

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



**“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS BOMBAS  
CENTRÍFUGAS P001 A/B/C DEL PROCESO DE COQUIFICACIÓN DE UN  
PLANTA MEJORADORA DE CRUDO EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI”.**

**Realizado Por:**

**López Jiménez Itsanery Josefina.**

**Rodríguez Rondón Alloca Ydalmary.**

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como  
Requisito Parcial para optar al Título de:**

**INGENIERO DE SISTEMAS**

**Barcelona, Junio de 2010.**

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



**“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS BOMBAS  
CENTRÍFUGAS P001 A/B/C DEL PROCESO DE COQUIFICACIÓN DE UN  
PLANTA MEJORADORA DE CRUDO EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI”.**

**Realizado Por:**

---

**López J., Itsanery J.**

---

**Rodríguez R., Alloca Y.**

**Revisado y Aprobado Por:**

---

**Prof. Héctor Moisés.**

**Asesor Académico**

**Barcelona, Junio de 2010.**

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



**“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS BOMBAS  
CENTRÍFUGAS P001 A/B/C DEL PROCESO DE COQUIFICACIÓN DE UN  
PLANTA MEJORADORA DE CRUDO EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI”.**

**JURADO CALIFICADOR:**

---

**Prof. Luis Felipe Rojas**

---

**Prof. María Guevara**

**Barcelona, Junio de 2010**

## **RESOLUCIÓN**

### **De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajo de grado:**

“Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad De Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

## DEDICATORIA

A mi DIOS todopoderoso por llevarme de la mano siempre y regalarme esta vida tan hermosa.

A mi padre Nerio López gracias por enseñarme a ver las cosas sencillas de la vida y aprender a valorarlas, tus ojos serán los míos y veremos el mundo siempre juntos.

A mi madre Isabel Jiménez mujer emprendedora quien me enseñó a luchar, y nos ha demostrado que cuando quiere algo hay que luchar por ello, gracias por ser el pilar fundamental de nuestra familia.

A mi hermana Itsamary López (mi mami) por apoyarme en todo momento desde el día en que nací, gracias por regalarnos a esos niños tan bellos, siempre estaré contigo eres mi ejemplo a seguir.

A mi hermano Miguel López gracias por quererme y estar apoyándome siempre.

A mi novio Henry Aponte por respetarme, brindarme todo el amor y comprensión y llegar a mi vida para iluminarla toda.

A mis sobrinos Carlos, Gabriel, Gabriela, Miguel, porque son un sendero de alegría que ilumina nuestras vidas y nos enseñan cada día a amarlos más.

A mi cuñado Nilson Torres un ser humano increíble, gracias por tu apoyo, es un orgullo tenerte en mi familia.

A mis abuelas Nicacia Rivero y Petra López mujeres luchadoras que sacaron a su familia adelante y lograron mantenerla siempre unida son la base de esta gran familia.

A mis moles Johana, Jhonaiby, Anna Helena, Jhoaana, Yuraulis, Christina, Maribel, porque hemos emprendido muchos caminos y cada una ha logrado un éxito diferente siempre estaré allí para ustedes.

A mi familia por creer en mí y siempre permanecer unidos siempre, primos tíos los quiero.

A mi compañera de tesis Alloca Rodríguez es un honor culminar esta faceta juntas.

A todos aquellos que están en los recintos de mi memoria y me han ayudado a construir este sueño hecho realidad.

*Itsanery López*

## DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO en primer lugar, por darme la sabiduría, inteligencia, fuerza y valor para lograr esta mi primera meta profesional.

A mis padres YDALIA Y JESÚS, por ofrecerme todas las herramientas necesarias para lograrlo, sin importar cuánto fuera el sacrificio que pudieran hacer durante todo este trayecto. Los adoro..!!!!

A mis hermanas MARY y DIANA, por apoyarme, ayudarme, comprenderme, aconsejarme y regañarme en todo momento que hizo falta. Aquí está el fruto del ejemplo que me dieron cuando a ustedes les toco, me quede de ultima, pero no por eso decaí, más bien me dio fuerzas y ánimos para lograrlo. Una profesional más para mamá y papá.. Las adoro..!!!!

