes de destilado pesado y fondo de vacío. El destilado liviano obtenido en la unidad atmosférica tiene un rango de ebullición de 550-870°F y un punto de derretimiento de 108-114°F, y el destilado pesado producido en la unidad de vacío tiene un rango de ebullición de 600-950°F y un punto de derretimiento de 117-124°F. Con destilados dentro de estos rangos se asegura una buena calidad de dichos cortes

y, en consecuencia, la operación de la planta de parafina será de fácil manejo y se podrá cumplir con el objetivo principal, el cual es la separación de la parafina del aceite pesado y la purificación de la misma.

El fondo atmosférico se procesa en la unidad de destilación al vacío para obtener los cortes de destilado pesado y fondo de vacío. Los productos de estas destilaciones, que no son utilizados, se mezclan y se regresan como crudo reconstituido hacia el patio de tanques de Anaco.

Los destilados liviano y pesado son almacenados y constituyen la materia prima de la planta de parafina, en la cual se cumplen las etapas de cristalización, filtración, denudación (recuperación de solvente) y percolación (purificación).

La planta de servicios es clave para el desarrollo de las actividades operacionales de la Refinería, por la importancia de los servicios que ella proporciona, como son: generación de vapor, sistema de aire comprimido, sistema de agua contra incendios, planta de tratamiento de agua, sistema de agua de enfriamiento, laboratorio, almacenaje, despacho de productos.

### **1.3.5 Políticas Tecnológicas de PDVSA**

Dentro de sus políticas tecnológicas PDVSA SAN ROQUE, mantiene planes de adiestramiento del personal a escala técnico y administrativo, que le permiten mantenerse en línea con los avances tecnológicos que imperan en la actualidad. Por otra parte, desde el punto de vista de los equipos ejecuta planes de repotenciación de los mismos con nuevas tecnologías.

### **1.3.6 Misión**

Maximizar el valor agregado al negocio, a través de la transformación del petróleo y otros insumos en producto (parafina) de alta calidad, de manera segura, confiable y rentable para la satisfacción de los clientes en armonía con la comunidad y medio ambiente, con su más importante recurso altamente capacitado y motivado.

### **1.3.7 Visión**

Ser una refinería modelo, reconocida por la seguridad, calidad, rentabilidad, disciplina, trabajo en equipo y búsqueda de normas cada vez más altas para vencer los retos y asegurar la supervivencia en el trayecto hacia una refinería de clase mundial.

### **1.3.8 Objetivos**

La Refinería San Roque tiene como objetivos esenciales cumplir con la función social y además generar ganancias para la organización.

El objetivo principal de la Refinería San Roque, es procesar crudo parafinoso, para la separación del destilado parafínicos, a través de un proceso de cristalización y filtración, se le extrae el aceite y se produce la parafina con un máximo del 2% de aceite; para satisfacer el mercado nacional.

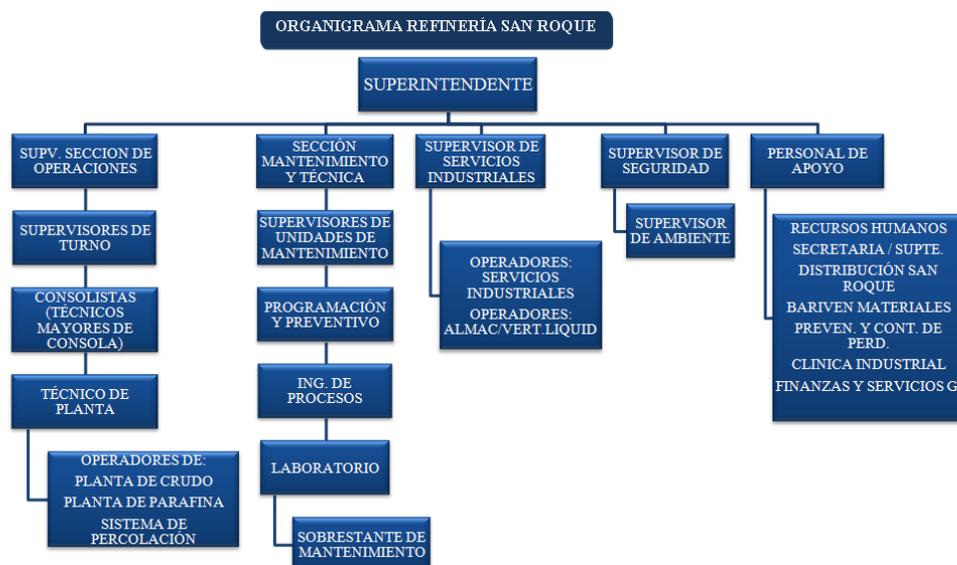
De igual forma, la Refinería San Roque es la única productora de la parafina en Latinoamérica y una de las refinerías más rentables de PDVSA.

### 1.3.9 Funciones de la Empresa

Sus funciones están enmarcadas en las actividades de PDVSA, (manufactura y mercadeo) y en la refinación de petróleo parafinoso producidos en los pozos del sur del estado Anzoátegui; además, de incrementar el bienestar socioeconómico de la región, al consumir materia prima y servicios y crear fuentes de trabajo en forma directa e indirecta. Mejorar y conservar la ecología de la región evitando la contaminación ambiental. Contribuir al sostenimiento a través de los servicios públicos mediante el pago de cargas tributarias y realizar aportes a través de programas de planificación y desarrollo.

### 1.3.10 Estructura Organizativa

La estructura organizativa de la Refinería San Roque, filial de PDVSA; se muestra a continuación, (ver figura 1.2).



**Figura 1.2. Organigrama organizacional de Refinería San Roque**

Fuente: Manual de PDVSA, (2005)

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

El propósito de este apartado es dar a conocer y explicar todos y cada uno de los elementos teóricos pertenecientes a la investigación y de los cuales es necesario tener un pleno entendimiento, de manera que se pueda mejorar la comprensión a medida que va evolucionando la investigación, además de puntualizar antecedentes de investigaciones o estudios realizados anteriormente, que sirvieron como base fundamental para la elaboración de este proyecto de investigación.

#### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

A continuación, se mencionan algunos trabajos de investigación relacionados con los sistemas de agua contra incendios, los cuales sirvieron para hacer referencia a la presente investigación permitiendo recabar la información necesaria para la documentación del mismo.

Bermúdez, M. (2014). *“Propuesta de un Plan de Inspección y Mantenimiento Basado En Riesgo a las Líneas de Flujo de la Estación de Descarga Guárico 1 (EDG1) de PDVSA Producción Gas Anaco”*. Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Extensión Región Centro Sur Anaco, para optar por el título de Ingeniero Industrial. El propósito fundamental del presente trabajo es proponer un plan de inspección y mantenimiento basado en riesgo a las Líneas de Flujo de la Estación de Descarga Guárico 1 (EDG1) de PDVSA Producción Gas Anaco, con el fin de adaptar las acciones de inspección y mantenimiento al nivel de riesgo asociado a sus condiciones de operación. Para ello se realizó un diagnóstico de la situación actual de las líneas a través de inspecciones visuales y mediciones de espesor mediante la técnica de inspección por ultrasonido. Posteriormente, se aplicó

un análisis de criticidad, el cual permitió jerarquizar las líneas desde la más crítica hasta la menos crítica. Seguidamente, se estimó la probabilidad y consecuencia de falla de las líneas con mayor nivel de criticidad utilizando el Software API-RBI versión 3.0, se establecieron premisas de los puntos a considerar, y se emitieron los resultados a través de la matriz de riesgo, obteniéndose que del total de los puntos de las líneas de flujo un 35,60% se encuentran en alto riesgo, 62,88% en riesgo medio alto y 1,52% en riesgo medio. Se realizó un estudio de sensibilidad donde se proyectó el comportamiento del riesgo de las líneas. Finalmente se logró proponer un plan que contemple las actividades necesarias para la condición de cada línea.

La investigación fue de gran utilidad para el estudio; ya que, sirvió de guía para el diagnóstico de la situación actual del sistema debido a que en él se encuentran herramientas metodológicas para la aplicación del mismo.

Guzmán, C. (2013). *“Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en la Metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del Sistema de Fundición II en el Área de Moldeo de la Empresa Nacional de Válvulas, Anaco Edo. Anzoátegui”*. Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Extensión Región Centro Sur Anaco, para optar por el título de Ingeniero De Sistemas. En este trabajo de investigación se presenta el diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad del sistema de fundición II en el área de moldeo de la Empresa Nacional de Válvulas, Anaco, Edo. Anzoátegui, para lo cual se realizó primeramente un levantamiento de información con el propósito de conocer todos los procesos y equipos relacionados al sistema de moldeo para hacer una descripción del contexto operacional, seguidamente a través de la aplicación de la metodología Ciliberti se identificaron los equipos críticos del sistema de moldeo, donde posteriormente se realizó un Análisis Modo Efecto Falla (AMEF) para discernir cuales son los modos de fallas, funciones principales, fallas funciones y efectos de las mismas de los

equipos que tenían mayor criticidad considerando para este la evaluación del Árbol Lógico de Decisiones (ALD), que ayudó a establecer las actividades de mantenimiento para el plan, finalmente se diseñó el plan de mantenimiento preventivo para el sistema de moldeo, el cual ayudará a mejorar la confiabilidad del mismo, reduciendo tiempo de entregas de pedido tardío, costos de operaciones, optimizando la disponibilidad de los equipos productivos y maximizando la vida útil de los mismos.

El proyecto de investigación antes mencionado, resulto importante para el estudio; ya que, brindó los aportes metodológicos necesarios para el desarrollo de los objetivos planteados.

Mena, J. (2010). *“Elaboración de Estrategias de Inspección y Mantenimiento para Equipos Estáticos Basadas en Riesgo”*. Caso: *Planta de Generación de Vapor, Refinería de Puerto La Cruz*. Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, para optar por el título de Ingeniero Mecánico. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo, elaborar estrategias de inspección de los equipos estáticos que operan en la Planta de Generación de Vapor, que sugieran acciones de mantenimiento oportunas y efectivas según el nivel de riesgo que presenten los equipos para detectar el deterioro ocasionado por mecanismos de degradación presentes en ellos. Para lograr lo planteado, se diagnosticó el estado actual de los equipos obteniéndose que estos equipos nunca habían sido sometidos a un estudio de riesgo; se identificaron algunos de los mecanismos de degradación que influyen en el deterioro de éstos, siendo el más común el mecanismo de adelgazamiento de espesor, luego se estimó el riesgo para cada equipo utilizando el Software API-RBI y se generó la matriz de riesgo obteniéndose que de la población total de 15 equipos, 8 (53%) se encuentran en riesgo medio-alto, 5 (33%) en riesgo medio y 2 (13%) riesgo bajo. En función a esta condición, se elaboraron planes de mantenimiento para cada uno de los equipos de

acuerdo con el nivel de riesgo obtenido. Se estimó el comportamiento del riesgo que pudiesen presentar los equipos en dos escenarios, un escenario en el cual se proyecta el valor de riesgo sin inspecciones en los equipos, y, por otro lado, un valor de riesgo cuando se implementan los planes de inspección propuestos. Con la implementación de los planes de inspección propuestos, se estimó una reducción del porcentaje de equipos de riesgo medio a riesgo bajo en un 20%, teniendo como beneficio directo una disminución en las labores de inspección y mantenimiento, y traducido en una reducción de costos para la Empresa PDVSA Refinación Oriente, mientras que para el caso contrario, en caso de no ejecutarse inspecciones en los equipos, se estimó un incremento de 7%, el porcentaje de equipos que presentarían riesgo medio-alto.

El proyecto de investigación citado anteriormente ayudó a ampliar los conocimientos necesarios para la aplicación de la metodología de Inspección Basada en Riesgo, así como también, ayudó con el desarrollo de los planes de inspección, de manera que podamos cumplir con los objetivos planteados en la Refinería San Roque.

López, I. y Rodríguez A. (2010). *“Plan de Mantenimiento Preventivo para las Bombas Centrífugas P001 A/B/C del Proceso de Coquificación de una Planta Mejorada de Crudo en el Estado Anzoátegui”*. Trabajo de grado presentado para optar por el título de Ingeniero de Sistemas, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para las bombas P001 A/B/C del proceso de coquificación retardada de una planta mejoradora de crudo en el estado Anzoátegui, basándose en la técnica de Weibull, el AMEF, y los registros de fallas de las bombas. Para el logro de los objetivos planteados, se realizaron diversas entrevistas con las personas que operan las bombas con la finalidad de conocer el funcionamiento general del sistema. Se procedió a buscar los registros de fallas de las bombas para identificar las fallas que presentaban; posteriormente se realizó el análisis de Weibull de cada una de las bombas determinando así la vida característica

de las mismas y la etapa en que se encontraban. Seguidamente se realizó un análisis de modo y efecto de fallas, fijando así los modos de fallas a los cuales están expuestas las bombas. Finalmente, se estableció el plan de mantenimiento preventivo con las respectivas actividades a realizar para las bombas P001 A/B/C, dejando planteado el mismo y recomendando su aplicación para el mejoramiento del desempeño y eficiencia de los equipos.

El trabajo de investigación mencionado anteriormente, sirvió de guía; ya que, ayudó a afianzar los conocimientos necesarios para la aplicación del Análisis de Modos Efectos de Fallas (AMEF) de manera que se pudieran identificar los modos de fallas de los equipos de forma correcta.

López, J. (2009). *“Elaboración de Planes de Inspección Basados en el Nivel de Riesgo de los Equipos Estáticos del Sistema de Recuperación de Gases”*. Caso: *Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) de la Refinería de Puerto La Cruz*. Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui para optar por el título de Ingeniero Mecánico. Este trabajo corresponde a un estudio de riesgo a los equipos estáticos pertenecientes al sistema de Recuperación de Gases de la Unidad de Fraccionamiento Catalítico Fluidizado de la Refinería de Puerto La Cruz, mediante la aplicación de la metodología inspección basada en riesgo (IBR), utilizando el software API-RBI 3.3.3 desarrollado por API (American Petroleum Institute). Se evaluaron 27 equipos conformados por 19 Intercambiadores, 4 Tambores y 4 Torres (2 Torres Absorbedoras, 1 Torre Debutanizadora y 1 Torre Despojadora). El estudio se inició con la consulta y recopilación de información de diferentes fuentes bibliográficas, manuales de operación, diagramas del proceso en la Planta, libros técnicos especializados, entre otras fuentes de información relacionadas al tema, luego se determinaron los mecanismos de degradación y velocidades de corrosión de cada uno de los equipos que conforman el sistema, seguidamente se estimó la frecuencia y consecuencia de falla, obteniéndose el riesgo cuantitativo y

cualitativo inherente a cada activo objeto de estudio, donde se determinó que el 26% de los equipos están en Alto Riesgo, 35% en Riesgo Medio Alto, 8% Riesgo Medio y el 31% con un Bajo Riesgo. La metodología permitió definir la cantidad de inspecciones que deben realizarse durante el tiempo establecido por la empresa (10 años) y técnicas de inspección para todos los componentes del sistema, con el fin de detectar el deterioro del equipo en servicio antes de que ocurra la falla y tomar medidas para evitarlas, beneficiando así el Sistema y por ende la Unidad de proceso.

El trabajo de investigación contribuyó a afianzar los conocimientos necesarios para la aplicación de la metodología de inspección basada en riesgo; y de esta manera, poder desarrollar los objetivos propuestos.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Equipo**

El Manual de Mantenimiento de PDVSA MM-01-01-01 (2013), señala que:

Es un elemento de producción dentro de un arreglo lógico funcional que cumple con los siguientes criterios:

- Está sujeto a planes de mantenimiento.
- No es componente, parte o pieza (ejemplos: sello mecánico, manómetros, haz de tubo, tarjeta electrónica, entre otros).
- El valor de reemplazo es mayor que el costo de mantenimiento.
- Es trazable en el tiempo.
- Está sujeto a un control de gastos ocasionados por la aplicación de mantenimiento correctivo, preventivo, proyectos de mantenimiento y paradas de planta.
- Requiere llevar un histórico de mantenimiento para dar cumplimiento a las normativas de PDVSA y disposiciones legales. (p.09).

Un equipo es una colección de utensilios, instrumentos y aparatos especiales utilizados en una empresa o plantas industriales para un fin determinado.

### **2.2.2 Sistema**

Según el Manual De Seguridad Industrial de PDVSA SI-S-06 (2009), lo define como: “un conjunto de elementos inter-relacionados que interactúan y entre los que existe cohesión y unidad de acción con una función específica y un propósito determinado”. (p.08).

Es un módulo ordenado de elementos que se encuentran interrelacionados y que interactúan entre sí.

### **2.2.3 Sistema de Agua Contra Incendios**

El Manual de Ingeniería de Riesgos PDVSA IR-S-13 (2000), señala que: “es un sistema cuya función es distribuir agua contra incendios a través de la planta o instalación. Incluye sistemas de tuberías, tanques, hidratantes y bombas contra incendios, pero excluye sistemas de rociadores y sistemas de espuma”. (p.03).

Los sistemas de agua contra incendios son aquellos que están destinados a preservar la seguridad de una planta industrial y del personal que allí labora en caso de incendios accidentales.

### **2.2.4 Bomba de Incendios**

La Norma NFPA 25 (2002), define la bomba de incendios como: “una bomba que suministra agua al flujo y presión requeridos por los sistemas de protección de incendios a base de agua”. (p.12).

Esto quiere decir, que es una bomba que se encarga de suministrar a la red la cantidad de agua necesaria en caso de incendios.

### **2.2.5 Bombas Centrífugas Horizontales**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-M-03 (1999), establece que:

Las bombas centrífugas horizontales son capaces de suministrar un ciento cincuenta por ciento (150%) de su capacidad nominal, a una presión no menor del sesenta y cinco por ciento (65%) de la presión nominal. A cero flujos, la presión no deberá exceder el ciento cuarenta por ciento (140 %). (p.20).

Son aquellas bombas que convierten la energía de una fuente de movimiento (el motor) primero en velocidad (o energía cinética) y después en energía de presión.

### **2.2.6 Bombas de Presurización**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-M-03 (ob.cit.), establece que:

La red de distribución de los sistemas de agua contra incendio, se mantendrá presurizada con el objeto de disminuir el tiempo de respuesta en la actuación del sistema y para detectar rápidamente la existencia de fugas y obstrucciones en las tuberías. La capacidad de la bomba presurizadora dependerá de la complejidad de la red de distribución, cuyo caudal se encuentra normalmente entre 50 y 100 gpm. Se deberán tomar las previsiones de diseño necesarias para mantener la presurización de la red de agua contra incendios, en caso de falla o mantenimiento de la bomba presurizadora. (p.22).

Son aquellas que se utilizan para darle presión a una red de distribución; con el fin, de disminuir el tiempo de respuesta de un evento no deseado. La presión máxima

de presurización deberá establecerse lo más cercana posible a la presión de operación de la bomba principal contra incendio.

### **2.2.7 Programas de Seguridad Contra Incendios**

Simons, A. (1995), establece que:

El centro de procesamiento y afines debe poseer detectores de humo los cuales deben activarse de forma automática al momento de una emanación considerable de humo. Estos dispositivos deben probarse regularmente para corroborar su funcionamiento. En caso de ser detectores de incendios con prolongación automática de agua, deben ubicarse en áreas lejos de los equipos y material no recuperable por contacto con agua. (p.162).

El centro de procesamiento debe disponer de suficientes extintores de incendios portables y que deben ser probados periódicamente a fin de que estos puedan funcionar en los casos de emergencias.

Debe hacerse una revisión visual de su presurización procediendo a enviar, a cargar o descargar el extintor al centro de mantenimiento respectivo.

### **2.2.8 Objetivo del Sistema de Protección Contra Incendios**

Según el Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (2010), establece que:

El peligro de incendios es un riesgo que está siempre presente, tanto por la relativa facilidad que existe para su inicio como por los daños que puede generar en un periodo relativamente corto. El objetivo de un sistema de seguridad contra incendios es el reporte del inicio de un incendio, mediante la detección de cualquier situación de riesgo que se presente en un determinado ambiente. (p.06).

De la misma manera; el objetivo principal del sistema de protección contra incendios es eliminar el mayor número de riesgos de fuego, el estudio de sus posibilidades y de sus causas, los medios de propagación y los factores necesarios para que estos se desarrollen.

### **2.2.9 Concepción Básica de los Sistemas de Agua Contra Incendio**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-M-03 (ob.cit.), señala que:

El diseño de los sistemas de agua contra incendios, está basado en el principio de que solamente ocurrirá un incendio mayor al mismo tiempo, en una instalación. Se considera como incendio mayor aquel que involucra a una sección o bloque de una instalación y que requiera al máximo consumo de agua. (p.04).

Para determinarlo se deben considerar los distintos bloques que conforman la instalación, de acuerdo a lo siguiente:

- Definir las secciones o bloques de la instalación. Los distintos bloques que conforman una instalación, solo podrán considerarse independientes cuando la separación entre ellos cumpla con lo establecido en la norma PDVSA IR-M-01 “*Separación entre Equipos e Instalaciones*”.
- Estimar los consumos de agua para cada bloque o sección y seleccionar aquel bloque que requiera el máximo consumo de agua.
- Diseñar el sistema para que satisfaga el caudal total requerido en la sección o bloque de mayor consumo, esto garantizara el caudal total requerido en cada sección o bloque; ya que, no se requiere que el sistema satisfaga simultáneamente todos los requerimientos individuales de agua para las diferentes secciones. (p.05).

Estos sistemas deben estar completamente operables, confiables, que se les pueda proporcionar un fácil mantenimiento, que no sean obstáculos al momento de

realizar mantenimiento al equipo a proteger y que cuenten con un sistema de medición que permita mantener el control de su funcionalidad. Además, debe operar de acuerdo a las tecnologías más recientes en el mercado; ya que, esto dará confiabilidad al usuario y garantizará una mayor seguridad.

### **2.2.10 Fuentes de Suministro de Agua**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-M-03 (ob.cit.), señala que: “siempre que sea posible, la fuente de suministro de agua se especificará, como un suministro ilimitado de agua proveniente de fuentes naturales, tales como lagos, mares o ríos”. (p.05). Cuando el suministro de agua sea limitado, deberá disponerse de facilidades de almacenamiento (tanque) de donde se obtiene la cantidad de agua requerida hacia el punto emergente de la red de distribución.

No deberán existir conexiones permanentes entre el sistema de almacenamiento de agua contra incendios y otros sistemas o procesos, que permitan la utilización del agua contra incendios para otros propósitos.

#### **2.2.10.1 Capacidad**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-M-03 (ob.cit.), establece que:

Cuando la fuente de suministro de agua sea limitada, se requiere una capacidad de almacenamiento mínima de seis (6) horas, a la demanda máxima de diseño de la instalación. Esta se determinará para el incendio único mayor en la sección o bloque que requiera el máximo consumo de agua. (p.05).

Aquellas instalaciones de producción en donde se haya determinado la necesidad de un sistema de agua contra incendios y que estén ubicadas en zonas remotas donde no exista una fuente ilimitada de agua, podrán tener una capacidad de almacenamiento mínimo de tres (3) horas a la demanda máxima de diseño. Esta condición aplicará solamente a las instalaciones individuales de producción ubicadas en tierra firme.

Una tasa de reposición del agua contra incendios del 50% de la tasa máxima de descarga es recomendable para el llenado del tanque; en caso de no poderse suministrar esta tasa de reposición, deberán evaluar opciones para incrementar la capacidad de almacenamiento de agua contra incendios.

Adicionalmente, deberán preverse facilidades de almacenamiento de agua, para garantizar el suministro de agua contra incendios durante el periodo de mantenimiento del tanque o reservorio.

#### **2.2.10.2 Calidad de Agua**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-M-03 (ob.cit.), establece que:

La calidad del agua podrá ser la misma que ella presenta desde su fuente natural (lago, mar y río). Sin embargo, deberán considerarse en el diseño y selección de los materiales aquellos problemas asociados con el uso del agua en esta forma. Los problemas más comunes son la corrosión y la abrasión, los cuales podrán ser atenuados con el uso de materiales adecuados con el equipo de bombeo, revestimientos en tuberías y sistemas apropiados de filtrado. Así mismo, debe evaluarse la necesidad de instalar facilidades para la inyección de aditivo para evitar el crecimiento de algas y bacterias (p.06).

El principal factor limitante de la calidad del agua para extinción, es en su aplicación para la formación de espuma contra incendios. Esta aplicación exige que el agua esté siempre libre de aditivos químicos o contaminantes, que impidan la adecuada formación y estabilidad de las espumas.

### **2.2.11 Requerimientos de Agua**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-M-03 (ob.cit.), señala que:

Los requerimientos o caudales de agua contra incendios para las diferentes secciones de una instalación, se determinan normalmente en función de tasas mínimas de aplicación. Estas tasas han sido establecidas tomando en cuenta, entre otros factores: la separación entre equipos, el riesgo presente y la naturaleza de los productos involucrados. El requerimiento total de agua para una instalación estará dado por la suma de los requerimientos de agua para los sistemas fijos o semifijos de espuma, agua pulverizada y/o rociadores, entre otros, requeridos para la protección de equipos y control de emergencias de una determinada sección. (p.07).

La aplicación de agua contra incendios en una instalación podrá realizarse a partir de hidrantes, monitores, sistemas automáticos de rociadores y/o sistemas de agua pulverizada.

### **2.2.13 Red de Distribución**

El Manual de Estimación de Costos Clase V (Tipo Curvas) de PDVSA MEC-300-07-01 (1994), establece que:

Es una malla formada por lazos de tuberías alrededor de las diferentes instalaciones. El dimensionamiento es el resultado de un balance hidráulico considerando como caudal de diseño, el máximo requerido en la planta o en el área con mayor demanda. Una red

contra incendio debe estar provista de hidrantes, ubicados alrededor y dentro de las instalaciones. (p.04).

Es un conjunto de tuberías válvulas y accesorios, que permiten la conducción del agua desde las fuentes de alimentación hasta los puntos de conexión de cada equipo asociado al sistema contra incendio.

#### **2.2.14 Requerimientos Generales de la Red de Distribución**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-M-03 (ob.cit.), establece que:

- a) El dimensionamiento de la red principal de tuberías será el resultado del cálculo hidráulico correspondiente, considerando como caudal de diseño el requerido en la sección o bloque con mayor demanda de una instalación. En el cálculo hidráulico, normalmente se utiliza una combinación de los métodos de Hardy-Cross y Hazen-Williams, con  $C=100$  para tuberías de acero al carbono y  $C=140$  para tuberías revestidas internamente con concreto.
- b) La velocidad de agua en las tuberías principales de la red de distribución, no será mayor de 3 m/s (10 pies/s).
- c) Las tuberías principales de la red no serán de diámetro inferior a 200 mm (8 pulgadas), en aquellos casos en que el caudal de diseño sea superior a 227 m<sup>3</sup>/h (1000 gpm). Para caudales inferiores o iguales a 227 m<sup>3</sup>/h (1000 gpm), las tuberías principales de la red no podrán ser de un diámetro inferior a 150 mm (6 pulgadas). (p.31).

Los requerimientos generales o caudales de agua contra incendio para las diferentes secciones de una instalación, se determinan normalmente en función de tasas mínimas de aplicación.

### **2.2.15 Boca de Agua**

Según el Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), lo define como: “un punto de conexión de las mangueras contra incendio”. (p.10). Es una conexión diseñada para proporcionar un caudal considerable en caso de incendio.

### **2.2.16 Revestimiento Contra Incendio**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), señala que: “son materiales aplicados a un sustrato dado para retardar la transferencia de calor a dicho sustrato, en caso de incendio”. (p.36). Es un tipo de defensa que asegura la integridad de los equipos, hasta el momento en que se tomen las medidas de control operacional y combate de incendios necesarias.

### **2.2.17 Motores**

Según el Manual de Equipos Contra Incendios (2001), establece que:

Los motores son mecanismos que transforman la energía eléctrica, química, energía potencial, etc., en energía mecánica quedando esta energía mecánica disponible a través del eje de salida del motor, accionando a su vez otros mecanismos para dar “movimiento” a un aparato. (p.04).

Es la parte sistemática de una máquina capaz de hacer funcionar el sistema, transformando algún tipo de energía, en energía mecánica capaz de realizar un trabajo.

### **2.2.18 Motor Diésel**

El Manual de Equipos Contra Incendios (ob.cit.), establece que: “en los motores diésel, el encendido se produce como consecuencia de una alta temperatura, que es la que posibilita que se comprima el aire en el interior del cilindro, es decir, es un motor térmico de combustión interna”. (p.04). Es un motor térmico que tiene combustión interna alternativa que se produce por la auto-ignición del combustible debido a altas temperaturas derivadas de la alta relación de compresión que posee, según el principio del ciclo del diésel.

### **2.2.19 Motor Eléctrico**

El Manual de Equipos Contra Incendios (ob.cit.), los define como:

Dispositivos que transforman energía eléctrica en energía mecánica, gracias a la acción de los campos magnéticos que se crean en las bobinas que los componen, la energía eléctrica hace que los campos magnéticos desplacen fuerzas que dan como resultado el desplazamiento del rotor, que, al estar fijado al estator, se desplaza en un movimiento giratorio. (p.04).

Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor.

### **2.2.20 Señalización**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), señala que: “es el conjunto de estímulos que condicionan la actuación del individuo que los recibe frente a unas circunstancias (riesgos, protecciones necesarias a utilizar, entre otros) que se pretenden resaltar. (p.38). Sirven para informar o advertir de la existencia de un riesgo o peligro.

## **2.2.21 Señales de Alarma Contra Incendio**

### **2.2.21.1 Señal de Alarma**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), señala que: “es el aviso característico de tipo audible o visible, utilizado para indicar una emergencia que requiere actuación inmediata”. (p.38). Es una señal que advierte a los trabajadores para que sigan instrucciones específicas de emergencia debido a la presencia real o inminente de una amenaza.

### **2.2.21.2 Señal de Alarma General**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), la define como: “la señal de alarma audible de sonido variable característico, que indica la existencia de una situación de emergencia en una instalación”. (p.38). Es la señal o aviso que advierte sobre la proximidad de un peligro.

### **2.2.21.3 Señal de Alarma Previa**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), establece que: “es la señal de alarma audible y visible que emite el tablero central de control, al ser activado un dispositivo iniciador de alarma, indicando además la zona afectada”. (p.38). Es aquella que emite el tablero central de control indicando la zona la zona afectada.

### **2.2.21.4 Señal de Avería**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), señala que: “es la señal que indica en forma audible y visible, la existencia de una avería de

cualquier naturaleza en los dispositivos o circuitos eléctricos asociados a un sistema de detección y alarma de incendio, especificando la zona afectada”. (p.38). Es aquella que indica el origen de una avería que ocurra en los dispositivos o circuitos eléctricos asociados al sistema.

#### **2.2.21.5 Señal Supervisoría**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), señala que: “es la señal generada desde el tablero central de control, para indicar o verificar el funcionamiento de los componentes de un sistema de detección y alarma”. (p.38). Es un medio de protección, para asegurar que el sistema de detección y alarma permanezca en condiciones óptimas de funcionamiento.

#### **2.2.22 Tablero Central de Control**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), lo define como: “el gabinete o conjunto modular que contiene los dispositivos, circuitos y controles necesarios para emitir y recibir señales supervisorías, señales de alarma, activar dispositivos iniciadores de alarma y otros accesorios”. (p.40). Son los encargados de controlar las distintas señales emitidas de forma automática, por los dispositivos que conforman el sistema.

#### **2.2.23 Tablero Remoto**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), lo define como: “el gabinete o conjunto modular que contiene los dispositivos, circuitos y controles necesarios para recibir señales supervisorías y de alarma, así como transmitir dichas señales al tablero central de control”. (p.40). Son los encargados de controlar el encendido y apagado de cada uno de los equipos del sistema, emitiendo

señales de manera independiente, las cuales son transmitidas al tablero central de control.

#### **2.2.24 Hidrante Contra Incendio**

El Manual de Especificaciones Técnicas de Materiales de PDVSA EM-36-12/01 (1991), señala que: “es un dispositivo de suministro de agua o espuma para el combate de incendios, conectado a la red del acueducto, a la red de agua o al sistema de espuma contra incendio de la instalación”. (p.02). Son dispositivos de suministro de agua para el combate de incendios, conectados a la red contra incendio.

#### **2.2.25 Hidrante Industrial**

El Manual de Especificaciones Técnicas de Materiales de PDVSA EM-36-12/01 (ob.cit.), indica que: “es un dispositivo de suministro de agua o espuma para el combate de incendios, conectado a la red de agua o al sistema de espuma contra incendio de la instalación”. (p.02). Son dispositivos destinados para la prevenir y controlar incendios, los cuales están conectados a una red de distribuciones.

#### **2.2.26 Monitores Contra Incendio**

El Manual de Estimación de Costos Clase V (Tipo Curvas) de PDVSA MEC-300-07-01 (ob.cit.), los define como: “dispositivos de acción manual o remota diseñados para descargar un caudal de agua o espuma en forma de chorro directo o neblina”. (p.04). Es un dispositivo que distribuye un gran caudal de agua o espuma, el cual puede ser alimentado con un sistema fijo o con mangueras.

### **2.2.27 Presión Residual**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), establece que: “es la presión existente en un determinado punto de la red de agua contra incendios, en condiciones de flujo en la red”. (p.35). Representa la presión sobrante de un sistema de distribución en un lugar específico cuando fluye una cantidad determinada de agua.

### **2.2.28 Integridad Mecánica de Equipos Críticos (IMEC)**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-14 (2000), establece que “es un sistema que garantiza que el diseño, fabricación, instalación, pruebas, inspección, monitoreo y mantenimiento de equipos críticos, se realice de acuerdo a los estándares de ingeniería, contribuyendo con la operación segura de los mismos”. (p.04). Podemos decir, que la integridad mecánica es la que tiene por objeto que todo equipo sea inspeccionado o reemplazado para prevenir accidentes o riesgos a las personas e instalaciones.

### **2.2.29 Corrosión**

Es el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. También, puede entenderse como la tendencia general que tienen los materiales a buscar su forma más estable o de menor energía interna.

Según Gómez, F. (2006), la corrosión:

Se denomina corrosión al ataque destructivo que sufre un material generalmente metálico, por reacción química o electroquímica con su medio ambiente (atmósfera, suelo, agua, etc.). El termino corrosión suele referirse normalmente al ataque de los metales,

aunque otros materiales no metálicos como las cerámicas y los polímeros, también pueden ser deteriorados por ataques químicos directos, pero en estos casos suelen utilizarse el término degradación. (p.13).

### **2.2.30 Mecanismos de Degradación**

Según el Manual de Ingeniería de Corrosión (2007), señala que:

Un mecanismo de degradación es un fenómeno que induce un deterioro micro y/o macro, el cual promueve un cambio en las condiciones del material estructural y que resulta perjudicial para sus propiedades mecánicas. Los mecanismos de degradación son generalmente graduales, acumulativos, e irrecuperables. Mecanismos de degradación comunes están asociados con ataque químico, termofluencia, corrosión, fatiga, fractura, fragilización, térmicas y de envejecimiento. (p.38).

Son sucesos que influyen en el deterioro que sufre un material cuando pierde sus condiciones estructurales.

### **2.2.31 Tipos de Mecanismos de Degradación más Comunes**

Según el Manual de Ingeniería de Corrosión (ob.cit.), señala que los tipos de mecanismo de degradación más comunes son:

#### **2.2.31.1 Corrosión Uniforme**

La corrosión uniforme o general, es la forma más simple de la corrosión, y representa una pérdida uniforme de metal sobre la superficie expuesta. La pérdida de metal es debido al ataque químico o la disolución del componente metálico en iones metálicos. En situaciones de alta temperatura, la pérdida de metal uniforme es generalmente precedida por la combinación con otro elemento en vez de su oxidación a un ion metálico. La combinación

con oxígeno puede producir óxidos metálicos, o escamas, los cuales pueden resultar en la pérdida del material necesaria para conservar sus propiedades ingenieriles, por otro lado, la escala se pela en última instancia para regresar a su estado natural. (p.39).

Es la corrosión más común y la que genera mayores pérdidas de material. Sin embargo, al ser de tipo superficial es la más fácil de controlar y por lo tanto la que menos accidentes provoca.

### **2.2.31.2 Corrosión por Picaduras**

La corrosión por picaduras es un mecanismo de corrosión, pero representa a menudo, una forma de la corrosión relacionada con otras clases de mecanismos de corrosión. Es caracterizado por una pérdida muy localizada de metal. En el caso extremo, aparece como un hoyo hondo y diminuto en una superficie, estando el resto de la superficie totalmente inmune. La iniciación de un hoyo es relacionada con la pérdida de la película protectora sobre la superficie de metal. (p.39).

Es un fenómeno localizado que se manifiesta por anomalías que crecen rápidamente hacia el interior del material y que pueden generar daños catastróficos.

### **2.2.31.3 Corrosión Atmosférica**

La corrosión atmosférica es un proceso de electroquímico complicado que tiene lugar en celdas de corrosión que constan de un metal base, productos de corrosión metálicos, electrólito de superficie, y la atmósfera. Muchas variables influyen en las características de corrosión de una atmósfera. La humedad relativa, temperatura, contenido de dióxido de azufre, contenido de sulfuro de hidrógeno, contenido de cloruro, cantidad de precipitación, polvo, e incluso la posición del metal expuesto exhiben influencias notables sobre el comportamiento de corrosión. La ubicación geográfica es también un factor.

Debido a que la corrosión atmosférica es un proceso electroquímico, un electrólito debe estar presente en la superficie del metal para que la corrosión pueda ocurrir. En ausencia de humedad, que es el electrólito común relacionado con la corrosión atmosférica, los metales se corroen a una tasa insignificante. (p.40).

Es aquella que transcurre por un mecanismo de naturaleza electroquímica La corrosión atmosférica es la causa más frecuente de la destrucción de los metales y aleaciones.

#### **2.2.31.4 Corrosión Bajo Aislamiento**

La corrosión bajo aislamiento resulta por la acumulación de agua en espacios entre el material aislante y la superficie de metal. Las fuentes del agua podrían incluir la lluvia, fugas de agua, condensación, agua de torres de enfriamiento, sistemas de diluvio, y las fugas de trazas de vapor de agua. La corrosión bajo aislamiento causa la pérdida de espesor de pared en forma de corrosión localizada. Este tipo de corrosión generalmente ocurre en el rango de temperatura entre 10°F y 250°F, siendo el rango de temperatura de 120°F para 200°F, el ambiente más grave en general. (p.40).

Es aquella que puede ocurrir en acero al carbono, hierro fundido y acero inoxidable, como resultado de la entrada o saturación de agua en el aislamiento térmico de tuberías y contenedores, lo que conduce a una rápida corrosión.

#### **2.2.31.5 Termofluencia**

La termofluencia es una forma de daño por recalentamiento que ocurre durante un largo período y la cual produce una ruptura pronunciada generalmente en el vértice de una protuberancia o abombamiento. La termofluencia puede producir una lenta deformación plástica y la unión eventual de microvacíos en el metal durante el recalentamiento. (p.41).

Es la deformación que puede sufrir un material cuando se somete a temperatura elevada, y durante largos periodos, aun cuando la tensión o esfuerzo aplicado sea menor que su coeficiente de resistencia a la fluencia.

### **2.2.32 Medidas Correctivas**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), señala que: “son las acciones destinadas a eliminar, controlar, aislar y reducir los riesgos”. (p.32). Son aquellas que sirven para corregir un problema real detectado y evitar su repetición.

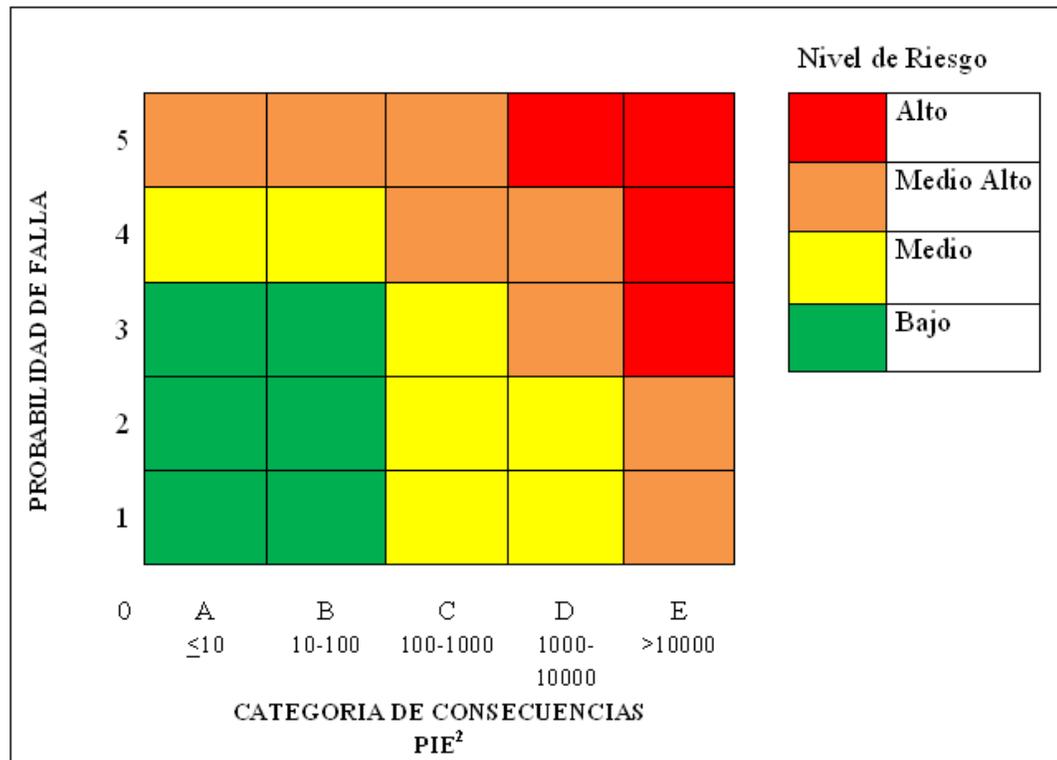
### **2.2.33 Inspección Basada en Riesgo (IBR)**

El Manual de Procedimiento de Inspección PDVSA PI-02-09-01 (2008), establece que: “es una metodología estática (foto), aplicable a recipientes y tuberías basado en criterios de riesgos derivados de la práctica API-RP-580, que permite optimizar los planes de inspección asociados a las paradas de planta”. (p.08). Según se ha citado, la metodología de inspección basada en riesgo es una herramienta de análisis que estima el riesgo asociado a la operación de equipos estáticos, y evalúa la efectividad del plan de inspección en reducir dicho riesgo.

Gráficamente; como se puede observar en la figura 2.1, esta metodología permite la ubicación del nivel de riesgo de los equipos analizados en una matriz de 5x5 que presenta cuatro (4) niveles de clasificación de riesgo los cuales son:

- Riesgo Bajo: representado típicamente en color blanco o verde,
- Riesgo Medio: presentado en amarillo,
- Riesgo Medio – Alto: graficado en naranja

- Alto Riesgo: mostrado en rojo.