A mis hermanos ESPERANZA, STALIN, PATRICIA Y CAMILO, para que tomen este logro como ejemplo y aprovechen todas las oportunidades que les da la vida, DIOS y sus padres para que ustedes puedan hacerlo y algún día decirme, “Viste manita que si le eche bola...” Los quiero enormemente.

A mis primos Rodríguez y Rondón para que sigan el camino de los estudios y no se queden pensando en lo que pudieron haber hecho y que no hicieron.

A todos mis tíos que me apoyaron y me animaron a seguir adelante para que no me quedara en los laureles. Los quiero mucho..!!!!

A mi amor bello Leonangel Arévalo por darme ánimos, fuerza y valor en los momentos buenos y en los más difíciles. Te adoro amor..!!!!

A mi compañera de tesis Itsanery López por darme su apoyo y confianza para realizar nuestro trabajo.

A mis amigas del alma GABY, MARIA JESUS, OMAIRA Y ANDRY este es el fruto de todos los esfuerzo que he tenido que hacer a lo largo de la carrera, mi triunfo es de ustedes también y tómenlo de ejemplo para que se den ánimos y fuerzas para que ustedes lo puedan lograr, no dejen que nadie se interponga entre ustedes y los estudios, háganlo por ustedes, por sus padres y por mí. Las quiero a todas un mundo..!!!!

A mis CONFI Nuris y Diana para que sigan mi ejemplo y logre terminar sus estudios así tengan que sacrificar muchas cosa, la vida es eso sacrificio para obtener lo bueno.

A mis amigos Marcel, Deivys, Jesús, Ymaurem, Morocho, Carmencita, Mariem, Peter, César y a todos aquellos que no nombre para que sigan adelante porque ya pronto les tocara a ustedes.

Y por último pero no menos importante quiero dedicarle mi trabajo a todos aquellas personas que pensaron que no lo lograría, que por mi carácter y personalidad pensaron que no podía hacerlo, pero se equivocaron porque aquí está MI SUEÑO HECHO REALIDAD, con o sin ustedes LO LOGRE..!!!!

*Alloca Rodríguez*



## **AGRADECIMIENTOS**

A dios ante todo porque sin él no hubiese logrado llegar a esta meta, con él todo se puede.

Agradezco a mis padres por todo el amor y comprensión que me han dado ustedes han hecho de mi lo que ahora soy, por siempre apoyarme y enseñarme que nuestra vida es dirigida por nosotros mismos y debemos aprovecharla al máximo. A mis hermanos por permanecer siempre juntos y por darme a esos seres hermosos que son mis sobrinos.

A un ser muy especial que llego a mi vida para mejorarla Henry Aponte, gracias por existir.

A mi familia tíos, tías, primos y primas gracias por estar siempre allí porque he aprendido de cada uno de ustedes y doy gracias a dios por permitirme tener a una familia tan hermosa los amo.

A mis amigos porque son los mejores del mundo y siempre han estado cuando los he necesitado. Agradezco a todas esas personitas especiales que forman parte de nuestra familia.

A la UDO por permitirme emprender esta nueva vida y darme la dicha de conocer a todas esas personas que me impartieron conocimientos y amigos que siempre conservare.

Al profesor Hector Moisés por aceptar este reto y guiarnos en este gran paso, gracias por valioso tiempo y apoyo.

A mis compañeros de estudio Emira, Marialvi, Romilet, Denire, Francys, Luisana, Cesar, Marcel, Alfredo, Jesus Escorche, fue un honor haber caminado este sendero juntos.

A nuestros colaboradores gracias por brindarnos su colaboración y su valioso tiempo.

A la familia Agostini Colaiacobo por darme su hospitalidad siempre le estaré agradecida.

A esas personas que con sus detalles, su hospitalidad, sus consejos me ayudaron a pensar, a vivir, a ser como soy. Agradecido de todos los que forman parte de este trabajo investigativo...gracias totales.

*Itsanery López*

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS TODO PODEROSO por darme luz, sabiduría, fuerza y fe para avanzar en este camino...

A mis padres YDALIA Y JESÚS por darme todo lo que necesite en todo momento, sin ustedes no hubiera podido lograrlo. GRACIAS...

A mis hermanas MARY y DIANA por facilitarme toda la ayuda que necesite en los momentos más difíciles, por decirme siempre que cuento con ustedes siempre. A ustedes GRACIAS...