**Figura 2.1. Matriz de Riesgo según IBR**

Fuente: Norma API 581

### 2.2.34 Pasos Básicos para Aplicar la Inspección Basada en Riesgo (IBR)

El Manual de Procedimiento de Inspección PDVSA PI-02-09-01 (ob.cit.), establece que los pasos básicos para aplicar el IBR son:

- Selección de la unidad de análisis.
  - Identificación de variables y recopilación de información.
  - Cuantificación del riesgo utilizando el software.
- La información anterior es la base para:*
- Optimización de planes de inspección.
  - Implantación.
  - Evaluación y seguimiento de los planes optimizados. (p.27).

### 2.2.35 Características Principales de la Inspección Basada en Riesgo (IBR)

Según el Manual de Procedimiento de Inspección PDVSA PI-02-09-01 (ob.cit.), las características principales del IBR son:

- Se fundamenta en un software diseñado por “API”, caso de aplicación LEVEL III, que permite modelar el riesgo.
- Su producto es una matriz de riesgo y planes de inspección.  
*La metodología IBR está especificada de la siguiente forma:*
- Define las unidades de operación dentro de un equipo para identificar zonas de alto riesgo.
- Estima el riesgo asociado de la operación de cada equipo basado en una metodología consistente.
- Da prioridad a los equipos tomando como base la medida del riesgo.
- Maneja sistemáticamente el riesgo de la falla del equipo. (p.20).

En otras palabras, el IBR es aquella metodología que, mediante la utilización de un software, recolecta datos e información de los equipos, evaluando sus consecuencias y probabilidades de falla, tomando como base el análisis del comportamiento histórico de las mismas y finalmente genera una matriz de riesgo y planes de inspección.

### 2.2.36 Beneficios del Programa de Inspección Basada en Riesgo (IBR)

El Manual de Procedimiento de Inspección PDVSA PI-02-09-01 (ob.cit.), señala que algunos de los beneficios del IBR son:

- *Mejoramiento del control de riesgo:* mayor atención a los equipos de alto riesgo.
- *Optimización de actividades:* uso efectivo de los recursos requeridos para la inspección y mantenimiento.

- *Incremento de la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de la instalación mediante la reducción de la frecuencia de fallas.*
- *Documentado y auditable:* herramienta útil para la toma de decisiones. (p.25).

Se puede deducir que, el programa de inspección basada en riesgo es aquel que permite reducir el riesgo debido a las fallas de alta consecuencia; y, además, evalúa el efecto de los cambios en operaciones y procesos que afectan la integridad de los equipos.

### **2.2.37 Análisis de Inspección Basada en Riesgo (IBR)**

El Manual de Proceso de Mantenimiento de Rutina de PDVSA MR-02-15-06 (2004), establece que:

El análisis de Inspección Basada en Riesgo se centra en activos estacionarios o fijos. El análisis debe considerar los siguientes factores, cuando se están desarrollando planes de inspección basada en riesgo y los intervalos de inspección:

- Código de construcción.
- Condiciones del proceso operacional.
- Elementos corrosivos/erosivos, y las concentraciones.
- Mecanismos de deterioro.
- Años en servicio.
- Espesor original de la pared.
- Tasa de corrosión / erosión.
- Frecuencia y resultados de la inspección histórica. (p.04).

Basándose en estos factores, se calcula la consecuencia y la probabilidad de deterioro, para determinar el riesgo total. Tomando como base, el grado de riesgo asociado con cada activo, se desarrolla el Programa de Mantenimiento Planificado, y se incluye la información necesaria a usar para determinar las ventanas de tiempo para el mismo, así como los paros para Inspección de la unidad de procesos.

### **2.2.38 Riesgo**

Según el Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), señala que: “es la medida del potencial de lesiones humanas, daño ambiental o pérdidas económicas, en términos de la probabilidad de ocurrencia de un accidente (frecuencia) y magnitud de las lesiones, daño al ambiente o pérdidas económicas (consecuencias)”. (p.37). En otras palabras; se puede decir que. el riesgo es una posibilidad de que se produzca un contratiempo o una desgracia, de que alguien o algo sufran perjuicio o daño.

### **2.2.39 Análisis de Riesgos del Trabajo**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-17 (2006), establece que:

Es el proceso documentado que consiste en la identificación de los peligros y evaluación de los riesgos, antes y durante la ejecución de un trabajo, para el establecimiento de medidas preventivas y de control que ayuden a evitar la ocurrencia de incidentes, accidentes, enfermedades ocupacionales y/o daños al ambiente, instalaciones o equipos. (p.04).

En resumen, se dice que; un análisis de riesgo en el trabajo es un procedimiento que lleva a integrar los principios y prácticas de salud y seguridad aceptadas en una operación en particular.

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

Smith, A. (1992), lo define como:

Una filosofía de gestión de mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimar la confiabilidad operacional de los activos en su contexto operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definido, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema. (p.177).

De lo anterior se deduce que, el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una metodología que permite analizar las funciones de los activos, identificar cuáles son sus posibles fallas, y detectar los modos de fallas o causas de fallas, estudiar sus efectos y analizar sus consecuencias.

#### **2.2.41 Preguntas Básicas del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)**

Suárez, D. (2008), establece que las siete (07) preguntas básicas son:

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares deseados de desempeño del activo en su contexto operacional actual (Funciones)?
2. ¿De qué manera el activo puede dejar de cumplir sus funciones (Fallas Funcionales)?
3. ¿Qué causa cada falla funcional (Modo de Falla)?
4. ¿Qué ocurre cuando sucede cada falla (Efectos de Falla)?
5. ¿Cómo impacta cada falla (Consecuencia de Fallas)?
6. ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla funcional (Tareas Proactivas y Frecuencia)?
7. ¿Qué ocurre si no se puede evitar la falla?. (p.189).

Según El Manual de Mantenimiento de PDVSA MM-01-01-01 (ob.cit.), establece que:

Para la consecución de estas preguntas se cuenta con esta técnica de confiabilidad claves en la aplicación del MCC como el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) y el Árbol Lógico de Decisiones (ALD). Las primeras ayudan a determinar las consecuencias de los modos de fallas de cada activo en su contexto operacional, mientras que la segunda permite decidir cuáles son las actividades de mantenimiento más óptimas. La primera técnica ayuda a responder las cuatro primeras preguntas, mientras que la segunda ayuda a responder las restantes. (p.103).

La realización de estas preguntas ayudó para la aplicación de la herramienta principal del MCC, la cual es el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF).

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

Duffuaa, S. (2002), lo explica como:

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) es una técnica empleada para cuantificar y clasificar las fallas críticas en el diseño del producto o el proceso. Comprende la identificación de todas las características funcionales y secundarias. Así, para cada característica, el AMEF identifica una lista de fallas potenciales y su impacto en el desempeño global del producto. Asimismo, se estima la probabilidad y severidad de la falla (problema). (p.270).

Se puede decir, que el Análisis de Modos y Efectos de Falla es una técnica que permite estudiar cada componente de un sistema y saber cómo fallaría, la probabilidad de la falla y efecto en la función del sistema.

#### **2.2.43 Falla**

Suárez, D. y Marchan, J. (2004), señala que: “es el estado de un elemento activo cuando llega a ser completamente inoperante o, aun cuando todavía puede operar, no realiza satisfactoriamente su función o porque su condición insegura de

funcionamiento no se permita su uso”. (p.78). Una falla es el estado en el que un equipo o componente se encuentra no disponible para desarrollar una función específica a un nivel de operación deseado.

#### **2.2.44 Modo de Falla**

Suárez, D. y Marchan, J. (ob.cit), lo explica como: “el que provoca la pérdida de función total o parcial de un activo en su contexto operacional, cada falla funcional puede tener más de un modo de falla”. (p.78). Es evidente entonces que, un modo de falla es la manera en la cual se manifiesta una falla.

#### **2.2.45 Efecto de Falla**

Suárez, D. y Marchan, J. (ob.cit), establece que: “un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, y la descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas”. (p.78). Un efecto de falla es la consecuencia que puede traer consigo la ocurrencia de un modo de falla.

#### **2.2.46 Equipos Críticos**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-14 (ob.cit.), establece que:

Por equipo crítico se entiende cualquier recipiente, máquina, conexión, componente de tubería, sistemas instrumentados de seguridad, sistema de prevención y protección contra incendio, sistema de venteo y alivio, sistema de monitoreo y control y cualquier otro equipo, componente o sistema identificados como vitales o esenciales para prevenir una fuga o mitigar sus consecuencias, cuya falla pudiera derivar en un accidente catastrófico. (p.04).

Con referencia a lo anterior; se puede decir que, es aquel que cuando falla, produce una parada total o suspensión drástica de la producción, afectando substancialmente el funcionamiento normal del sistema productivo.

### **2.2.47 Inspección**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-14 (ob.cit.), establece que “es un examen, medida y prueba de las características del equipo para determinar su aceptabilidad, registrando los resultados obtenidos”. (p.04). La inspección se trata de una exploración física (investigar, revisar), que se realiza de manera visual.

### **2.2.48 Tipos de Inspección**

El Manual del Proceso de Mantenimiento de Rutina de PDVSA MR-02-15-06 (ob.cit.), señala que: “las inspecciones especiales están asociadas a la construcción de equipos nuevos, a las inspecciones estructurales de las instalaciones existentes o auditorias de seguridad”. (p.08).

Sin embargo, las actividades más significativas del grupo de inspección son llevadas a cabo en activos tales como recipientes a presión, recipientes de almacenamiento, y sistemas de tuberías. Para estos tipos de activos, existe la siguiente clasificación:

#### **2.2.48.1 Mayor Inicial**

Este tipo de inspección refiere a la primera inspección detallada de un activo después de que este ha sido puesto en servicio. Esta primera inspección proporciona un perfil inicial de desempeño, para la determinación de las inspecciones

subsiguientes e identificar algunos efectos adversos de pérdida por deterioro que afecten la vida útil del activo.

#### **2.2.48.2 Inspección Mayor**

Una inspección mayor es una revisión extensa, que proporciona la situación exacta de la condición de un activo.

Para los recipientes, se incluye generalmente un examen visual completo internamente y externamente acompañado por pruebas con Ensayos no Destructivos (END). Cuando se observan defectos en una sección en particular, deben ser aumentados el grado y métodos de inspección.

Para la tubería, una inspección mayor puede incluir algún examen interno, aunque comúnmente, esta clasificación utiliza extensas Pruebas de Ultrasonido (PU) y/o Pruebas Radiográficas (PR).

#### **2.2.48.3 Inspección Intermedia**

Algunas veces es deseable realizar solamente una revisión parcial de ciertos activos. La inspección intermedia puede servir para:

- Proporcionar una revisión rápida del funcionamiento del activo.
- Identificar el progreso del deterioramiento previamente conocido.
- Revisión de los niveles de corrosión en localizaciones específicas tales como puntos de inyección de químicos.

### **2.2.49 Mantenimiento**

El Manual de Mantenimiento de PDVSA MM-01-01-01 (ob.cit.), lo define como: “una combinación de todas las acciones técnicas y administrativas, que pretenden retener o restaurar un activo en un estado en el que pueda ejecutar una(s) función(es) requerida(s)”. (p.12). En resumen, se define como un conjunto de actividades desarrolladas con el fin de asegurar que cualquier activo continúe desempeñando las funciones deseadas o de diseño.

### **2.2.50 Parada de Planta de Mantenimiento**

El Manual de Mantenimiento de PDVSA MM-01-01-01 (ob.cit.), lo define como: “un conjunto de actividades de mantenimiento preventivo (programado) o correctivo (no programado), para restablecer y conservar las funciones del activo de acuerdo a las políticas de PDVSA y los requisitos legales”. (p.14). Según se ha citado; podemos decir que, es aquella que provee la oportunidad única para intervenir los activos que normalmente no están disponibles durante la operación normal o que lo están en un breve o escaso período de parada. La capacidad de pérdida puede ser recuperada hasta una funcionalidad superior durante una parada de planta.

### **2.2.51 Acciones de Mantenimiento**

Según Moubrey, J. (1991), señala que:

Luego de analizar las funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla y sus consecuencias, el siguiente paso consiste en seleccionar la actividad de mantenimiento correspondiente a cada falla. En principio se creía que el mejor modo de prevenir las fallas y maximizar la disponibilidad de una planta era realizando algún tipo de mantenimiento preventivo en forma rutinaria. Ahora bien, esto es recomendable solo cuando las consecuencias de la falla son

de poca importancia económica. Sin embargo, cuando las consecuencias son económicamente significativas, deben analizarse desde otro punto de vista para prevenir las fallas y reducir sus consecuencias. (p.129).

Son aquellas actividades de mantenimiento que deben ser aplicadas para prevenir fallas y maximizar la disponibilidad de una planta.

### **2.2.52 Monitoreo**

El Manual de Procedimiento de Inspección de PDVSA PI-02-09-01 (ob.cit.), establece que: “es el seguimiento de variables operacionales para de determinar la presencia de mecanismos de degradación que afecten la integridad mecánica en líneas y/o equipos con el fin de ejecutar planes de acción y minimizar los riesgos operacionales existentes”. (p.08). En resumen; es el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de un programa.

### **2.2.53 Registro**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-14 (ob.cit.), señala que: “es la asignación de un número único y un historial individual para cada elemento del equipo crítico”. (p.04). Es un base de datos que tiene el fin de almacenar información relevante sobre una planta, y colocarla al alcance bajo un índice o sistema de orden que permita su acceso y uso en cualquier momento.

### **2.2.54 Taller**

El Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), señala que: “es el centro de trabajo donde se efectúa o ejecuta una actividad determinada para cualquier ente de producción, con los niveles de seguridad, higiene y ambiente

óptimos para el desempeño de sus funciones”. (p.40). Es aquel espacio donde se realizan diferentes tareas de producción o mantenimiento.

### **2.2.55 Equipos de Protección Personal**

Según el Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00 (ob.cit.), señala que: “son los implementos destinados a proteger al trabajador contra agentes externos, que pueden ocasionarle una lesión o enfermedad ocupacional”. (p.19). Son aquellos que están destinados a ser utilizados por los trabajadores para protegerlos de uno o más riesgos que puedan amenazar su seguridad.

### **2.2.56 Equipo Natural de Trabajo**

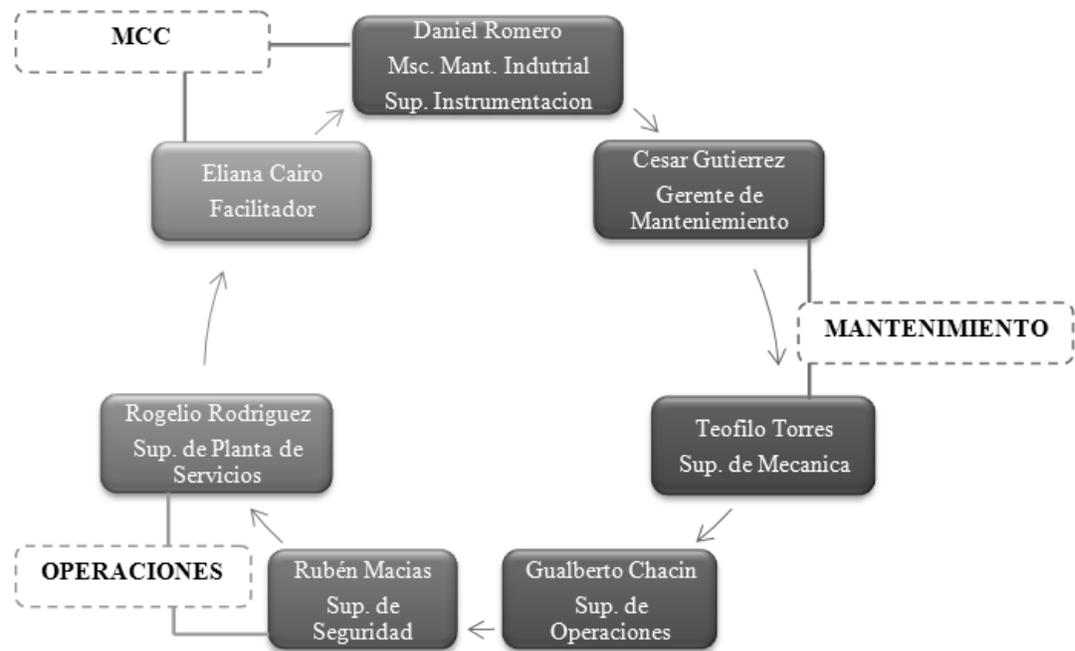
Según Améndola, L. (2006), el equipo natural de trabajo:

Se define como el conjunto de personas de diferentes funciones de la organización, que trabajan juntas por un periodo de tiempo determinado en un clima de potenciación de energía, para analizar problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común. (p.57).

Según se ha citado; un equipo natural de trabajo, son un grupo de personas organizadas con un objetivo en común y son vistos como los mayores contribuyentes al valor de la empresa.

Para la resolución del trabajo se creó un equipo multidisciplinario, el cual tuvo reuniones constantes. El trabajo en equipo no solamente permitió a los gerentes conocer y absorber la experiencia de cada miembro en una base sistemática, sino que aporta a cada uno un entendimiento mucho más completo del funcionamiento del

bien en su contexto operativo. El equipo estaba conformado por áreas de la siguiente manera (ver figura 2.2).



**Figura 2.2. Equipo Natural de Trabajo**

**Fuente:** El autor (2016)

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

El siguiente apartado tiene como finalidad describir y definir el conjunto de métodos, herramientas, procedimientos adecuados, sus lineamientos, instrumentos y técnicas utilizadas en la recolección de la información que permitirán alcanzar el objetivo de esta investigación.

#### **3.1 Tipo de Investigación**

La investigación es considerada de tipo descriptiva; según Sabino, C. (2002), lo define como “aquellos que utilizan criterios sistemáticos que permiten poner de manifiesto la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando de ese modo información sistemática y comparable con las de otras fuentes”. (p.43). De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se aplicó este tipo de estudio; ya que, a través de la misma se determinaron los detalles del estado actual en el que se encontraban operativamente cada uno de los equipos que conforman el Sistema de Agua Contra Incendio de la Refinería San Roque, entorno en el cual se desarrolló la investigación, y se trabajó de acuerdo a los hechos reales observados y sus diferentes características, permitiendo de este modo interpretar cada situación existente de la forma en la que está presente.

#### **3.2 Diseño de la Investigación**

Arias, F. (2006), expresa lo siguiente:

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o

controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. (p.31).

El diseño considerado para esta investigación fue de campo, porque gran parte de la información fue obtenida directamente del lugar de trabajo, en este caso en la planta de servicios industriales, donde se encuentra el servicio del sistema de agua contra incendios, utilizando técnicas, herramientas y metodologías que nos permitieron obtener resultados que contribuyeron con la elaboración de este proyecto.

### 3.3 Población, Muestra y Unidad de Estudio

#### 3.3.1 Población

Para efectos de esta investigación se tomaron en cuenta una población de personas (tabla 3.1) formada por los trabajadores encargados del sistema de agua contra incendios, tales como operadores, personal de mantenimiento, supervisores y mecánicos; y la población de maquinarias. A continuación, se muestra una tabla con la población de personas:

**Tabla 3.1. Población de Personas Objeto de Estudio**

Nº	Cargo
01	Supervisor de Planta
01	Supervisor de Mantenimiento
01	Instrumentista
03	Operadores/turno
01	Mecánico
01	Electricista
01	Plomero
02	Brigadistas
<b>Total</b>	<b>11 Personas</b>

**Fuente:** El autor (2016)

### **3.3.2 Muestra**

La muestra sirve para adquirir información de la población siguiendo un conjunto de cálculos matemáticos y estadísticos que van de la mano con los instrumentos de recolección de datos puesto que éstos son los que posteriormente se le aplicaron a la muestra seleccionada, siendo ésta los equipos presentes en el sistema de agua contra incendios.

Sabino, C. (ob.cit.), señala que: “una muestra no es más que una parte del todo que llamamos universo y que sirve para representarlo”. (p.122). Siendo la población pequeña y finita, la muestra es igual a la población formada por el personal que maniobra el sistema de agua contra incendios, en total once (11) personas.

### **3.3.3 Unidad de Estudio**

La unidad de estudio estuvo constituida por los equipos que conforman el sistema de agua contra incendios de la Refinería San Roque. Actualmente dicho sistema cuenta con un (1) tanque de almacenamiento de agua de 20.000 BLS (3.179.600 lts.), dos (2) bombas Jockey de 100 GPM, y dos (2) bombas principales de 2.500 GPM contra incendios principales, una con motor eléctrico y la otra tipo diésel, y un (1) sistema de tuberías de cuatro y ocho pulgadas (4” y 8”) de diámetro que se extienden formando anillos cerrados por toda la Refinería, equipos asociados y controles.

Para el estudio se seleccionaron los equipos que forman parte del Sistema de Agua Contra Incendios, los cuales fueron: las cuatro (4) bombas, el sistema de tuberías de cuatro y ocho pulgadas (4” y 8”), el tanque de almacenamiento de agua, hidrantes y monitores; los cuales son los equipos que se ven más afectados por la

corrosión. A continuación, en la tabla 3.2 se muestra la unidad de estudio seleccionada:

**Tabla 3.2. Unidad de Estudio**

<b>Cantidad</b>	<b>Nombre del Equipo</b>		<b>Descripción</b>	<b>Identificación</b>
02	Bombas Jockey		100 GPM	B-98 C/D
02	Bombas Principales	Motor Eléctrico	2500 GPM	B-98 B
		Motor Diesel	2500 GPM	B-98 A
01	Tanque de Almacenamiento de Agua		3.179.600 lts.	20 X 1
01	Sistema de Tuberías		4" y 8"	-
06	Monitores		8"	ME-MJ
15	Hidrantes		8"	H1-H15
<b>27 Equipos</b>	<b>Total</b>			

**Fuente:** El autor (2016)

### **3.4 Técnicas de Recolección de la Información a Utilizar**

En esta sección se describieron las distintas técnicas y herramientas necesarias para obtener información útil para el desarrollo de esta investigación.

#### **3.4.1 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

De acuerdo con Arias, F. (ob.cit.), señala que las técnicas de recolección de datos: “son las distintas formas o maneras de obtener la información. Son ejemplos de técnicas; la observación directa, la encuesta en sus dos modalidades: oral o escrita, la entrevista, el análisis documental, análisis de contenido, entre otros”. (p.111).

Por otra parte, Arias F. (ob.cit.), considera que los instrumentos: “son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información. Ejemplo:

fichas, formatos de cuestionario, guía de entrevista, lista de cotejo, escalas de actitudes y opinión, grabador, cámara fotográfica o de video, entre otros”. (p.111).

Según se ha citado anteriormente; se refiere al uso de una gran diversidad de técnicas e instrumentos que pueden ser utilizadas para desarrollar los sistemas de información.

Tomando en cuenta lo establecido por Arias, F., las técnicas e instrumentos de recolección de datos considerados para obtener la información necesaria para el desarrollo de esta propuesta fueron:

#### **3.4.1.1 Análisis Documental**

García, A. (1990), define el análisis documental como:

El análisis documental consiste en extraer las ideas centrales de un documento con el fin de disponerlo para su recuperación mediante representaciones sintéticas, través de una desestructuración semántica de un fragmento de discurso de tal manera que las piezas resultantes puedan reconstruir potencialmente el mismo fragmento a la vez que lo conectan con el discurso general en que se halla inserto. (p.49).

La utilización de esta técnica es importante, ya que, fue necesario extraer información de libros, archivos electrónicos de la empresa y páginas web, artículos, entre otros; para obtener un mayor entendimiento sobre el tema de estudio que fue realizado, lo cual ayudó en la orientación de este proyecto.

### **3.4.1.2 Observación Directa**

Arias, F. (ob.cit.), señala que:

La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos. (p.69).

Debido a lo anteriormente descrito, se asistió al lugar en estudio para visualizar el comportamiento de los equipos, con el fin, de obtener la información necesaria para el desarrollo de esta investigación. Además, se verificó la existencia de cada uno de los equipos que conforman el Sistema de Agua Contra Incendios de la Refinería San Roque.

### **3.4.1.3 Entrevista No Estructurada**

Arias, F. (ob.cit.), define la entrevista como:

La entrevista, más que un simple interrogatorio, es una técnica basada en un dialogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida. (p.73).

El uso de una entrevista no estructurada ayudó a obtener un diagnóstico sobre la situación actual de los equipos que conforman el Sistema de Agua Contra Incendios perteneciente a la Planta de Servicios Industriales de la Refinería San Roque, debido a que se basa en preguntas informales hechas al personal involucrado con la planta y éstos tienen la facilidad de responder con mayor espontaneidad.

### **3.4.2 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos**

Arias, F (ob.cit.), señala que:

En este punto se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuere el caso. En lo referente a análisis, se definirán las técnicas lógicas (inducción, deducción, análisis-síntesis), o estadísticas (descriptivas o inferenciales), que serán empleadas para descifrar lo que revelan los datos recolectados. (p.111).

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos, se utilizaron para el desarrollo de los objetivos propuestos en ésta investigación y permitieron deducir debidamente la problemática de acuerdo a soluciones.

#### **3.4.2.1 Metodología de Inspección Basada en Riesgo**

Esta metodología implica un análisis de riesgo para equipos estáticos, el cual se hace mediante el cálculo de probabilidades de falla y modelaje de las consecuencias de la misma. Este enfoque utiliza una matriz de 5 x 5 que gráficamente permite la ubicación del nivel de riesgo de los equipos analizados. Dicha matriz se utiliza para obtener una estimación de riesgo de cada equipo de una forma determinada y de esta manera identificar los factores de daño de cada uno de ellos para luego diseñar un plan de inspección óptimo con el cual se podrán definir las actividades necesarias para detectar el deterioro en servicio de los equipos antes de que se produzcan las fallas.

La probabilidad de la falla se evalúa del uno (01) al cinco (05), la cual se refiere a la magnitud en que se incrementa la probabilidad de la falla con respecto a la genérica del equipo, es decir:

- 1 = hasta 2 veces la tasa genérica de falla.
- 2 = hasta 20 veces la tasa genérica de falla.
- 3 = hasta 100 veces la tasa genérica de falla.
- 4 = hasta 1.000 veces la tasa genérica de falla.
- 5 = mayor de 1.000 veces la tasa genérica de falla.

Por otro lado, en lo que se refiere a las consecuencias, éstas se distribuyen en cinco (05) categorías a saber; A, B, C, D, y E; las cuales vienen dadas por pies cuadrados (pies<sup>2</sup>) en la escala logarítmica, es decir:

- Categoría A: área afectada menor o igual que 10 pies<sup>2</sup>.
- Categoría B: área afectada menor o igual a 100 pies<sup>2</sup>.
- Categoría C: área afectada menor o igual a 1.000 pies<sup>2</sup>.
- Categoría D: área afectada menor o igual a 10.000 pies<sup>2</sup>.
- Categoría E: área mayor a 10.000 pies<sup>2</sup>.

#### **3.4.2.2 Software API-RBI Versión 3.3.3**

Es una herramienta diseñada por “API” utilizada para evaluar el nivel de riesgo de equipos estáticos, para identificar aquellos que tengan el mayor nivel de riesgo y de esta manera priorizar y gestionar los esfuerzos de un plan de inspección. La figura 3.1, muestra la ventana de inicio del software; la cual, permite acceder a los módulos básicos de evaluación mediante la opción “Data Entry Level 3”.

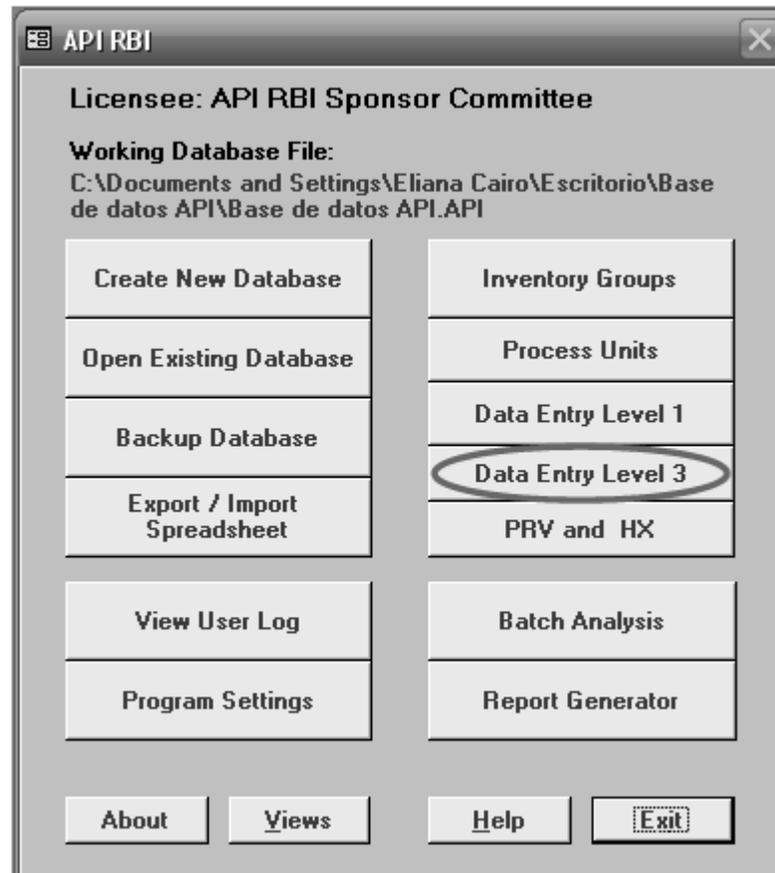


Figura 3.1. Ventana de inicio del Software API-RBI Versión 3.3.3

Fuente: Software API RBI

### 3.4.2.3 Fichas Técnicas de los Equipos

Las fichas técnicas están representadas por toda la información que se adquirió de los equipos, sus características y especificaciones técnicas tales como: nombre, código, marca, modelo, temperatura, y voltaje sobre los cuales opera, foto del equipo entre otras; que fueron útiles en un momento dado. Todos los datos procesados fueron asentados en la tabla 3.3 la cual se muestra a continuación:

**Tabla 3.3. Formato de ficha técnica de los equipos**

 <b>PDVSA</b> REFINACIÓN ORIENTE		<b>FICHA TÉCNICA</b>		<b>RSRQ</b> REFINERÍA SAN ROQUE	
DEPARTAMENTO DE INSPECCIÓN Y CORROSIÓN					
CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA			INFORMACIÓN DE FICHA		
Sistema			Código		
Sub-sistema			Fecha de Emisión		
			Fecha de Revisión		
			Página		
INFORMACIÓN GENERAL DEL EQUIPO					
MANDO PRINCIPAL			COMPONENTE ACCIONADO		
Equipo			Tipo/Grupo		
Marca			Fabricante		
Modelo			Modelo		
N° Serial (ID)			N° de etapas		
Tipo de alim. (AC/DC)			Diámetro de impulsor		
Sistema de enfriamiento			Modelo de sello		
Posición sist./coordenadas			Tipo de fluido		
Cojinetes/Rodamiento L/L			Velocidad de diseño		
Cojinetes/Rodamiento L/A			Altura máx.		
Frecuencia de línea en HZ			Presión de succión		
RPM Nominal			Presión de descarga		
Potencia			IMAGEN REAL DEL EQUIPO		
Corriente					
Nivel de tensión (Voltaje)					
N° de polos					
N° de fase					
Tipo cerramiento					
Temperatura amb. máx.					
Capacidad					
OBSERVACIONES					
			ELABORADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR

**Fuente:** El autor (2016)

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

Smith, A. (ob.cit.), esta técnica es:

La fuente principal del desarrollo de la investigación, se fundamenta en un análisis sistemático, objetivo y documentado del problema. Se encarga de estudiar a profundidad los equipos, con el fin de ir trabajando con el problema hasta obtener la solución final. (p.246).

El resultado principal de la adopción de esta metodología de trabajo son planes de mantenimiento óptimos. Se dividen en dos técnicas: el AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas) y el ALD (Árbol Lógico de decisiones).

En otras palabras el MCC es una metodología que permitió identificar estrategias efectivas de mantenimiento que garantizaron el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción en los equipos dinámicos presentes en el Sistema de Agua Contra Incendios de la Refinería.

### **3.4.2.6 Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)**

Una de las técnicas implementadas por el MCC en el desarrollo del proyecto es el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF); ya que, en el presente estudio se realizaron propuestas de las posibles causas de fallas vigentes en el sistema. Así como también, de las actividades preventivas, predictivas y correctivas requeridas para evitar la ocurrencia de las causas o mecanismos de dichas fallas.

– Hoja de Información de MCC

En una hoja de información fueron asentados todos los datos adquiridos de la aplicación de las cuatro primeras preguntas básicas del MCC; es decir, funciones, fallas funcionales, modos de fallas y efectos de fallas, consolidándose en una tabla la cual contiene información acerca del equipo y el componente al cual se le está aplicando dicho análisis, su estructura se puede observar a continuación en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4. Formato de la Hoja de Información de MCC**

 <b>PDVSA</b> REFINACIÓN ORIENTE		<u>INFORMACIÓN DE MMC</u>		<b>RSRQ</b> REFINERÍA SAN ROQUE		Pág.
<b>SISTEMA</b>						
<b>EQUIPO</b>						
<b>SUB-SISTEMA</b>						
<b>COMPONENTE/ITEM MANTENIBLE</b>						
<b>FECHA</b>		<b>ELABORADO POR</b>		<b>REVISADO POR</b>		<b>APROBADO POR</b>
<b>N°</b>	<b>FUNCIÓN PRINCIPAL</b>	<b>N°</b>	<b>FALLA FUNCIONAL</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA</b>	

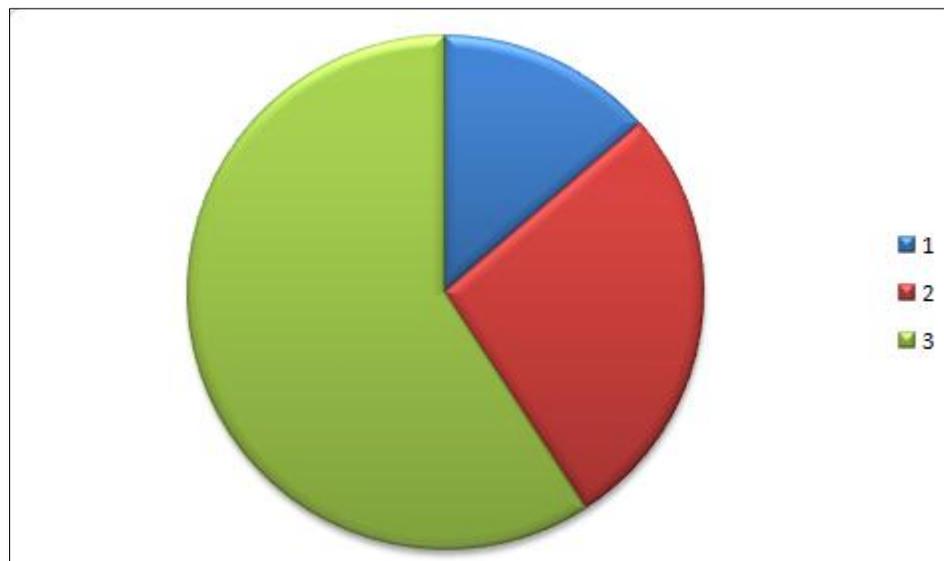
**Fuente:** El autor (2016)

### 3.4.2.7 Gráficos Circulares

Según Sabino C. (ob.cit.), establece que: “son aquellos que se emplean generalmente para representar distribuciones de razones, su nombre se deriva de la semejanza de sus porciones a los de un pastel”. (p.99). El diagrama circular es un gráfico que señala las respuestas obtenidas de acuerdo a las alternativas en

porcentajes, complementando de esta forma el desarrollo de la presentación de los resultados y su respectiva interpretación.

Para efectos de esta investigación se utilizó para facilitar la explicación, análisis e interpretación de los datos y resultados. (Ver figura 3.2)



**Figura 3.2. Diagrama circular**

**Fuente:** El autor (2016)

### **3.5 Procedimiento Metodológico para la Consecución de los Objetivos**

#### **3.5.1 Diagnóstico de la Situación Actual del Sistema Existente de Agua Contra Incendios en la Planta de Servicios Industriales de Refinería San Roque**

En esta etapa se procedió a identificar el estado actual en el que se encontraban los equipos estáticos y dinámicos que conforman el sistema de agua contra incendios de la Refinería San Roque. Para ello, las técnicas de recolección de datos que fueron utilizadas son: análisis documental, observación directa y entrevistas no

estructuradas; lo que permitió realizar visitas al lugar donde se encuentra ubicado dicho sistema y se hizo un reconocimiento visual de los equipos que lo conforman, tomando datos de los parámetros de funcionamiento; así como también, se realizaron mediciones de espesor de las tuberías, de igual manera se aplicaron entrevistas no estructuradas al personal vinculado con los equipos, los cuales tienen relación con los manuales de operación y registros de las fallas existentes, con el fin de facilitar la comprensión y familiarización con el proceso para el cual está destinado dicho sistema. Con ayuda del personal de inspección y corrosión encargado del área se pudo conocer el grado de deterioro en el que se encontraban las maquinarias. Toda la información que fue recopilada fue determinante para caracterizar la condición de los equipos.

### **3.5.2 Determinación de los Factores que Afectan la Integridad Mecánica de los Equipos del Sistema de Agua Contra Incendios**

Para el desarrollo de esta etapa, se procedió a revisar los historiales de inspección e informes técnicos correspondientes al levantamiento de los equipos estáticos que fueron estudiados, esto se hizo con la ayuda del personal técnico de inspección y corrosión de la empresa, para lo cual se utilizó la norma API-571, la cual trata sobre los *Mecanismos de Daño que Afectan Equipos Fijos en la Industria de Refinación*, con el fin de identificar los factores que afectan la integridad mecánica del sistema.

El conocimiento y la experiencia por parte del personal del Departamento de Inspección y Corrosión de la Refinería San Roque, resultó necesario para comprender el desarrollo de estos mecanismos de daño dentro de los equipos que conforman el Sistema de Agua Contra Incendios perteneciente a la Planta de Servicios Industriales, y su apoyo facilitó la identificación de estos mecanismos.

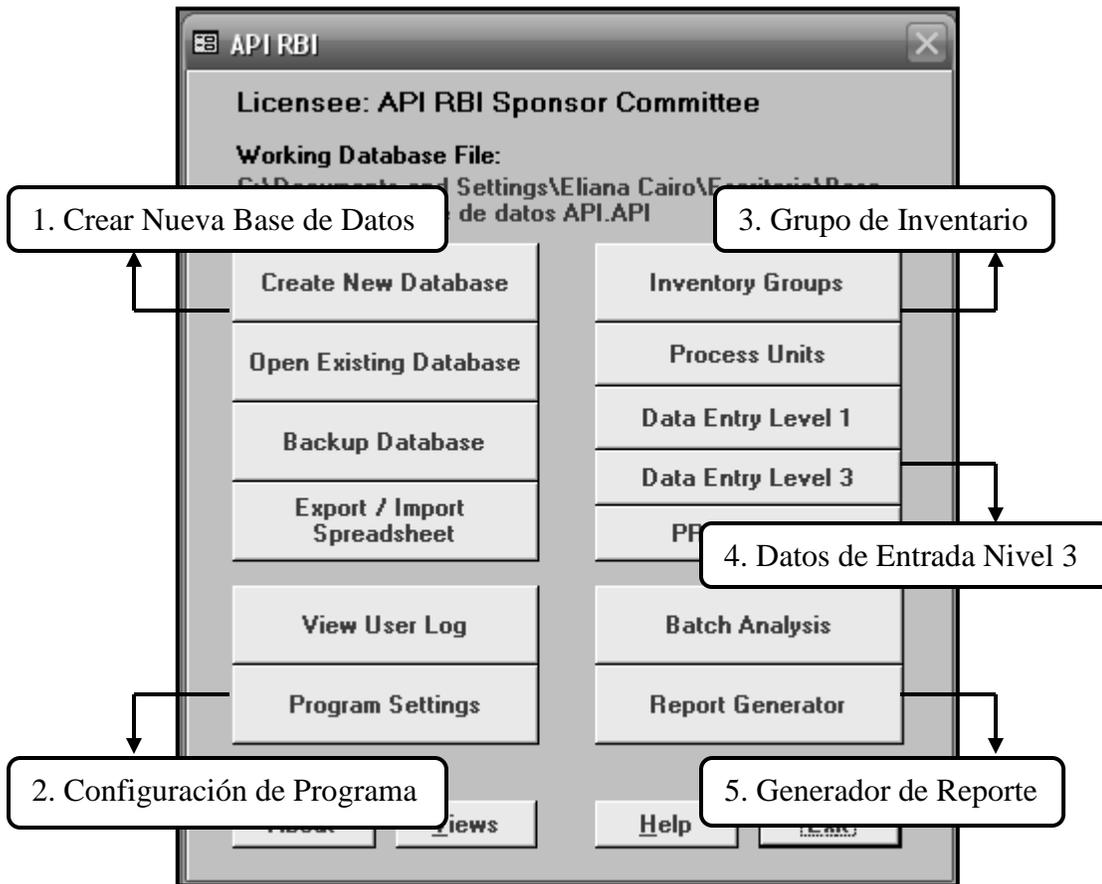
Cabe mencionar que ciertos puntos establecidos en la norma API-571 no fueron aplicados debido a que el fluido con el que opera el sistema es agua.

Por otra parte, se realizó un análisis completo al agua salubre con la que opera el sistema para medir y conocer los niveles de cloruro y pH presentes en el fluido, la cual se podrá observar en la tabla 4.4 que se muestra en la presentación y análisis de los resultados.

### **3.5.3 Realización de un Análisis de Inspección Basada en Riesgo (IBR) a los Equipos Estáticos del Sistema de Agua Contra Incendios, para Minimizar los Factores que Afectan su Integridad Mecánica**

En esta etapa se procedió a realizar un análisis de inspección basada en riesgo, a los equipos estáticos que forman parte del Sistema de Agua Contra Incendios de la Refinería, utilizando el software API-RBI Versión 3.3.3 el cual permitió conocer el nivel de riesgo en el cual se encontraban los equipos, así como también, se estimó la probabilidad y consecuencias de falla para cada equipo estático que fue estudiado; dicho software, permitió estimar la probabilidad y consecuencia de falla de los equipos analizados generando una matriz como la que observó en la figura 2.1, que muestra la jerarquización de los equipos, según el nivel de riesgo obtenido para cada uno de ellos, y de esta manera se pudieron establecer las soluciones pertinentes que ayudaron a la toma de decisiones para corregir los factores que estaban afectando la integridad mecánica de los equipos.

Con el software se creó y se le dio nombre a la base de datos (Create New Database) y se estableció un grupo de inventario (Inventory Groups); tal como se muestra en la figura 3.3.



**Figura 3.3. Ventana de inicio del Software API-RBI Versión 3.3.3**

**Fuente:** Software API RBI

Al tener el grupo de inventario se ingresaron los datos del equipo como lo son: datos de diseño, operación, diámetro, longitud y tipo de material. Una vez hecho esto, se activaron todas las opciones del programa y se procedió a seleccionar la opción Datos de Entrada Nivel 3 (Data Entry Level 3), la cual muestra una pestaña como la que se observa en la figura 3.4, con los módulos de evaluación disponibles en el software.