A mi Tío Alcides Rondón por darme la oportunidad de entrar a la Universidad de Oriente y a mi Tía Olivia Guerra por ayudarme en los momentos que más la necesité. GRACIAS...

A mis Hermanos ESPERANZA, STALIN, PATRICIA Y CAMILO por animarme y darme alegrías en los momentos de tristezas.. GRACIAS...

A papi y a mami (Rosa y José) por acogerme en el hogar del pueblo. Los quiero Muchísimo...

A mi FAMILIA tíos, tías, primos y allegados a la familia por brindarme su apoyo cuando lo necesite. A todos GRACIAS...

A la FAMILIA BERMUDEZ ZAPATA por acogerme en su casa, brindarme todo el apoyo, a todos GRACIAS...

A mi compañera de tesis Itsanery López por abrirme los ojos en el momento indicado, por tu apoyo y ayuda y por soportarme todo este tiempo...

Al Prof. Héctor Moisés por aceptar la tutoría, por aguantar tanta risa y jodedera, por aportarnos todos los conocimientos necesarios para el término de este trabajo. GRACIAS..

A todos mis compañeros y amigos que de alguna u otra manera ayudaron y aportaron su granito de arena en este logro.

A NUESTROS COLOBORADORES por brindarnos sus aportes, conocimientos y por compartir su valioso tiempo con nosotras. GRACIAS...

A mi amor bello LEONANGEL AREVALO, por aconsejarme, por demostrarme que la vida no solo es risas sueños y alegrías, que en la vida existen personas que juegan a dañarnos lo que hacemos, por enseñarme a no decaer en los momentos difíciles y a levantarme y por llegar a mi vida en el momento adecuado. TE ADORO BEBE..!!!

*Alloca Rodríguez*

## RESUMEN

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.

## INDICE GENERAL

RESOLUCIÓN .....	IV
DEDICATORIA .....	V
DEDICATORIA .....	VII
AGRADECIMIENTOS .....	IX
AGRADECIMIENTOS .....	XI
RESUMEN .....	XIII
INDICE GENERAL .....	XIV
INDICE DE TABLAS .....	XVIII
INDICE DE FIGURAS.....	XIX
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>20</b>
<b>EL PROBLEMA.....</b>	<b>20</b>
1.1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA. ....	20
1.1.1. Ubicación Geográfica de la empresa. ....	20
1.1.2. Visión de la empresa PETROPIAR.....	21
1.1.3. Misión de la empresa PETROPIAR. ....	21
1.1.4. Valores de la empresa PETROPIAR. ....	21
1.1.5. Actividades y servicios de la empresa PETROPIAR. ....	22
1.1.6. Descripción General de los Procesos del Complejo de Mejoramiento de Crudo. ....	23
1.1.7. Unidad de Coquificación Retardada (unidad 12) .....	24
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
1.3. OBJETIVOS. ....	27
1.3.1. Objetivo General. ....	27
1.3.2. Objetivos Específicos. ....	28
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>29</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>29</b>

2.1.	ANTECEDENTES .....	29
2.2.	BASES TEÓRICAS.....	32
2.2.1.	<i>Mantenimiento</i> .....	32
2.2.2.	<i>Tipos de mantenimiento</i> .....	32
2.2.3.	<i>Actividades Básicas de un Sistema de Mantenimiento</i> .....	33
2.2.4.	<i>Gestión de Mantenimiento</i> .....	33
2.2.5.	<i>Funciones Básicas del Proceso de Gestión</i> .....	33
2.2.6.	<i>Programas de Mantenimiento</i> .....	34
2.2.7.	<i>Planificación</i> .....	35
2.2.8.	<i>Establecimiento de la Planificación del Mantenimiento</i> .....	37
2.2.9.	<i>Confiabilidad</i> .....	38
2.2.10.	<i>Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)</i> .....	38
2.2.11.	<i>Preguntas Básicas para el Análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad</i> .....	39
2.2.12.	<i>Distribución de Weibull</i> .....	40
2.2.13.	<i>Análisis de Modo y Efecto de Fallas</i> .....	42
2.2.14.	<i>Funciones y estándares de funcionamiento</i> .....	42
2.2.15.	<i>Fallos funcionales</i> .....	43
2.2.16.	<i>Modo de fallos</i> .....	43
2.2.17.	<i>Efecto de fallos</i> .....	43
2.2.18.	<i>Falla</i> .....	44
2.2.19.	<i>Objetivos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad</i> .....	45
2.2.20.	<i>Beneficios del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad</i> .....	45
2.2.21.	<i>Bomba</i> .....	46
2.2.22.	<i>Bomba Centrífuga</i> .....	46
2.2.23.	<i>Punto de Mejor Eficiencia, BEP</i> .....	47
2.2.24.	<i>Flujo Mínimo Continuo Estable, mcsf</i> .....	47
2.2.25.	<i>Flujo Mínimo Térmico Estable, mctf</i> .....	48
2.2.26.	<i>Punto Normal de Operación</i> .....	48
2.2.27.	<i>Punto de Operación Nominal</i> .....	48
2.2.28.	<i>Componentes de una bomba centrífuga</i> .....	48
2.2.29.	<i>Clasificación de bombas centrífugas</i> .....	49
2.2.30.	<i>Tipos de Bombas Centrífugas</i> .....	51
2.2.31.	<i>Coquificación Retardada</i> .....	52