**Figura 3.4. Módulo básico de datos de los equipos**  
Fuente: Software API RBI

Una vez cargados todos los datos mencionados anteriormente se procedió a ingresar la información referente a los factores de modificación tales como las condiciones del equipo, la vida de diseño y el código de construcción; así como también, si cumplen con los parámetros de diseño para el tipo de fluido que manejan los equipos.

Finalmente, completados todos los datos que requiere el software para su utilización, los resultados fueron presentados en una matriz de riesgo la cual reflejó cuatro (4) categorías de identificación de riesgo (roja para riesgo alto, anaranjada para riesgo medio-alto, amarilla para riesgo medio y verde para riesgo bajo), lo cual permitió clasificar las probabilidades de fallas y consecuencias.

### **3.5.4 Análisis de las Fallas de las Bombas del Sistema de Agua Contra Incendios Mediante un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)**

Para el desarrollo de esta etapa fue necesario la utilización de la herramienta principal de la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Fallas) la cual conllevó a deducir cuales fueron las actividades de mantenimiento más óptimas que debieron ser empleadas para lograr disminuir el constante fallo de los equipos dinámicos que forman parte del Sistema de Agua Contra Incendios de la Refinería. Este tipo de análisis se realizó a los equipos críticos mediante la utilización de técnicas de revisión bibliográfica y entrevistas no estructuradas con el personal, las cuales se realizaron al personal de mantenimiento, operaciones y personal de mayor experiencia.

Los manuales de los fabricantes, manuales de operaciones de la Planta de Servicios Industriales de la Refinería San Roque, internet y libros técnicos fueron algunas de las referencias revisadas, que permitieron indagar sobre las interrogantes que propicia el AMEF, cuyo objetivo principal es reconocer y mantener en claro cuáles son los componentes o elementos que podrían o han generado una falla parcial o total en el Sistema de Agua Contra Incendios de la Refinería, resaltando los puntos críticos con el fin de eliminarlos o establecer un sistema preventivo para evitar su aparición y minimizar sus consecuencias.

Para la aplicación del AMEF se diseñó una hoja de información la cual se pudo observar en la tabla 3.4, para asentar datos a partir de los equipos y elementos seleccionados; con el fin, de mejorar la documentación, entendimiento y organización de esta etapa.

### **3.5.5 Establecimiento de Acciones de Mantenimiento a los Equipos Dinámicos del Sistema de Agua Contra Incendios**

En esta etapa se seleccionaron las acciones de mantenimiento identificando las consecuencias que generan los modos de falla ejecutados por el equipo natural de trabajo a partir del AMEF, con el objetivo de evitar la ocurrencia de cada modo de falla o minimizar sus consecuencias, según el peligro que presentan y así mejorar la confiabilidad de los equipos dinámicos que forman parte del Sistema de Agua Contra Incendios de la Refinería; dichas acciones fueron establecidas mediante la tabla 3.5 que se muestra a continuación, en la cual se puede observar la acción que debe ser tomada para cada uno de los ítem mantenibles, la persona o departamento responsable para cada acción, los recursos que fueron utilizados para cada una de las actividades a realizar y la frecuencia con la que deben ser realizadas. Cabe destacar que las acciones de mantenimiento tomadas para cada uno de los equipos fueron establecidas mediante la experiencia de cada uno de los trabajadores encargados del SACI.

**Tabla 3.5. Formato de información de acciones de mejora continua**

 <b>PDVSA</b> REFINACIÓN ORIENTE		<b>INFORMACIÓN DE ACCIONES DE MEJORA</b> <u>CONTINUA</u>		<b>RSRQ</b> REFINERÍA SAN ROQUE		Pág.
<b>SISTEMA</b>						
<b>EQUIPO</b>						
<b>SUB-SISTEMA</b>						
<b>FECHA</b>	<b>ELABORADO POR</b>	<b>REVISADO POR</b>	<b>APROBADO POR</b>			
<b>ITEM MANTENIBLE</b>	<b>ACCIÓN</b>	<b>RESPONSABLE</b>	<b>RECURSOS</b>	<b>FRECUENCIA</b>		

**Fuente:** El autor (2016)

### **3.5.6 Elaboración de un Plan de Inspección para el Sistema de Agua Contra Incendios según lo Establecido en el Código 25 de la Asociación Nacional para la Protección Contra el Fuego (NFPA 25)**

Para el desarrollo de esta etapa se procedió a elaborar un plan de inspección tomando en consideración los resultados arrojados por las metodologías aplicadas a los equipos estáticos y dinámicos analizados. Para la realización del mismo, se tomó como referencia lo establecido en el Código 25 de la Asociación Nacional para la Protección Contra el Fuego (NFPA 25), y, en la norma de PDVSA IR-S-13; todo esto con el propósito de reducir o minimizar el riesgo en los equipos que conforman el Sistema de Agua Contra Incendios de la Refinería San Roque.

El plan de inspección tiene como objeto principal proporcionar los requerimientos para garantizar la protección de la vida y propiedad, por medio de métodos y acciones de inspección y mantenimiento de sistemas para protección de incendios a base de agua. Dicho plan no es solo responsabilidad del departamento de mantenimiento, también es responsabilidad del personal técnico y de los inspectores de seguridad.

## **CAPITULO IV**

### **PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los resultados del desarrollo de cada uno de los objetivos propuestos en este proyecto. El análisis presentado en esta parte del trabajo servirá como base fundamental para emitir las conclusiones y recomendaciones pertinentes a los resultados obtenidos.

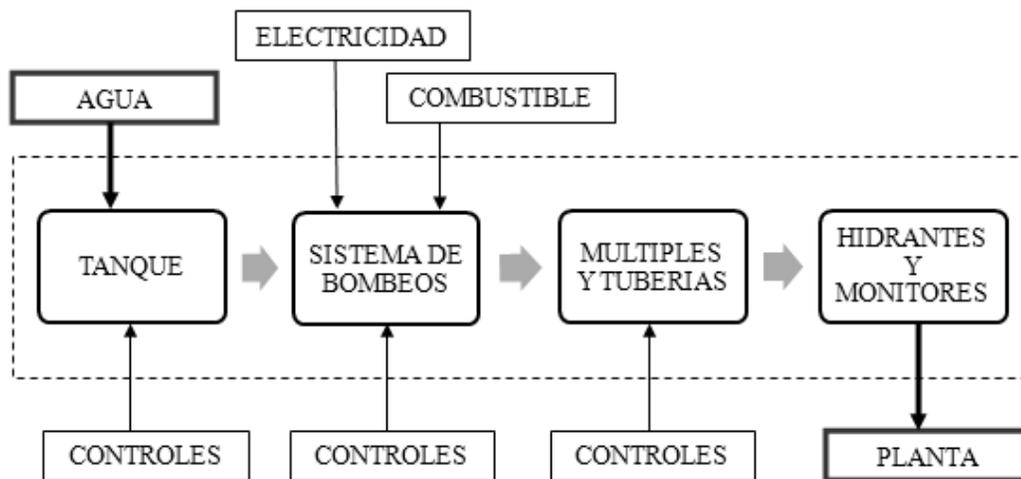
#### **4.1 Diagnóstico de la Situación Actual del Sistema Existente de Agua Contra Incendios en la Planta de Servicios Industriales de Refinería San Roque**

La Planta de Servicios Industriales es una planta clave para el desarrollo de las actividades operacionales de la Refinería San Roque, por la importancia de los servicios que ella proporciona, como son: el sistema de agua potable y de enfriamiento, generación de vapor, gas natural, aire comprimido para instrumentos y una planta de tratamiento de efluentes, así como también, el sistema de agua contra incendios.

El Sistema de Agua Contra Incendios consta de suministro de agua, líneas de distribución y bocas de riego. La línea de agua contra incendios tiene un diámetro de ocho pulgadas (8"), suficiente para llevar un gran volumen de agua alrededor y a cada una de las instalaciones de la Refinería. A varios intervalos de las líneas de distribución, existen bocas de riego conectadas a las mismas. Dichas bocas están pintadas de color rojo y poseen conexiones para mangueras, con lo cual es posible combatir un incendio en cualquier área de la Refinería.

El agua es suministrada a la red por medio de un sistema de bombeo, el cual consta de un (1) tanque de almacenamiento de agua de 20.000 BLS (3.179.600 lts.),

dos (2) bombas Jockey Centrifuga Horizontal de 100 GPM, 30 HP a 160 psig con Motor Eléctrico; dos (2) bombas centrifuga horizontal de 2.500 GPM, 400 HP a 160 psig contra incendios principales (una con Motor Eléctrico y la otra con Motor Diesel); equipos asociados y controles. Los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera (ver figura 4.2).



**Figura 4.2. Distribución de equipos asociados al SACI**

Fuente: El autor (2016)

#### 4.1.1 Descripción General de los Equipos

##### 4.1.1.1 Bombas Presurizadoras (Jockey)

Las bombas Jockey (B-98 C/D) como se muestran en las figuras 4.3 y 4.4, son accionadas eléctricamente, diseñadas para trabajar a baja capacidad, cuya función es mantener la presión del agua en la tubería y compensar las fugas y escapes de agua que puedan ocurrir cuando se presente una disminución de la presión del agua de la red. Estas bombas se controla por un interruptor de presión PSL-62-011 en la red; el cual detecta cuando la presión baja a 160 psig, y arranca la bomba; un interruptor PSH-62-011, apaga la bomba cuando la presión vuelve a subir a 170 psig.

Se pudo observar que el recubrimiento de estos equipos, entre los cuales se pueden mencionar las carcasas de las bombas, se encontró bastante deterioradas debido a la corrosión; así como también, fugas considerables lo cual contribuye a su degradación debido a que dicho sistema opera con agua salubre.



**Figura 4.3. Bomba jockey (B-98 D)**  
**Fuente:** El autor (2016)



**Figura 4.4. Bomba Jockey (B-98 C)**  
**Fuente:** El autor (2016)

#### **4.1.1.2 Bomba Contra Incendio Eléctrica**

La bomba eléctrica contra incendio (B-98 B) la cual se muestra en la figura 4.5, es una bomba con capacidad de 2500 GPM, cuya función es suministrar a la red las cantidades mayores de agua requeridas en caso de incendio.

La bomba es arrancada remotamente desde el Tablero Central de Control (TCC-1) por medio del pulsador PB-62-002 o automáticamente, cuando se detecta que la presión de la red cae por debajo de 150 psi, lo cual ocurre cuando el consumo de agua en la red excede la capacidad máxima de la bomba jockey (mayor que 100 GPM). Esta baja de presión es detectada por el switch de alarma de presión PAL-62-005, el cual emite una señal al controlador desde donde arranca la bomba automáticamente. Una vez arrancada, esta bomba solamente puede ser apagada manualmente desde su controlador en la Caseta del Sistema Contra Incendio. Además, la bomba puede ser arrancada desde su controlador colocando previamente el interruptor en la posición manual. Queda a juicio del operador arrancar ambas bombas (eléctrica y diésel) de acuerdo a la complejidad de la contingencia de incendio. Esto puede ser desde la Sala de Control o desde su controlador en la Caseta del SCI.

Para efectos de esta bomba; se pudo observar que la misma no se encuentra tan deteriorada como las bombas Jockey (B-98 C/D), debido a que no se encuentra constantemente operativa; ya que, solo es accionada en casos de emergencia.



**Figura 4.5. Bomba Principal Eléctrica (B-98 B)**  
**Fuente:** El autor (2016)

#### **4.1.1.3 Bomba Contra Incendio Diesel**

La bomba contra incendio diésel (B-98 A) la cual se muestra en la figura 4.6, es una bomba similar a la eléctrica, con la misma capacidad de 2500 GPM, pero operada por un motor diésel. Su función es respaldar la bomba eléctrica en caso de falla de esta, o falla del suministro eléctrico.

La bomba diésel arranca manualmente desde el Tablero Central de Control (TCC-1), a través del pulsador PB-62-001 o automáticamente cuando el interruptor de presión PSL-62-005 emite una señal de alarma indicando que la presión de la red cae por debajo de 140 psig, lo cual ocurre cuando la bomba eléctrica no funciona.

La bomba solamente puede ser apagada desde su controlador en la caseta del sistema contra incendio, y también dispone de una recirculación por una válvula de alivio PSV-62-005 ajustado a 173 psig.

No todos los equipos que conforman el Sistema de Agua Contra Incendio se encuentran 100% operativos; en este caso se pudo observar que la bomba diésel (B-98 A) es uno de ellos, debido a que solo es accionada en caso de que la bomba eléctrica (B-98 B) falle; además, para efectos de esta investigación en el momento de la evaluación el tanque de almacenamiento de combustible se encontraba vacío.



**Figura 4.6. Bomba Principal Diesel (B-98 A)**  
**Fuente:** El autor (2016)

#### **4.1.1.4 Tanque de Agua Contra Incendio**

Las bombas antes mencionadas, se alimentan de agua desde el tanque 20X1 principal de 20.000 BLS (3.179.600 lts.) de capacidad, el cual se mantiene lleno, tomando agua desde la red de agua de servicio al patio. (Ver figura 4.7).

El tanque de almacenamiento de agua (20X1), indicado en la figura 4.7, muestra un buen aspecto en la superficie externa; sin embargo, por dificultad de acceso no se pudo observar la condición actual del fondo del mismo.



**Figura 4.7. Tanque de almacenamiento de agua (20x1)**  
**Fuente:** El autor (2016)

## **4.1.2 Equipos Asociados**

### **4.1.2.1 Hidrantes**

Es un dispositivo de suministro de agua para el combate de incendios y otras emergencias, conectado a la red de agua contra incendios de la instalación. Para su uso efectivo es indispensable que se tenga un carro porta-mangueras. (Ver figura 4.8).

De los quince (15) hidrantes pertenecientes al Sistema de Agua Contra Incendio, se encontraron operativos diez (10) nada más; además de que se observaron fugas considerables en los mismos y no cuentan con un TAG de identificación.



**Figura 4.8. Hidrantes contra incendios**  
Fuente: El autor (2016)

#### **4.1.2.2 Monitores**

Son dispositivos que permiten la aplicación de agua para combate de incendios, que pueden ser puestos rápidamente en operación sin necesidad de conectar mangueras, ni estar constantemente atendidos. (Ver figura 4.9).

De los seis (6) monitores pertenecientes al Sistema de Agua Contra Incendio de la Refinería, solamente se encontraron operativos cuatro (4); a pesar de que cuentan con TAG de identificación; los mismos, no se encuentran visibles.



**Figura 4.9. Hidrantes contra incendios**  
**Fuente:** El autor (2016)

La refinería se encuentra protegida por quince (15) hidrantes y seis (6) monitores. En las tablas que se muestran a continuación, se puede observar la evaluación del sistema de agua contra incendios para hidrantes y monitores según lo que se establece la norma PDVSA IR-M-03 (ver tablas 4.1 y 4.2).

**Tabla 4.1. Presión y caudal de los hidrantes del SACI**

Hidrantes	Presión (lb/pulg <sup>2</sup> )	Caudal (gpm)
H1	104,5	740
H2	327,9	740
H3	98,3	740
H4	94,3	740
H5	93,7	740
H6	102,7	740
H7	93,7	740

**Fuente:** Norma PDVSA IR-M-03

**Tabla 4.1. Presión y caudal de los hidrantes del SACI. (Continuación)**

Hidrantes	Presión (lb/pulg <sup>2</sup> )	Caudal (gpm)
H8	93,3	740
H9	94,8	740
H10	93,7	740
H11	94,3	740
H12	104,6	740
H13	101,5	740
H14	99,3	740
H15	94,3	740

Fuente: Norma PDVSA IR-M-03

**Tabla 4.2. Presión y caudal de los hidrantes del SACI**

Monitores	Presión (lb/pulg <sup>2</sup> )	Caudal (gpm)
M-E	98,6	500
M-F	93,5	500
M-G	88,2	500
M-H	92,9	500
M-I	94,6	500
M-J	98,9	500

Fuente: Norma PDVSA IR-M-03

Las tablas 4.1 y 4.2, muestran información sobre la presión que manejan los equipos y el caudal. En los hidrantes se debe manejar una capacidad de 185 gpm por cada boca de descarga a una presión de 100 lb/pulg<sup>2</sup> y los monitores deben garantizar un flujo de 500 gpm.

De acuerdo con la inspección visual que se realizó al Sistema de Agua Contra Incendios de la Refinería San Roque y opiniones expresadas por el personal de la

Planta de Servicios Industriales, se observaron ciertos aspectos adicionales de manera general:

1. Los equipos que conforman el Sistema de Agua Contra Incendios no cuentan con detección de mecanismos de degradación.
2. Ninguno de los equipos que han sido evaluados contaban con un estudio previo de planes de inspección o mejoras.

#### **4.1.4 Fichas Técnicas de los Equipos del Sistema de Agua Contra Incendios**

Con la ayuda del personal encargado del Sistema de Agua Contra Incendios se pudo recolectar información técnica de los equipos y de esta manera evidenciarlas en fichas, las cuales ayudarán a la empresa a tener datos puntuales y organizados a la hora de presentarse cualquier inconveniente, y también al momento de realizar una inspección. Un ejemplo de las fichas técnicas realizadas se muestra a continuación, en la tabla 4.3, el resto se encuentran ilustradas en la sección de anexo A.



## **4.2 Determinación de los Factores que Afectan la Integridad Mecánica de los Equipos del Sistema de Agua Contra Incendios**

Los mecanismos de degradación presentes en los equipos vinculados con el Sistema de Agua Contra Incendios (SACI) de la Refinería San Roque y seleccionados para esta investigación pudieron ser identificados mediante un análisis de las condiciones a las que se encuentran sometidos dichos equipos y el comportamiento que han reflejado durante su tiempo de servicio, debido a que éstos equipos no poseen sistemas de monitoreo que permitan determinar los factores de degradación que afectan su integridad mecánica, sin embargo; los mismos pudieron ser identificados mediante la utilización de la norma API-571 la cual trata sobre los *Mecanismos de Daño que Afectan Equipos Fijos en la Industria de Refinación*.

Para identificar dichos factores fue necesario el conocimiento de ciertos parámetros de servicios de operación como: temperatura, material de construcción, tipo de agua, tipo del sistema de refrigeración y velocidades del fluido; así como también, las consideraciones sobre las opiniones emitidas por el personal del Departamento de Inspección y Corrosión de la Refinería San Roque. A continuación, se describe el factor principal de degradación de la integridad mecánica de la unidad de SACI, la cual puede afectar la probabilidad de falla de los equipos pertenecientes a dicho sistema.

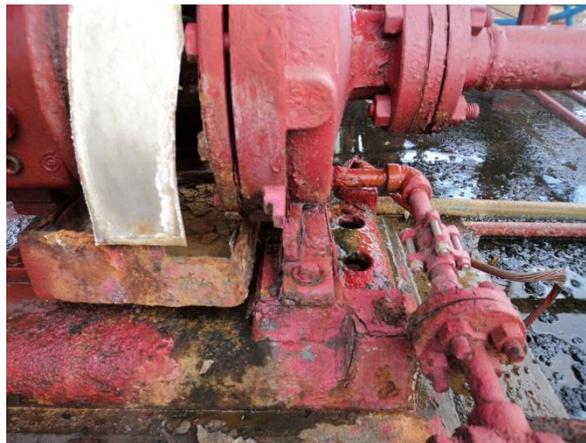
### **4.2.1 Mecanismo de Degradación en las Bombas de la Unidad de SACI**

Uno de los mecanismos de degradación que se pudieron observar en los equipos del SACI es la fatiga mecánica inducida por vibraciones, la cual produce grietas como resultado de la carga dinámica debido a la alta vibración. La fatiga puede ser eliminada o reducida a través del diseño y el uso de soportes y equipos de amortiguación de las vibraciones. (Ver figura 4.10).

La falta de inspecciones, la utilización de métodos de inspección y la carencia de equipos de vigilancia especial para medir vibraciones en los equipos, son algunos de los factores que influyen para que los daños en los equipos se hagan cada vez más notables.



**Figura 4.10. Fatiga mecánica de los equipos**  
Fuente: El autor (2016)



**Figura 4.11. Corrosión galvánica de los equipos**  
Fuente: El autor (2016)

Otro de los factores que afectan la integridad mecánica de los equipos, como se puede observar en la figura 4.10 y 4.11, es la corrosión galvánica la cual puede

ocurrir en cualquier unidad en la que hay un fluido conductor. La humedad que constantemente los rodea debido a falta de mantenimiento la cual hace que se produzcan botes de agua, hace que los equipos puedan sufrir pérdida generalizada de espesor o puede tener el aspecto de una grieta.

El mejor método para prevenir este tipo de corrosión es a través de la aplicación de correcciones y mantenimientos preventivos para evitar que los equipos boten agua y controlar la presencia de sales en el agua.

Otros métodos que se deben implementar para la detección de la corrosión galvánica son la inspección visual y la inspección con ultrasonido (UT), debido a que los daños a veces pueden estar ocultos.

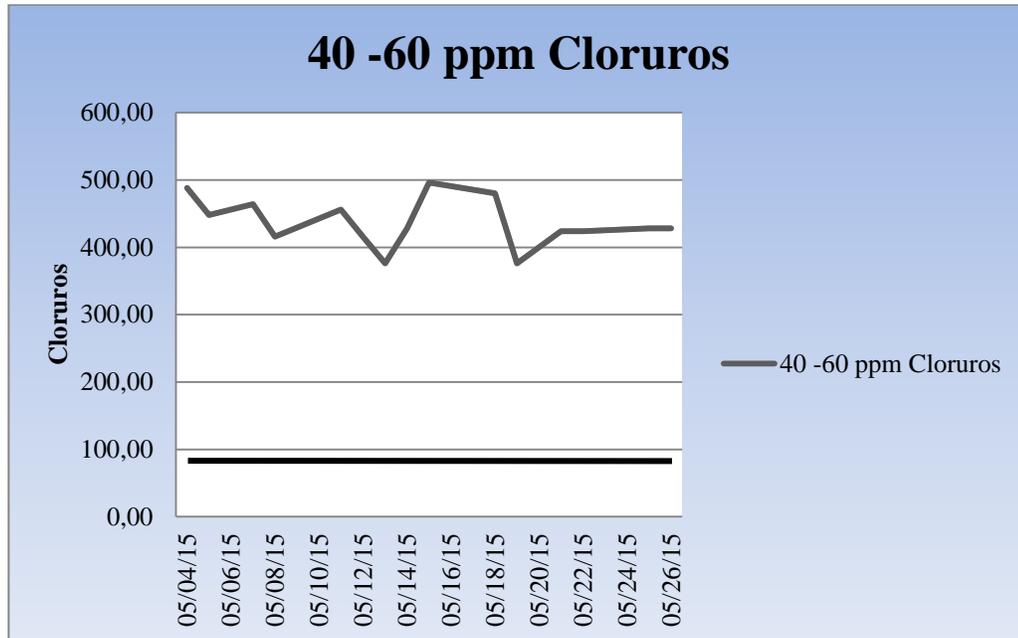
Sin embargo, el principal mecanismo de degradación que afecta considerablemente los equipos de la unidad del SACI es el agua salubre con la cual opera el sistema; para reforzar lo antes descrito se realizó un análisis completo al agua con la que opera el sistema de agua contra incendios, el cual se encuentra detallado en la tabla 4.4, que se muestra a continuación:

**Tabla 4.4. Datos de agua salobre del tanque de almacenamiento 20X1**

	AGUA SALOBRE (20X1)									
	6.5 - 8.3	<400	< 10 ppm	< 0.5 ppm	< 60 ppm	< 40 ppm	< 70 ppm	< 15 NTU	< 50 UCV	40 -60 ppm
<b>FECHA</b>	<b>H</b>	<b>Cond</b>	<b>Sílice</b>	<b>Hierro</b>	<b>Dureza Total</b>	<b>Dureza Cálcica</b>	<b>Alc M</b>	<b>Turbidez</b>	<b>Color</b>	<b>Cloruros</b>
05/04/15	7,94	3080,00	49,10	0,48	80,00	48,00	456,00	17,00	142,00	488,00
05/05/15	7,80	3220,00	24,80	0,37	88,00	48,00	440,00	25,00	222,00	448,00
05/07/15	7,91	3260,00	32,10	0,47	104,00	48,00	440,00	37,00	288,00	464,00
05/08/15	7,94	3260,00	18,60	0,62	80,00	40,00	400,00	22,00	168,00	416,00
05/11/15	7,75	3510,00	28,50	0,38	96,00	56,00	448,00	24,00	220,00	456,00
05/12/15	7,80	3370,00	22,10	0,29	80,00	48,00	440,00	21,00	190,00	416,00
05/13/15	7,87	3190,00	25,00	0,70	64,00	48,00	456,00	23,00	184,00	376,00
05/14/15	7,91	3030,00	39,60	0,52	104,00	48,00	488,00	60,00	508,00	428,00
05/15/15	8,21	3020,00	23,20	1,05	80,00	56,00	408,00	28,00	190,00	496,00
05/18/15	8,21	3480,00	27,30	0,92	88,00	56,00	456,00	25,00	193,00	480,00
05/19/15	8,31	3240,00	28,20	0,26	64,00	48,00	452,00	30,00	278,00	376,00
05/21/15	8,23	2700,00	19,40	1,15	96,00	48,00	528,00	27,00	226,00	424,00
05/22/15	8,35	3230,00	29,60	1,02	72,00	48,00	440,00	26,00	218,00	424,00
05/25/15	8,38	2840,00	24,80	0,47	88,00	48,00	488,00	41,00	371,00	428,00
05/26/15	8,37	3340,00	26,80	0,54	72,00	48,00	520,00	19,00	154,00	428,00
<b>PROMEDIO</b>	8,07	3184,67	27,94	0,62	83,73	49,07	457,33	28,33	236,80	436,53
<b>Máx.</b>	8,38	3510,00	49,10	1,15	104,00	56,00	528,00	60,00	508,00	496,00
<b>Mín.</b>	7,75	2700,00	18,60	0,26	64,00	40,00	400,00	17,00	142,00	376,00
<b>Desv. STD</b>	0,233	221,194	7,796	0,288	12,781	4,131	35,702	10,781	95,061	35,900

Fuente: El autor (2015)

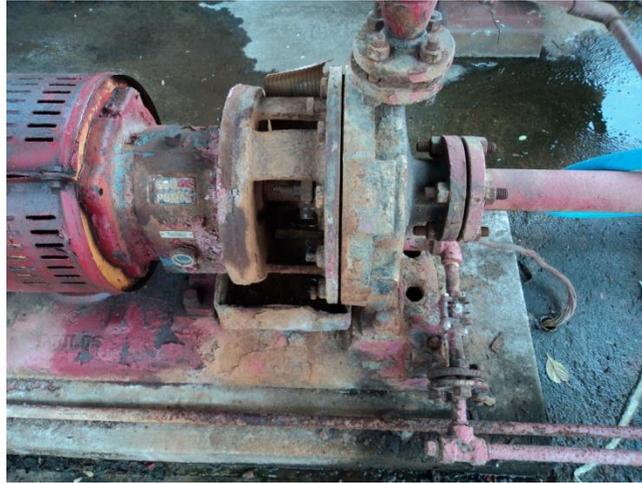
Debido a las altas concentraciones de cloruro presentes en el agua y dado que la mayoría de los materiales de construcción utilizados en plantas son susceptibles a la degradación, la preparación de superficies y la aplicación de revestimiento adecuado son fundamentales para la protección a largo plazo en los equipos.



**Figura 4.12. Comportamiento de cloruros en el agua del tanque 20X1**  
**Fuente: El autor (2015)**

En la figura 4.12; mostrada anteriormente, se puede observar el comportamiento de los cloruros según los análisis hechos al agua salubre perteneciente al tanque 20X1 durante el mes de mayo del año 2015.

En la figura 4.13; y, 4.14, que se muestran a continuación, se puede observar el grado de corrosión que afecta considerablemente la parte externa de las bombas debido a los altos niveles de cloruro presentes en el agua; lo cual, corroe el metal cinco (5) veces más rápido que el agua dulce o agua tratada, acelerando de esta manera el proceso de oxidación y desgaste de las bombas y debilitando su material haciendo que éste se caiga a pedazos. Por lo cual, se recomienda realizar pruebas hidráulicas en los distintos equipos y utilizar agua con bajo contenido de cloruros.



**Figura 4.13. Corrosión debido al agua salubre**  
**Fuente:** El autor (2016)



**Figura 4.14. Corrosión debido al agua salubre**  
**Fuente:** El autor (2016)

De acuerdo a esta norma solo se tomaron en cuenta los puntos anteriormente mencionados porque son los que incidían con el sistema; todos los demás asociados a integridad mecánica no aplicaban debido a que el fluido con el que trabaja el SACI es agua.

### 4.3 Realización de un Análisis de Inspección Basada En Riesgo (IBR) a los Equipos Estáticos del Sistema de Agua Contra Incendios, para Minimizar los Factores que Afectan su Integridad Mecánica

En la tabla que se muestra a continuación, se muestran los resultados que sirvieron de base para la aplicación del programa de IBR y de acuerdo con la información emitida por el Departamento de Servicios Industriales. (Ver tabla 4.5).

**Tabla 4.5. Parámetros de las Unidades de Proceso**

<b>Equipo</b>	<b>TAG</b>	<b>Condición</b>	<b>Código de construcción</b>
Bombas Jockey	B-98D	Por debajo de los estándares de la industria	El equipo cumple con la última edición del código
	B-98C	Por debajo de los estándares de la industria	El equipo cumple con la última edición del código
Bomba Eléctrica	B-98B	Por debajo de los estándares de la industria	El equipo cumple con la última edición del código
Bomba Diesel	B-98A	Por debajo de los estándares de la industria	El equipo cumple con la última edición del código
Tanque de Almacenamiento	20X1	Por debajo de los estándares de la industria	El equipo cumple con la última edición del código
Sistema de Tuberías 4"	-	Por debajo de los estándares de la industria	El equipo cumple con la última edición del código
Sistema de Tuberías 8"	-	Por debajo de los estándares de la industria	El equipo cumple con la última edición del código
Hidrantes Contra Incendio	H1/ H2/ H3/ H4/ H5/ H6/ H7/ H8/ H9/ H10/ H11/ H12/ H13/ H14/ H15	Por debajo de los estándares de la industria	El equipo cumple con la última edición del código
Monitores Contra Incendio	ME/ MF/ MG/ MH/ MI/ MJ	Por debajo de los estándares de la industria	El equipo cumple con la última edición del código

**Fuente:** Departamento de Servicios Industriales RSRQ

De esta tabla se desprende los siguientes datos:

- Equipo: nombre del equipo.
- TAG: identificación dentro de la empresa.
- Condición: situación actual en la que se encontraban los equipos con respecto a los estándares de la industria.

- Código de construcción: se refiere a si el equipo cumple con la normativa vigente.

Una vez definidos los parámetros necesarios, se estableció como premisas considerar las mediciones mayores, menores y promedios de pérdida de espesor de los equipos para establecer la frecuencia de inspección. Luego se incluyó en el software toda la data correspondiente a las condiciones de los equipos, con el fin de definir las probabilidades de falla y sus consecuencias para cada uno de los mismos y así obtener el diagnóstico inicial que permitió establecer las recomendaciones para el control de riesgo.

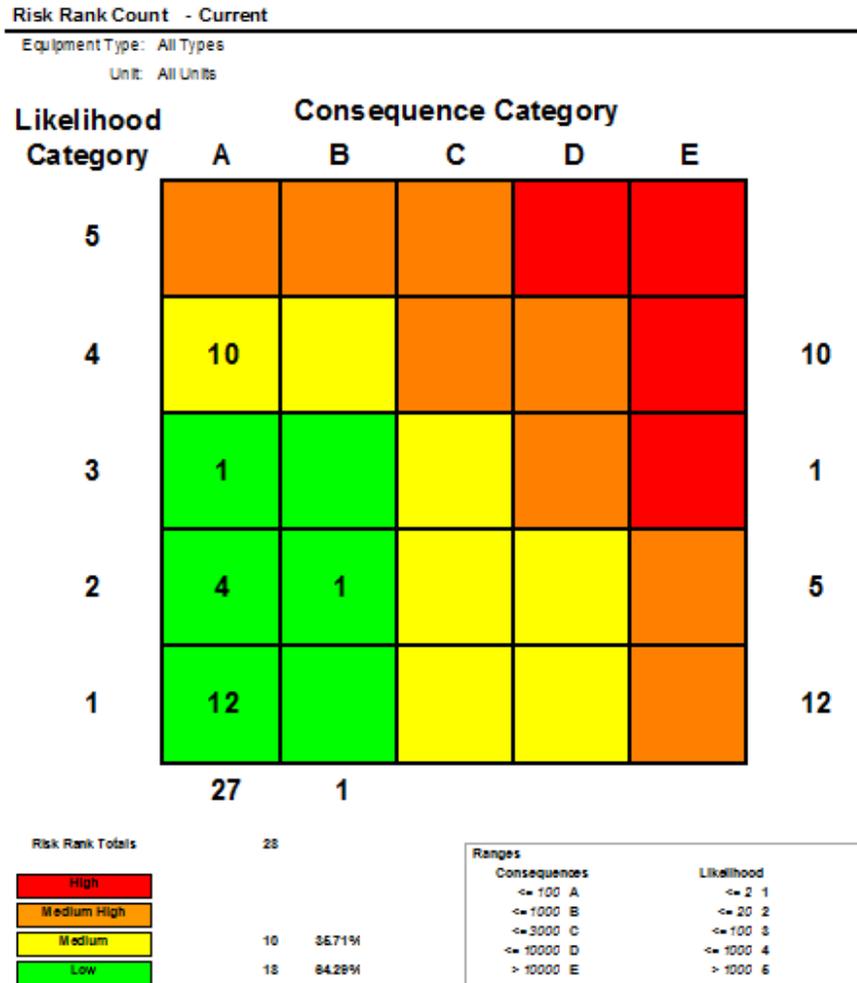
En la tabla que se muestra a continuación, se presentan las lecturas de espesor más recientes obtenidas mediante equipo de inspección DMS-2 para cada uno de los equipos del sistema de agua contra incendios, las cuales se consideraron para la utilización del software. (Ver tabla 4.6).

**Tabla 4.6. Datos necesarios para el software API-RBI de las bombas del SACI**

Equipo	TAG	Max. % de Reducción			Min. % de Reducción			% promedio de reducción	Lectura min.	Velocidad de corrosión
		% máx. de reducción	Lectura min.	Velocidad de corrosión	% mín. de reducción	Lectura min.	Velocidad de corrosión			
Bomba D	B-98D	46.59	0.180	15.70	2.97	0.327	1.00	21.43	0.293	8.19
Bomba C	B-98C	17.21	0.279	5.80	2.37	0.329	0.80	7.70	0.349	3.30
Bomba B	B-98B	25.00	0.324	10.80	1.39	0.426	0.60	5.61	0.336	1.89
Bomba A	B-98A	38.87	0.206	13.10	0.30	0.336	0.10	4.41	0.320	1.40
Tanque	20X1	17.82	0.355	7.70	0.89	0.334	0.30	3.36	0.340	1.21
Tubería 4"	-	19.58	0.271	6.60	0.00	0.337	-	2.86	0.322	0.74
Tubería 8"	-	48.37	0.174	16.30	0.67	0.298	0.20	11.05	0.295	3.69
Hidrante	H-1	62.61	0.126	21.10	0.00	0.337	-	6.02	0.318	2.03
Hidrante	H-2	60.53	0.133	20.40	0.00	0.337	-	7.77	0.309	2.60
Hidrante	H-3	45.70	0.183	15.4	1.48	0.332	0.50	8.94	0.372	3.53
Hidrante	H-4	35.33	0.194	10.60	0.23	0.431	0.10	5.52	0.374	2.11
Hidrante	H-5	30.56	0.234	10.30	1.00	0.297	0.30	7.29	0.306	2.37
Hidrante	H-6	21.07	0.266	7.10	0.89	0.334	0.30	6.61	0.312	2.19
Hidrante	H-7	26.71	0.247	9.00	1.19	0.333	0.40	9.62	0.307	3.01
Hidrante	H-8	33.83	0.223	11.40	0.30	0.336	0.10	7.20	0.313	2.19
Hidrante	H-9	67.66	0.109	22.80	0.00	0.337	-	10.56	0.297	3.46
Hidrante	H-10	36.00	0.192	10.80	2.67	0.292	0.80	19.68	0.232	5.66
Hidrante	H-11	46.59	0.180	15.70	2.97	0.327	1.00	21.43	0.293	8.19
Hidrante	H-12	21.07	0.266	7.10	0.3	0.336	0.10	4.39	0.317	1.81
Hidrante	H-13	66.17	0.114	22.30	0.00	0.337	-	7.47	0.313	4.78
Hidrante	H-14	36.00	0.192	10.80	2.67	0.292	0.80	19.68	0.232	5.66
Hidrante	H-15	46.59	0.180	15.70	2.97	0.327	1.00	21.43	0.293	8.19
Monitor	M-E	17.82	0.355	7.70	0.89	0.334	0.30	3.36	0.340	1.21
Monitor	M-F	24.77	0.325	10.70	6.53	0.315	2.20	9.10	0.436	3.67
Monitor	M-G	9.50	0.305	3.20	2.67	0.328	0.90	4.51	0.309	1.48
Monitor	M-H	45.10	0.185	15.20	1.48	0.332	0.50	8.69	0.303	2.88
Monitor	M-I	66.17	0.114	22.30	0.00	0.337	-	7.47	0.313	4.78
Monitor	M-J	36.00	0.192	10.80	2.67	0.292	0.80	19.68	0.232	5.66

**Fuente:** Departamento de Servicios Industriales RSRQ

Cabe destacar que debido a que el flujo con el que trabaja la unidad de estudio es agua la cual representa un nivel de toxicidad cero (0), solamente se pudo hacer la corrida para la parte estática de la misma, las cuales son las que se han visto más afectadas; ya que, no se cuenta con historiales de inspección detallados de los demás equipos que conforman el sistema. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:



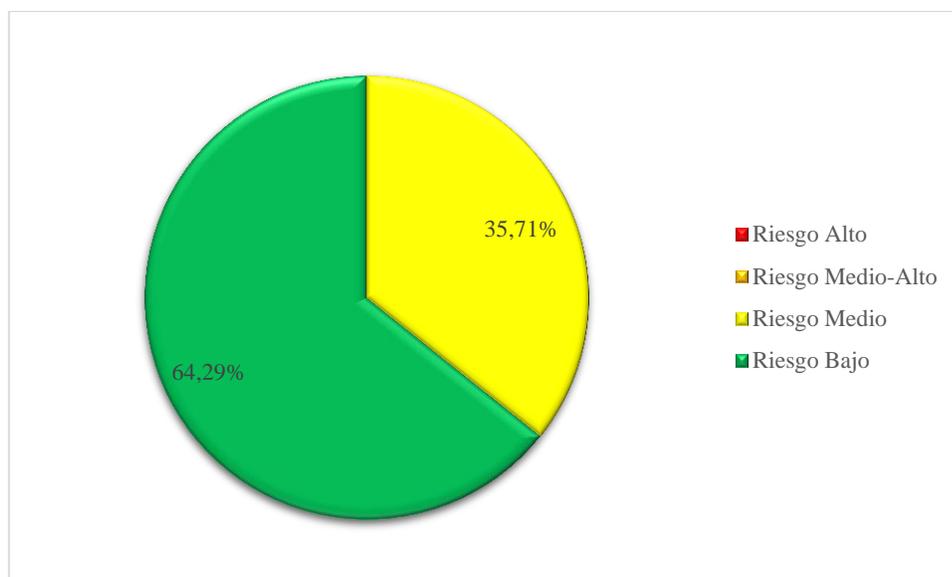
**Figura 4.15. Riesgo actual para los equipos del SACI**  
**Fuente: Software API-RBI**

Como se puede observar en la figura 4.15, la matriz de riesgo muestra en forma general las condiciones operacionales actuales de los equipos pertenecientes al Sistema de Agua Contra Incendio de la Refinería San Roque; las cuales, se distribuyen en las casillas de frecuencias de falla 1, 2, 3 y 4; correspondientes a las categorías de consecuencias tipo A y B.

La matriz de riesgo indica la existencia de 10 (diez) puntos de corrosión se encuentran en Riesgo Medio, lo que resulta un 35,71% del total de los equipos analizados; y, el otro 64,29% lo representan los 18 (dieciocho) puntos restantes con un nivel de Riesgo Bajo.

El objetivo primordial del análisis de riesgo fue determinar el nivel de riesgo para poder establecer las actividades de inspección y mantenimiento adecuadas para cada una de las bombas pertenecientes al sistema de agua contra incendios y su condición.

Estos resultados se muestran gráficamente en la figura 4.16, la cual se muestra a continuación; donde se puede observar la representación porcentual para cada categoría.



**Figura 4.16. Distribución porcentual actual de los equipos estudiados, según la categoría de riesgo**

**Fuente:** El autor (2016)

La corrosión de los equipos se distribuye en una consecuencia tipo A y B, las cuales representan un intervalo probable de afectación  $\leq 100\text{pies}^2$  y  $\leq 1000\text{pies}^2$  respectivamente, dependiendo la falla producida.

**Tabla 4.7. Resumen de corrosión de los equipos**

<b>Categoría de consecuencia</b>	<b>Intervalo probable de afectación</b>
<b>A</b>	$\leq 100\text{pies}^2$
<b>B</b>	$\leq 1000\text{pies}^2$

**Fuente:** El autor (2016)

En cuanto a la probabilidad de falla se encontraron que 10 de los equipos presentan una categoría media de probabilidad 4, esta categoría representa una probabilidad de falla genérica de  $\leq 1000$ ; 1 equipo en la categoría baja de probabilidad 3, lo cual representa una probabilidad de falla genérica de  $\leq 100$ ; 5 de los equipos en la categoría baja de probabilidad 2, lo que representa una probabilidad de falla genérica de  $\leq 20$ ; y, 12 equipos en la categoría baja de probabilidad 1, lo cual representa una probabilidad de falla genérica de  $\leq 2$ . En la tabla 4.8 que se muestra a continuación se muestra el análisis de los resultados de la matriz.

**Tabla 4.8. Resumen del análisis de resultados de la matriz**

<b>Nº de equipos</b>	<b>Categoría de riesgo</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Probabilidad de falla genérica</b>
<b>10</b>	Medio	4	$\leq 1000$
<b>1</b>	Bajo	3	$\leq 100$
<b>5</b>	Bajo	2	$\leq 20$
<b>12</b>	Bajo	1	$\leq 2$

**Fuente:** El autor (2016)

El objetivo primordial del análisis de riesgo fue determinar los equipos con mayor nivel de riesgo en cuanto a la corrosión que presentan para poder establecer las

actividades de inspección y mantenimiento para cada uno de ellos y conocer su condición.

Los resultados del nivel de riesgo mostrados anteriormente están basados en los parámetros actuales de los equipos pertenecientes al SACI, se decidió proyectar en el tiempo cual sería el comportamiento del riesgo para una frecuencia de 2 años entre inspecciones en función de las condiciones operacionales actuales, debido a que el deterioro en la superficie externa ha sido notable en ese tiempo, esto según recomendación del supervisor del área de Servicios Industriales y el personal de inspección y corrosión .