2.2.32.	<i>Descripción del proceso de coquificación retardada.</i>	53
2.2.33.	<i>Variables de operación de la coquificación retardada.</i>	54
2.2.34.	<i>Craqueo.</i>	55
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>56</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO. ....</b>		<b>56</b>
3.1.	TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....	56
3.2.	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	56
3.3.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	57
3.4.	TÉCNICAS A UTILIZAR.....	58
3.4.1.	<i>La observación.</i>	58
3.4.2.	<i>Entrevista personal e informal.</i>	58
3.4.3.	<i>La descripción.</i>	59
3.4.4.	<i>Gráficas.</i>	59
3.4.5.	<i>Metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).....</i>	59
3.4.6.	<i>Distribución de Weibull.</i>	60
3.4.7.	<i>La Documentación.</i>	60
3.4.8.	<i>La Predicción.</i>	60
3.4.9.	<i>Manejo de Programas de Computadoras.</i>	61
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>62</b>
<b>RESULTADOS. ....</b>		<b>62</b>
4.1.	SITUACIÓN ACTUAL DE LAS BOMBAS P001 A/B/C CON RESPECTO AL MANTENIMIENTO.....	62
4.2.	RECOLECCIÓN DE LOS DATOS HISTÓRICOS DE LAS FALLAS OCURRIDAS A LAS BOMBAS P001A/B/C.....	63
4.3.	APLICACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL PARA CUALQUIER PERIODO DE LAS BOMBAS P001A/B/C.....	65
4.4.	ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DE LAS BOMBAS P001 A/B/C.....	68
4.4.1.	<i>Establecimiento del grupo natural de trabajo del análisis de modo y efecto de falla de las bombas P001 A/B/C.....</i>	68
4.4.2.	<i>Contexto operacional de las bombas P001 A/B/C.....</i>	69
4.4.3.	<i>Definición y funciones estándares de funcionamiento.....</i>	73
4.4.4.	<i>Descripción de las fallas funcionales.....</i>	74



4.4.5.	<i>Identificación de modo de falla.....</i>	74
4.4.6.	<i>Determinación de los efectos de la falla. ....</i>	75
4.4.7.	<i>Hoja de información del análisis de modo y efecto de falla. ....</i>	75
4.5.	DETERMINACIÓN DE LAS FRECUENCIAS DE INSPECCIÓN Y EJECUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.....	81
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>84</b>
	<b>RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>85</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXOS.....</b> ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
	<b>METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....</b>	<b>89</b>