La duración del plan de inspección de la corrosión externa de los equipos se estableció para una duración de diez (10) años, tomando en consideración la Norma API 581, que “establece que el intervalo máximo de inspección no debe exceder los diez (10) años”, por lo cual, el plan de inspección a presentar es hasta el año 2026.

En las figuras 4.17, 4.18 y 4.19, que se muestran a continuación, podemos observar el comportamiento del riesgo actual, futuro sin inspecciones y futuro con inspecciones, respectivamente para una frecuencia de dos (2) años entre inspecciones.

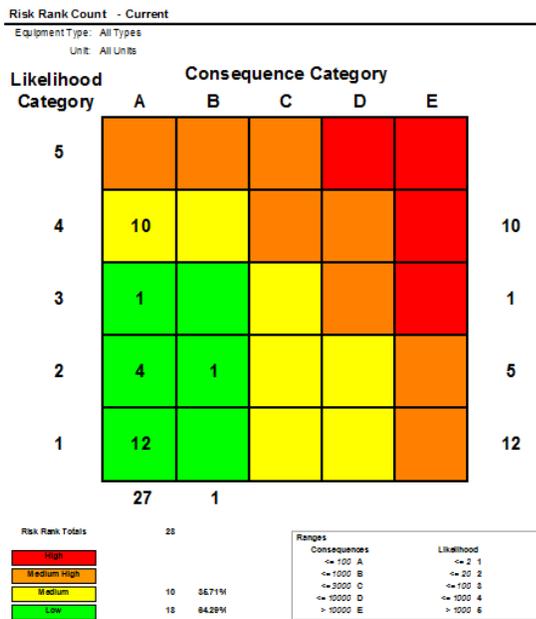


Figura 4.17. Riesgo actual de los equipos del SACI, con frecuencia de 2 años entre inspecciones  
 Fuente: Software API-RBI

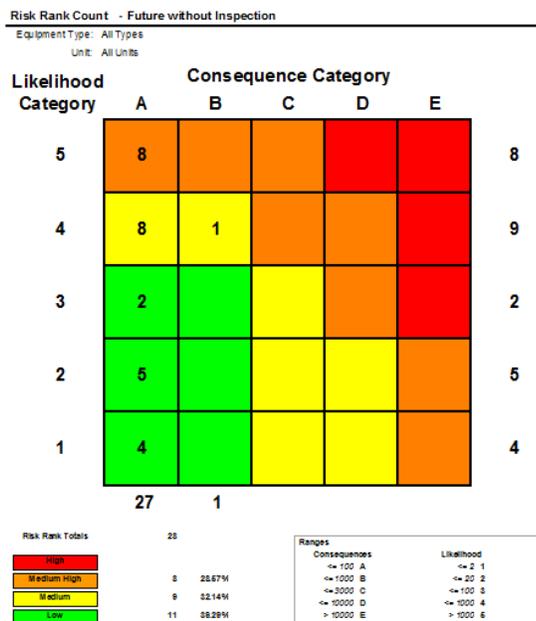
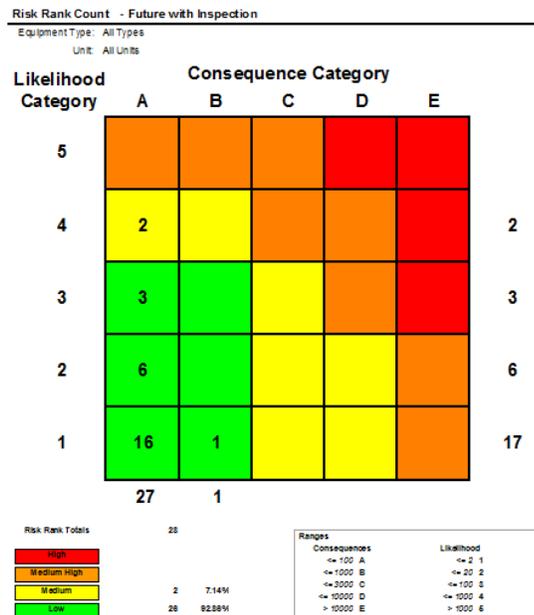


Figura 4.18. Riesgo futuro sin inspecciones de los equipos del SACI, con frecuencia de 2 años entre inspecciones  
 Fuente: Software API-RBI

Observando la figura 4.18, se denota que a medida que no se aplica inspección, mayor se hace la tasa de falla de los equipos analizados, indicando la existencia de ocho (8) puntos de corrosión se encuentran en Riesgo Medio-Alto, nueve (9) puntos en Riesgo Medio y once (11) puntos en Riesgo Bajo.



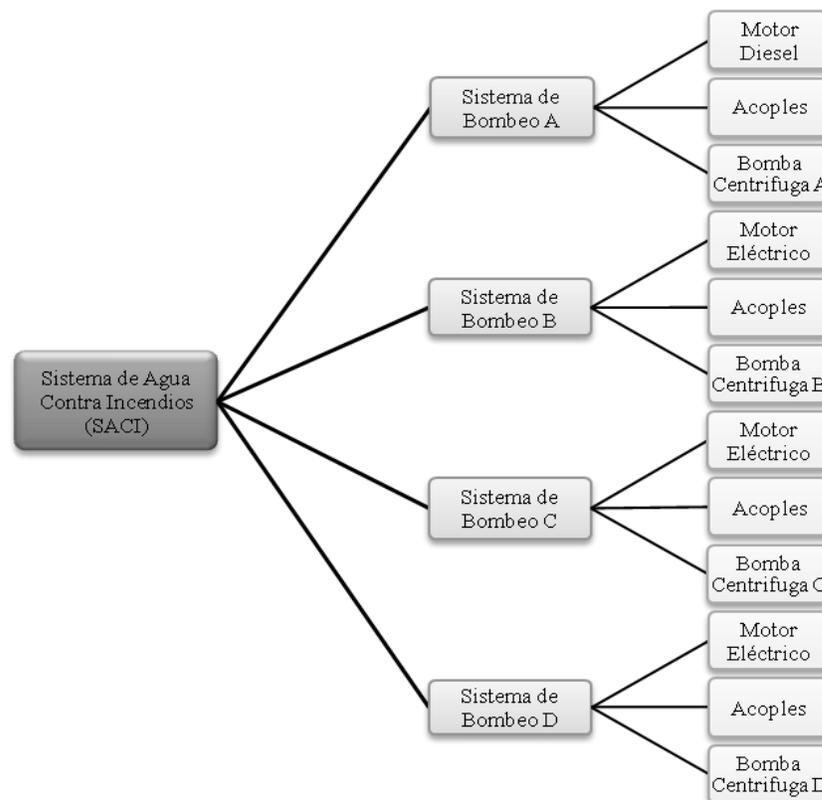
**Figura 4.19. Riesgo futuro con inspecciones de los equipos del SACI, con frecuencia de 2 años entre inspecciones**  
 Fuente: Software API-RBI

En la figura 4.19 mostrada anteriormente, se denota que a medida que se incrementan la aplicación de las inspecciones, menor se hace la tasa de falla de los equipos analizados, indicando solamente que dos (2) puntos de corrosión se encuentran en Riesgo Medio y los veintiséis (26) puntos restantes en Riesgo Bajo.

En conclusión, se puede decir que la frecuencia de cada dos (2) años entre inspecciones es adecuada, momento en el cual se deberá realizar otra evaluación o diagnóstico para emitir nuevas recomendaciones para el control de riesgo.

#### 4.4 Análisis de las Fallas de las Bombas del Sistema de Agua Contra Incendios Mediante un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)

Para determinar las fallas presentes en el sistema de agua contra incendios fue necesario conocer todos y cada uno de los sub-sistemas que lo componen, así como también sus diferentes partes, para ello se realizó el siguiente diagrama donde se especifican los componentes e ítems mantenibles, para posteriormente establecer las actividades de mantenimiento a realizar. (Ver figura 4.20).



**Figura 4.20. Despiece de las bombas del Sistema de Agua Contra Incendios**  
Fuente: El autor (2016)

Luego de haber realizado el despiece del sistema por componentes e ítems mantenibles se procedió a realizar el análisis modo efecto de falla para cada uno de los componentes de los equipos que están en estado crítico, para ello fue necesario

conocer la función principal de los componentes, de igual manera se establecieron los modos y efectos de fallas asociados con ayuda del personal de mantenimiento del sistema contra incendios. A continuación se muestra la primera Hoja de Información MCC del Análisis de Modos Efectos de Fallas que se aplicó al sistema de bombeo A por el equipo natural de trabajo, las demás se encuentran ilustradas en sección de anexo B.

Tabla 4.9. Análisis Modo Efecto de Fallas del Motor Diesel del Sistema de Bombeo A

 <b>PDVSA</b> REFINACIÓN ORIENTE		<u>INFORMACIÓN DE MMC</u>		<b>RSRQ</b> REFINERÍA SAN ROQUE	Pág. 1/1
<b>SISTEMA</b>			SACI		
<b>EQUIPO</b>			Bomba Diesel 400HP (B-98 A)		
<b>SUB-SISTEMA</b>			Sistema de Bombeo A		
<b>COMPONENTE/ITEMS MANTENIBLE</b>			Motor Diesel		
<b>Fecha</b>		<b>Elaborado por</b>		<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
		Equipo Natural de Trabajo		M.Sc. Daniel Romero	Supte. Ángel Figueroa
N°	FUNCIÓN PRINCIPAL	N°	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1	Suministrar potencia de 400 HP a la bomba	A	No suministra potencia de 400 HP a la bomba	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desgaste de los cojinetes.</li> <li>- Desgaste en los sellos.</li> <li>- Falla de lubricación en los anillos</li> <li>- Falla del elemento de carga flotante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta temperatura y vibración. Paralización del equipo.</li> <li>- Fugas de agua por los ejes. Ruido constante.</li> <li>- No hay ignición de arranque</li> </ul>
		B	No suministra potencia a la bomba	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hay inyección de combustible.</li> <li>- Banco de baterías dañado.</li> <li>- Bujías deterioradas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo no arranca.</li> <li>- Paralización del equipo.</li> <li>- Variación en la presión de salida de la bomba.</li> </ul>
2	Mantener una velocidad de constante de 1785 rpm	A	No mantiene una velocidad constante de 1785 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desgaste de válvula de combustible.</li> <li>- Bujías deterioradas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mala inyección y pérdida de combustible.</li> <li>- Variación en la presión de salida de la bomba</li> </ul>
		B	Mantiene una velocidad inferior a 1785 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Varillaje del gobernador descalibrado.</li> <li>- La conexión de succión está obstruida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja revolución. No levanta presión en las redes de distribución.</li> </ul>

Fuente: El autor (2016)

#### 4.5.1. Resultados del Análisis de Modos y Efectos de Fallas

Se totalizó y contabilizó la cantidad de funciones, fallas totales, modos de fallas totales que se obtuvieron de la aplicación del Análisis de Modo Efecto Falla (AMEF) con el objetivo de describir de mejor manera los resultados obtenidos.

**Tabla 4.10. Contabilización de las variables**

<b>Variable</b>	<b>Total</b>
Funciones	14
Fallas Funcionales	28
Modos de fallas	61

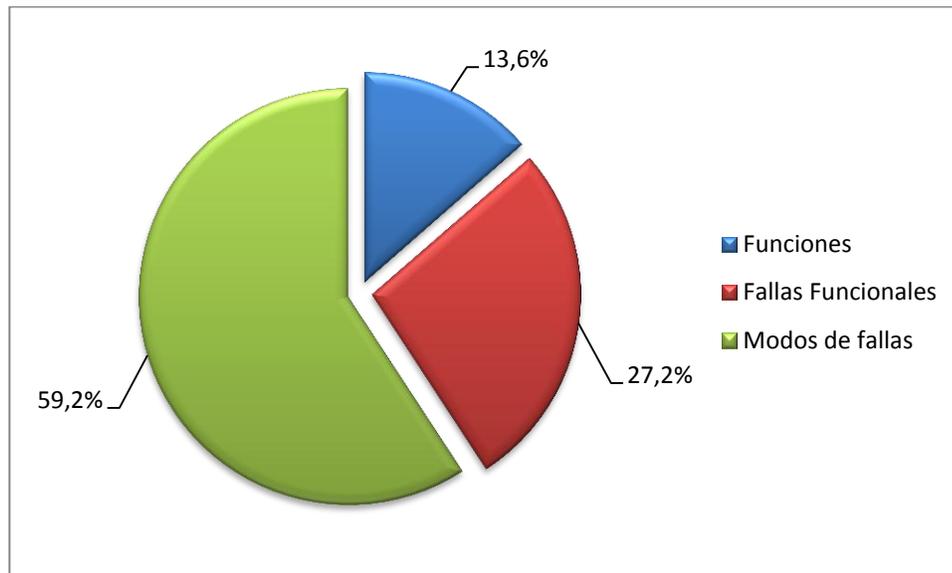
**Fuente:** El autor (2016)

En la tabla 4.10 anteriormente mostrada, se puede observar la totalización de los resultados obtenidos, los cuales se subdividieron en modos de falla y actividades de mantenimiento, con la finalidad de establecer de manera porcentual cada uno de ellos como se muestra a continuación.

**Tabla 4.11. Distribución porcentual de los resultados del AMEF**

<b>Variable</b>	<b>Total</b>
Funciones	13,6%
Fallas Funcionales	27,2%
Modos de fallas	59,2%

**Fuente:** El autor (2016)



**Figura 4.21. Distribución porcentual de los resultados del AMEF**  
Fuente: El autor (2016)

En la figura 4.21, se puede observar que el 59,2% representa la cantidad de modos de fallas encontrados a través del AMEF, para los cuales se van a establecer acciones de mantenimiento para lograr disminuirlos, el 13,6% representa las funciones asociadas a cada componente de cada equipo al que fue aplicado el análisis y el 27,2% representa las fallas funcionales que niegan la función principal de cada componente/ítems mantenibles de un equipo.

#### **4.5 Establecimiento de Acciones de Mantenimiento a los Equipos Dinámicos del Sistema de Agua Contra Incendios**

Luego de analizar las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla, el siguiente paso consiste en seleccionar la acción de mantenimiento correspondiente a cada falla.

En esta sección se determinaron las acciones de mantenimiento y las frecuencias con que se debe realizar cada actividad para el desempeño óptimo de los equipos bajo estudio.

Para la selección de las acciones se contó con la experiencia de los operadores de las bombas y con los resultados del AMEF, de los cuales se tomaron en cuenta los modos de falla para cada falla funcional.

Para determinar la frecuencia de cada acción, el equipo natural de trabajo tomó en cuenta el AMEF, la norma NFPA 25 y la experiencia de los operadores de los equipos con el fin de obtener tiempos de frecuencia acordes y óptimos para la realización de las inspecciones. A continuación se muestra la primera Hoja de Información de acciones de mejora continua para el sistema de bombeo A, las demás se encuentran ilustradas en sección de anexo C.

La planificación de las actividades de inspección para los sistemas de bombeo A/B/C/D del SACI se dividió en 12 meses de 4 semanas cada uno, tal y como se podrá observar en la sección de anexo D; agrupando de esta manera las acciones por frecuencia y comenzando por las actividades semanales hasta las que se realizan anualmente.

**Tabla 4.12. Hoja De Información de Acciones de Mejora Continua para el Sistema de Bombeo A**

 <b>PDVSA</b> REFINACIÓN ORIENTE		<b>INFORMACIÓN DE ACCIONES DE MEJORA</b> <u>CONTINUA</u>		<b>RSRQ</b> REFINERÍA SAN ROQUE	<b>Pág. 1/3</b>
<b>SISTEMA</b>		SACI			
<b>EQUIPO</b>		Bomba Diesel 400 HP (B-98 A)			
<b>SUB-SISTEMA</b>		Sistema de Bombeo A			
<b>Fecha</b>	<b>Elaborado por</b>	<b>Revisado por</b>		<b>Aprobado por</b>	
	Equipo Natural de Trabajo	M.Sc. Daniel Romero		Supte. Ángel Figueroa	
<b>ITEMS MANTENIBLE</b>	<b>ACCIÓN</b>	<b>RESPONSABLE</b>	<b>RECURSOS</b>	<b>FRECUENCIA</b>	
Cojinetes	Verificar condición de cojinetes y reemplazar de ser necesario	Mecánico	Llaves combinadas Caja de herramientas EPP	Trimestral	
Sellos	Verificar condición de sellos y reemplazar de ser necesario	Mecánico	Llaves combinadas Caja de herramientas EPP	Trimestral	
Anillos	Lubricación de anillos	Mecánico	Llaves combinadas Caja de herramientas Grasa EPP	Trimestral	
Elemento de carga flotante	Verificar suministro de energía	Electricidad	Téster Atornillador Llaves combinadas Caja de herramientas EPP	Semanal	
Combustible	Inspección del nivel del tanque de combustible	Mecánico	Llaves combinadas Caja de herramientas Varillas medidoras EPP	Semanal	

**Fuente:** El autor (2016)

**Tabla 4.12. Hoja De Información de Acciones de Mejora Continua para el Sistema de Bombeo A. (Continuación)**

 <b>PDVSA</b> REFINACIÓN ORIENTE		<b>INFORMACIÓN DE ACCIONES DE MEJORA</b> <b>CONTINUA</b>			<b>RSRQ</b> REFINERÍA SAN ROQUE	<b>Pág. 2/3</b>
<b>SISTEMA</b>		SACI				
<b>EQUIPO</b>		Bomba Diesel 400 HP (B-98 A)				
<b>SUB-SISTEMA</b>		Sistema de Bombeo A				
<b>Fecha</b>	<b>Elaborado por</b>		<b>Revisado por</b>		<b>Aprobado por</b>	
	Equipo Natural de Trabajo		M.Sc. Daniel Romero		Supte. Ángel Figueroa	
<b>ITEM MANTENIBLE</b>	<b>ACCIÓN</b>		<b>RESPONSABLE</b>	<b>RECURSOS</b>		<b>FRECUENCIA</b>
Banco de baterías	Sustitución del banco de baterías		Mecánico	Llaves combinadas Caja de herramientas EPP		Cada vez que sea intervenido por esta falla
	Revisar parámetros operacionales.					Trimestral
Bujías	Verificar condición de bujías y sustituir si es necesario		Mecánico	Llaves combinadas Caja de herramientas EPP		Trimestral
Válvula de combustible	Verificar condición de la válvula de combustible y reemplazar de ser necesario		Mecánico	Llaves combinadas Caja de herramientas Grasa EPP		Trimestral
	Lubricación del cuerpo de la válvula					
	Desalineación	Verificar condición en la rosca y estado de los pernos	Mecánico	Llaves combinadas Caja de herramientas Micrómetro Comparador de ajuste EPP		Trimestral

**Fuente:** El autor (2016)

**Tabla 4.12. Hoja De Información de Acciones de Mejora Continua para el Sistema de Bombeo A. (Continuación)**

 <b>PDVSA</b> REFINACIÓN ORIENTE		<b>INFORMACIÓN DE ACCIONES DE MEJORA</b> <b><u>CONTINUA</u></b>			<b>RSRQ</b> REFINERÍA SAN ROQUE	Pág. 3/3
<b>SISTEMA</b>		SACI				
<b>EQUIPO</b>		Bomba Diesel 400 HP (B-98 A)				
<b>SUB-SISTEMA</b>		Sistema de Bombeo A				
<b>Fecha</b>	<b>Elaborado por</b>		<b>Revisado por</b>		<b>Aprobado por</b>	
	Equipo Natural de Trabajo		M.Sc. Daniel Romero		Supte. Ángel Figueroa	
<b>ITEM MANTENIBLE</b>	<b>ACCIÓN</b>	<b>RESPONSABLE</b>	<b>RECURSOS</b>		<b>FRECUENCIA</b>	
Sistema de acoples motor-bomba	Mala instalación	Verificación y seguimiento de los procedimientos de armado	Mecánico	Llaves combinadas Caja de herramientas EPP	Cada vez que se lleve la bomba al taller	
	Pernos	Verificar condición de pernos y reemplazar de ser necesario	Mecánico	Llaves combinadas Caja de herramientas EPP	Trimestral	
	Acople	Monitorear el nivel de vibraciones	Mecánico	Llaves combinadas Caja de herramientas EPP	Semanal/Luego de una actividad de mantenimiento	
		Inspeccionar la integridad del acople y reemplazar de ser necesario			Trimestral	
	Balanceo	Medición y análisis de vibraciones	Mecánico	Analizador de vibración EPP	Semanal	
Ajuste de tuercas	Ajustar acoples	Mecánico	Llaves combinadas Llaves ajustables Caja de herramientas EPP	Trimestral		
	Realizar control de calidad en el ajuste de acoples					

**Fuente:** El autor (2016)

**CAPITULO V**

**PLAN DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS  
DE AGUA CONTRA INCENDIOS**

## 5.1 Objeto

Este manual de inspección tiene como objeto proporcionar los requerimientos para garantizar la protección de la vida y propiedad, por medio de métodos y acciones de inspección y mantenimiento de sistemas para protección de incendios a base de agua.

## 5.2 Alcance y Aplicación

Está destinado al sistema de agua contra incendio perteneciente a la Planta de Servicios Industriales de la Refinería San Roque, ubicada en el Municipio Santa Ana, estado Anzoátegui, incluye los sistemas de tuberías y bombas contra incendios.

Este documento contiene la ejecución de los programas de inspección de rutina que abarcan la verificación visual de condiciones de sistemas contra incendio, así como también la programación del mantenimiento preventivo del sistema de bombeo, y el remplazo de partes que lo requieran.

## 5.3 Referencias

NFPA 25 Inspección, Prueba y Mantenimiento de Sistemas de Protección Contra Incendios a Base de Agua.

PDVSA-Petróleos de Venezuela, S.A:

- IR-S-13. Volumen I. Guía de Inspección, Prueba y Mantenimiento de Sistemas de Agua Contra Incendio.
- IR-M-03. Volumen I. Sistema de Agua Contra Incendio.

## **5.4 Definiciones**

Se usarán para mejorar la comprensión y aplicación de las actividades del plan y del manual de inspección, a continuación, se mencionan los siguientes conceptos teóricos:

### **5.4.1 Norma**

Documento cuyo texto principal contiene solamente estipulaciones obligatorias usando la palabra “debe” para indicar requisitos y que está en forma generalmente adecuada para consulta obligatoria por otra norma y código o para adopción por ley.

### **5.4.2 Detector Automático de Incendios**

Dispositivo que detecta temperaturas anormalmente altas, velocidad de elevación de temperatura, partículas visibles e invisibles, radiaciones infrarrojas o visibles, o gases producidos por un incendio.

### **5.4.3 Dispositivo de Descarga**

Dispositivo diseñado para descargar agua o solución de espuma y agua en un patrón predeterminado, fijo o ajustable.

### **5.4.4 Desagüe Principal**

Localizada en la columna del sistema y utilizada como conexión de flujo.

#### **5.4.5 Hidrante de Incendios**

Conexión de válvula en una tubería de agua con el objeto de proveer agua a las mangueras de incendio u otros aparatos contra incendios.

#### **5.4.6 Concentrado de Espuma**

Líquido que está almacenado en la vasija de confinamiento y se dosifica a un chorro de agua corriente en la concentración especificada por el sistema de dosificación.

#### **5.4.7 Inspección**

Examen visual del sistema o parte de este para verificar que está en condiciones de operar o libre de daño físico.

#### **5.4.8 Mantenimiento**

Trabajo que se realiza para mantener el equipo estable operable o hacer reparaciones.

#### **5.4.9 Operación Manual**

Operación del sistema o sus componentes por medio de acción humana.

#### **5.4.10 Norma NFPA 25**

Esta norma establece los requisitos mínimos para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección de incendios a base de agua, incluyendo aplicaciones en tierra firme y marítima. Los tipos de sistemas complementados en esta norma incluyen pero no se limitan a, rociadores, tuberías verticales y mangueras, pulverizadores fijos de agua y de espuma y agua. Esta norma se aplica a los sistemas de protección de incendios instalados correctamente de acuerdo con las prácticas generalmente aceptadas.

#### **5.4.11 Norma PDVSA IR-S-13**

Establece los principios esenciales para la elaboración de un programa que permita, a las organizaciones de Prevención y Control de Incendios de la industria, implantar de manera uniforme, las técnicas de inspección, prueba y mantenimiento que garanticen la operatividad de los sistemas de agua contra incendio.

#### **5.4.12 Norma PDVSA IR-M-03**

Establece los requerimientos mínimos de diseño que deberán cumplir los sistemas de agua contra incendio, como sistema de protección activo, a fin de garantizar un nivel razonable de protección para el personal y las instalaciones, frente a los riesgos potenciales de incendio y/o explosión que puedan originarse en instalaciones de la Industria Petrolera y Petroquímica Nacional (IPPN).

#### **5.4.13 Sistema de Agua Contra Incendio**

Sistema cuya función es distribuir agua contra incendios a través de la planta o instalación. Incluye sistema de tuberías, tanques, hidrantes y bombas contra incendios, pero excluye sistemas de rociadores y sistemas de espuma.

#### **5.4.14 Pruebas**

Verificaciones físicas periódicas de los equipos y/o sistemas operando los mismos en condiciones normales, para validar los requerimientos de normas y parámetros de diseño, incluyendo mediciones de caudal, presión y otras variables.

#### **5.4.15 Presión Residual**

Es la presión existente en un determinado punto de la red de agua contra incendios en condiciones de flujo o consumo en la red. Se determina mediante un manómetro, debiendo mencionarse el valor del caudal y el punto de medición.

#### **5.4.16 Presión Estática**

Es la presión registrada por manómetro en algún punto de la red contra incendios cuando el agua está en reposo o no existe consumo de la red.

#### **5.4.17 Coeficiente de Rugosidad**

Representa la resistencia de la superficie interna de la tubería al flujo del agua. Su valor depende del material de fabricación de la tubería utilizada y el tiempo en servicio de la misma.

### **5.4.18 Pérdida por Fricción**

Representa la disminución de presión entre dos puntos de la red originado por la fricción entre el agua en movimiento y las paredes de la tubería y la fricción de las partículas de agua entre sí.

## **5.5 Actividades de Mantenimiento**

Las actividades están destinadas a los siguientes equipos: Bomba Diesel 400 HP (B-98 A), Bomba Eléctrica (B-98 B), y Bombas Eléctricas Jockey (B-98 C/D)

### **5.5.1 Procedimiento**

- Lea cuidadosamente cada actividad, en caso de alguna duda en su aplicación consulte a su supervisor inmediato.
- Aplique las diferentes acciones según su frecuencia
- Será necesario la asistencia de un personal con experiencia en mecánica, electricidad, seguridad y mantenimiento del equipo.
- Use los implementos de seguridad y equipos de protección personal adecuados.
- Utilice las siguientes herramientas: téster, atornilladores, llaves combinadas, ajustables, trapos industriales, equipos para completación de niveles y fluidos.
- En caso de lubricación de partes, consulte el manual del fabricante para administrar el fluido adecuado al tipo de equipo.
- No ingrese al área de mantenimiento sin usar su equipo de protección personal.
- En caso de aplicar acciones correctivas, registrar las fallas encontrada y notificarla con el supervisor inmediato encargado.





**Tabla 5.1. Plan de Mantenimiento para el Sistema de Agua Contra Incendio.(Continuación)**

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE AGUA CONTRA INCENDIO		Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo			Junio			Julio			Agosto			Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre			ELABORADO POR		Equipo Natural de Trabajo																									
																																						REVISADO POR		M.Sc. Daniel Romero																									
																																						APROBADO POR		Supte. Ángel Figueroa																									
Equipo	Bomba Eléctrica (B-98 C/D)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4												
<b>Actividades</b>		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Verificar condición de la caja de rodamientos																																																																	
Lubricación y engrase en rodamientos y reemplazar si es necesario																																																																	
Limpieza de partes eléctricas y contactores de secuencia y reemplazar arrancador de ser necesario																																																																	
Realizar mantenimiento a las ternas y elementos de carga a los motores																																																																	
Verificar condición interna del impulsor y realizar limpieza a los alabes																																																																	
Liberar sólidos presentes en el impulsor																																																																	
Realizar megado del embobinado y sustituir motor de ser necesario																																																																	
Colocación de parches externos en la carcasa																																																																	
Restauración de integridad mecánica. Colocación de revestimiento anticorrosivo																																																																	
Reemplazo de empaaduras																																																																	
Ajustar pernos																																																																	
Verificar condición de sellos y sustituir si es necesario																																																																	
Verificar condición en la rosca y estado de los pernos																																																																	
Verificación y seguimiento de los procedimientos de armado																																																																	
Verificar condición de pernos y sustituir si es necesario																																																																	
Monitorear el nivel de vibraciones																																																																	
Inspeccionar la integridad del acople y reemplazar si es necesario																																																																	
Medición y análisis de vibraciones																																																																	
Ajustar acoples																																																																	
Realizar control de calidad en el ajuste de acoples																																																																	

**Fuente: El autor (2016)**

## 5.6 Formato de Reporte de Fallas

### 5.6.1 Procedimiento

- Indique sistema al cual pertenece el equipo.
- Indique nombre del equipo.
- Indique el sub-sistema al cual está asociado el ítem o parte a la que se le está aplicando el mantenimiento preventivo.
- Coloque la fecha.
- Especifique el responsable de operar o mantener el equipo.
- Describa detalladamente la falla que surgió y/o el motivo por el cual el equipo presenta deficiencias de operación.
- Detalle las acciones realizadas para solventar el fallo.
- Indique la condición final en función del mantenimiento correctivo realizado.
- En caso de remplazo de partes, deberá anexar al reporte la orden de salida y la aprobación del cambio de pieza, de modo que se almacene en el historial de fallas del equipo.



## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

- No todos los equipos que conforman el sistema de agua contra incendios se encuentran 100% operativos. El recubrimiento de los mismos se encontró bastante deteriorado debido al alto grado de corrosión que presentan. También se pudo observar que los equipos no cuentan con un sistema de detección de mecanismos de degradación; y aunado a esto, no presentan un estudio previo de planes de inspección o mejoras.
  
- Los equipos estáticos del sistema se encuentran expuestos a los mecanismos de degradación por la humedad que constantemente los rodea debido a falta de mantenimiento.
  
- Los equipos pertenecientes al Sistema de Agua Contra Incendios obtuvieron un nivel de riesgo bajo, debido a que el fluido con el que trabaja es agua y no genera un daño significativo o de gran relevancia. Los resultados obtenidos en la estimación de riesgo indican que el Sistema de Agua Contra Incendio el 75% de los equipos estudiados se encuentran en riesgo medio y el otro 25% en riesgo bajo. Mediante la evaluación del Sistema de Agua Contra Incendios existente se detectaron irregularidades tales como: corrosión excesiva en las bombas, operatividad de los mismos sin paro determinado y fugas en las tuberías.
  
- Al aplicar el AMEF se determinó que el Sistema de Agua Contra Incendios ha presentado catorce (14) funciones, veintiocho (28) fallas funcionales y sesenta y

un (61) modos de fallas. Con la utilización del AMEF se determinaron las actividades de mantenimiento más óptimas que deben ser empleadas para disminuir las fallas en los equipos dinámicos del Sistema de Agua Contra Incendios.

- Se determinaron los recursos, frecuencia, herramientas y materiales necesarios para la ejecución de las acciones de mantenimiento del Sistema de Agua Contra Incendios y así garantizar la confiabilidad del mismo.
- Se elaboró un plan de inspección para los equipos del Sistema de Agua Contra Incendios considerando las frecuencias de inspección, lo que permitirá mejorar la calidad y confiabilidad de la información y de los trabajos predictivos futuros.

## **6.2 Recomendaciones**

- Realizar pruebas semanales al Sistema de Agua Contra Incendios y capacitar a la brigada; ya que, esto familiarizará y mejorará significativamente la capacidad de respuesta ante un siniestro.
- Aplicar el plan de inspección propuesto en este trabajo, a fin de evitar un incremento en el nivel de riesgo y hacer el uso efectivo de los recursos disponibles para la inspección y mantenimiento de los equipos que conforman el Sistema de Agua Contra Incendios.
- Finalizado el plan de inspección el inspector del equipo pudiese mantener, acortar o extender el tiempo entre las inspecciones, de acuerdo con la

efectividad que tenga el plan para detectar a tiempo los mecanismos de degradación que afectan a los equipos.

- Crear y conservar un registro adecuado, permanente y progresivo de recorridos operacionales, medición de espesor, detección de fugas, reemplazos y reparaciones por el tiempo que permanezca operativo el Sistema de Agua Contra Incendios.
- Instalar tuberías de fibra de vidrio para el manejo de agua salubre y agua con altos niveles de cloruro.
- Elaborar un programa de mantenimiento preventivo para red de distribución, hidrantes y monitores que permitan realizar actividades con un lapso no mayor de tres (3) meses para evitar el deterioro de estos equipos tales como: limpieza, pintura, lubricación, ajustes y calibración.
- Realizar un adiestramiento intensivo del personal en las áreas de piezas y monitoreo de proceso, para minimizar el riesgo de cometer errores humanos en la realización de los procesos.
- Adiestrar al personal involucrado al Sistema de Agua Contra Incendio sobre los tipos de alarma, el mecanismo de silenciado de la central, los indicadores de fallas, el modo de supervisión de los dispositivos del sistema, entre otros; así como adiestramiento sobre las acciones previstas en el plan de emergencia en caso de presentarse un evento.
- Realizar cursos con los bomberos; a fin, de recibir el entrenamiento en el combate de incendios y/o eventos no deseados.

- Instalar sistemas que permitan determinar de manera más precisa los mecanismos de corrosión a los cuales se encuentran expuestos los equipos del Sistema de Agua Contra Incendio.
- Diseñar un sistema computarizado de inventario, el cual permita llevar un registro de la entrada y salida del stock de materiales, repuestos y suministros, de manera que facilite la operatividad de los equipos.
- Implementar de forma ordenada y continua nuevas metodologías que lleven a cabo indicadores que permitan el monitoreo y evaluación de los equipos asociados al Sistema de Agua Contra Incendio.
- Colocar TAG de identificación a los hidrantes y monitores; de manera que facilite a los trabajadores localizarlos con mayor facilidad.
- Realizar dos (2) o tres (3) arranques mensuales tipo simulacro, con la finalidad de comprobar el funcionamiento del sistema de agua contra incendios.
- Realizar un estudio más profundo, con la finalidad de seleccionar los mecanismos de protección que más se adapten a la necesidad (protección catódica, inspección visual y por ultrasonido (VT y UT), entre otros).

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Arias, F. (2006). El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica. (5ª Edición), Editorial Episteme: Caracas.

Améndola, L. (2006). Gestión de Proyectos de Activos Industriales. Editorial de la UPV, Valencia.

Bermúdez, M. (2014). “Propuesta de un Plan de Inspección y Mantenimiento Basado En Riesgo a las Líneas de Flujo de la Estación de Descarga Guárico 1 (EDG1) de PDVSA Producción Gas Anaco”. Trabajo de grado no publicado, Ingeniería Industrial, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Extensión Región Centro Sur Anaco.

Duffuaa S. (2002). Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control. Editorial LIMUSA, S.A. Primera Edición, México

García, A. (1990). Estructura Lingüística de la Documentación: Teoría y Métodos.

Gómez, F. (2006), Manual básico de corrosión para ingenieros. Primera Reimpresión. Servicio de publicaciones, Universidad de Murcia, España.

Guzmán, C. (2013). “Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en la Metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del Sistema de Fundición II en el Área de Moldeo de la Empresa Nacional de Válvulas, Anaco Edo. Anzoátegui”. Trabajo de grado no publicado, Ingeniería De Sistemas, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Extensión Región Centro Sur Anaco.

López, J. (2009). “Elaboración de Planes de Inspección Basados en el Nivel de Riesgo de los Equipos Estáticos del Sistema de Recuperación de Gases”. Caso: Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) de la Refinería de Puerto La Cruz. Trabajo de grado no publicado, Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui.

López, I. y Rodríguez A. (2010). “Plan de Mantenimiento Preventivo para las Bombas Centrífugas P001 A/B/C del Proceso de Coquificación de una Planta Mejorada de Crudo en el Estado Anzoátegui”. Trabajo de grado no publicado, Ingeniería De Sistemas, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui.

Manual De Equipos Contra Incendios (2001). Instrucciones de Instalación y de Operación. Editorial Armstrong. Primera (1era) Edición.

Manual de Ingeniería de Corrosión (2007). Fundamentos de Corrosión Metálica. 2da Edición.

Mena, J. (2010). “Elaboración de Estrategias de Inspección y Mantenimiento para Equipos Estáticos Basadas en Riesgo. Caso: Planta de Generación de Vapor. Refinería de Puerto La Cruz”. Trabajo de grado no publicado, Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui.

Moubray, J. (1991). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Segunda (2da) edición. Industrial Press Inc.

Norma NFPA 25 (2002). Inspección, Prueba y Mantenimiento de Sistemas de Protección Contra Incendios a Base de Agua. Editorial Copyright.

Norma API RP-571 (2003). Mecanismos de Daño que Afectan Equipos Fijos en la Industria de Refinación. Primera (1era.) Edición. Editorial Copyright.

Norma API RP-580 (2002). Inspección Basada en el Riesgo. Editorial Copyright. Primera (1era.) Revisión.

Norma API RP-581 (2008). Tecnología de Inspección Basada en Riesgo. Segunda (2da) Edición. Editorial Copyright.

PDVSA Refinería San Roque (2006). Manual de Operaciones – Unidad Almacenaje.

PDVSA (1991). Manual de Especificaciones Técnicas de Materiales PDVSA EM-36-12/01. Volumen 5. Hidrantes Contra Incendios. Primera (1era.) Revisión.

PDVSA (1999). Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-M-03. Volumen I. Sistema de Agua Contra Incendio. Tercera (3era.) Revisión.

PDVSA (2010). Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-00. Volumen I. Definiciones. Tercera (3era.) Revisión.

PDVSA (2000). Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-13. Volumen I. Guía de Inspección, Prueba y Mantenimiento de Sistemas de Agua Contra Incendio. Primera (1era.) Revisión.

PDVSA (2000). Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-14. Volumen I. Integridad Mecánica de Equipos Críticos. Primera Revisión.

PDVSA (2006). Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA IR-S-17. Volumen I. Análisis de Riesgo del Trabajo. Emisión Original.

PDVSA (1994). Manual de Estimación de Costos Clase V (Tipo Curvas) PDVSA MEC-300-07-01. Volumen 2. Sistema Contra Incendio. Primera (1era.) Revisión.

PDVSA (2013). Manual de Mantenimiento de PDVSA MM-01-01-01. Volumen I. Definiciones de Mantenimiento y Confiabilidad. Tercera (3era.) Revisión.

PDVSA (2004). Manual del Proceso de Mantenimiento de Rutina de PDVSA MR-02-15-06. Volumen II. Programa de Inspección Basada en Riesgo (IBR). Primera Revisión.

PDVSA (2008). Manual de Procedimiento de Inspección PDVSA PI-02-09-01. Volumen I. Inspección en Marcha de Equipos Estáticos. Segunda (2da.) Revisión.

PDVSA (2009). Manual De Seguridad Industrial de PDVSA. Sistema integrado de gestión de riesgos. Segunda (2da) Revisión.

Sabino, C. (2002). El proceso de investigación. Panapo. Caracas – Venezuela.

Simons, A. (1995). Probabilidad de propagación de un incendio. Finalidad. Control de Abastecimiento de Aire. Editorial Mc Graw Hill. Primera (1era.) Edición. México.

Suárez, D. (2008). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Confirma & Consultores, C.A; Puerto La Cruz.

Suárez, D. y Marchan J. (2004). Aplicación de los Modelos Estadísticos en el Escenario de Mantenimiento. Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Postgrado en Ingeniería Eléctrica. Centro de Actualización Profesional. Venezuela.

Smith, A. (1992). *Reliability Centered Maintenance*. Mc Graw Hill, New York, USA.

## **ANEXOS**

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

<b>TÍTULO</b>	<b>PROPUESTA DE MEJORAS DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA DEL SISTEMA DE AGUA CONTRA INCENDIOS, EN LA PLANTA DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA SAN ROQUE</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Cairo, Eliana C.	<b>CVLAC:</b> 19.775.905 <b>E MAIL:</b> elianac_1005@gmail.com
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>

**PALABRAS O FRASES CLAVES:**

Propuesta, mejoras, integridad, sistema, agua, incendio.

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

<b>ÁREA</b>	<b>SUBÁREA</b>
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Industrial

**RESUMEN (ABSTRACT):**

La investigación tuvo como objetivo general proponer mejoras de la integridad mecánica del sistema de agua contra incendios, en la planta de servicios industriales de la Refinería San Roque. Primeramente se realizó el diagnóstico de la situación actual del sistema existente; a fin, de facilitar la comprensión y familiarizarnos con el proceso para el cual está destinado dicho sistema. En segundo lugar, se determinaron los factores principales que afectan la integridad mecánica de los equipos, para lo cual se utilizó la norma API 571. Seguidamente, se realizó un Análisis de Inspección Basada en Riesgo (IBR), mediante la utilización del Software versión 3.3.3 para conocer el nivel de riesgo de los equipos y estimar la probabilidad y consecuencias de fallas de los mismos, y se emitieron los resultados a través de la matriz de riesgo. Aunado a esto, se realizó un Análisis Modos Efectos Fallas (AMEF), para seguidamente establecer las acciones de mantenimiento más óptimas que deben ser empleadas para lograr disminuir el constante fallo en los equipos dinámicos del sistema. Finalmente se elaboró y propuso un plan de inspección tomando en consideración las metodologías aplicadas, así como lo establecido en la norma NFPA 25.

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

**CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
M.Sc. Bousquet, Juan C.			<b>X</b>		
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
M.Sc. Romero, Daniel				<b>X</b>	
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
Ing. Ledezma, Melchor					<b>X</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
Ing. Coa, Manuel					<b>X</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>2017</b>	<b>08</b>	<b>03</b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

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

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
Tesis. Propuesta de mejoras.docx	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:** Dpto. Servicios Industriales/Refinería San Roque (Opcional)

**TEMPORAL:** Seis meses (Opcional)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Industrial

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Ingeniería Industrial

**INSTITUCIÓN(ES) QUE GARANTIZA(N) EL TÍTULO O GRADO:**

Universidad de Oriente / Extensión Región Centro Sur Anaco

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA  
RECIBIDO POR *Ragley*  
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

*Juan A. Bolaños Cuneo*  
JUAN A. BOLAÑOS CUNEO  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Telesinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YOC/manuja

Apertado Correos 094 / Teléfono: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

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

**DERECHOS**

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de trabajos de grado (vigente a partir del II semestre 2009) según comunicación CU-034-209:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

**Cairo, Eliana C.**

**AUTOR**

**AUTOR**

**AUTOR**

**M.Sc. Bousquet, Juan**

**TUTOR**

**Ing. Ledezma, Melchor**

**JURADO**

**Ing. Coa, Manuel**

**JURADO**

**Ing., Valderrama, Rita**

**POR LA COMISION DE TESIS**