## INDICE DE TABLAS

TABLA 4.1 DATOS GRAFICA DE WEIBULL BOMBA P001 A. ....	66
TABLA 4.2. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS. (1/4).....	77
TABLA 4.3. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS. (2/4).....	78
TABLA 4.4. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS. (3/4).....	79
TABLA 4.5. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS. (4/4).....	80
TABLA 4.6. RESUMEN DEL AMEF DE LAS BOMBAS P001 A/B/C. ....	81
TABLA 4.7. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DIARIO. ....	83
TABLA A.1 HISTORIAL DE FALLAS DE LA BOMBA P001 A. ....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA A.2. HISTORIAL DE FALLAS DE LA BOMBA P001 B.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA A.3. HISTORIAL DE FALLAS DE LA BOMBA P001 C. ....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA A.4. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (1/3). ....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA A.5. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (2/3). ....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA A.6. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (3/3). ....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA A.7. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (1/2). ....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA A.8. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (1/2). ....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA A.9. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO QUINCENAL.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA A.10 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MENSUAL.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA A.11. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ANUAL.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE PETROPIAR .....	20
FIGURA 4.1. COMPORTAMIENTO DE FALLAS DEL PARÁMETRO B. ....	67
FIGURA 4.2. EQUIPO NATURAL DE TRABAJO .....	69
FIGURA 4.3. DIAGRAMA DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL CONTEXTO OPERACIONAL DE LAS BOMBAS P001 A/B/C. ....	1
FIGURA 4.4. DIAGRAMA DEL SISTEMA DEL CONTEXTO OPERACIONAL DE LAS BOMBAS P001 A/B/C.	73
FIGURA A.1. TIEMPO ENTRE FALLAS & FRECUENCIA ACUMULADA DE LA BOMBA P001 A. ....	<b>¡ERROR!</b>
<b>MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA A.2. TIEMPO ENTRE FALLAS & FRECUENCIA ACUMULADA DE LA BOMBA P001 B. ....	<b>¡ERROR!</b>
<b>MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA A.3. TIEMPO ENTRE FALLAS & FRECUENCIA ACUMULADA DE LA BOMBA P001 C. ....	<b>¡ERROR!</b>
<b>MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. Generalidades de la empresa.

#### 1.1.1. Ubicación Geográfica de la empresa.

La empresa PETROPIAR, está ubicada al norte del Estado Anzoátegui, en la carretera nacional Km 52 en sentido Barcelona – Caracas.



Figura 1.1 Ubicación geográfica de PETROPIAR

Fuente: Elaboración propia.

### **1.1.2. Visión de la empresa PETROPIAR.**

“La empresa tiene como propósito la extracción del crudo extrapesado del área de HAMACA (crudo de aproximadamente 8-9 grados API), el cual es diluido en Nafta para luego ser transportado hasta una planta de coquificación retardada en JOSE que permite su mejoramiento hasta 26 grados API. De esa forma se obtiene un crudo cuyas características corresponden a las características de un crudo mediano.”

### **1.1.3. Misión de la empresa PETROPIAR.**

“Somos la empresa operadora constituida para desarrollar el Proyecto HAMACA, convenido bajo la figura de Empresa Mixta entre Petróleos de Venezuela (70%) y Chevron-Texaco (40%). Nos proponemos extraer, mejorar y transportar 190 mil barriles diarios de crudo extrapesado de 8.5 grados API, el cual transformamos en crudo mejorado de 26 grados API de mayor valor comercial en los mercados internacionales. Nuestras actividades están pautadas para desarrollarse en un periodo de 35 años, con una inversión cercana a los 4000 millones de dólares”.

### **1.1.4. Valores de la empresa PETROPIAR.**

Se presenta la empresa con la perspectiva de cumplir nuestra visión y misión, fundamentados en los siguientes valores:

- Integridad y Dinamismo.
- Respeto por el personal.
- Equidad y Desarrollo.
- Responsabilidad social.
- Armonía con el ambiente.
- Seguridad y Competitividad.
- Confianza y Legalidad.

#### **1.1.5. Actividades y servicios de la empresa PETROPIAR.**

La empresa mixta PERTOPIAR tiene actividades primarias de exploración en busca de yacimientos de petróleo crudo pesado y extrapesado, la extracción de tales crudos en su estado natural, su recolección, transporte y almacenamientos iniciales.

Desarrolla actividades de mejoramiento del crudo extraído producido por sí misma en las actividades primarias antes referidas, comercializar y vender el petróleo crudo mejorado y cualquier otro producto resultante del mejoramiento, asimismo la empresa presta servicios a otras empresas mixtas, a empresa de la exclusiva propiedad del Estado.

La empresa tiene 4 áreas en la planta de coquificación retardada que son llamadas unidades de trabajo que son:

- Unidad de Coquificación Retardada (unidad 12).

- ✿ Unidad de Recuperación de Gas (unidad 18).
- ✿ Unidad de Gas Combustible (unidad 45).
- ✿ Unidad de Manejo de Coque (unidad 68).

### **1.1.6. Descripción General de los Procesos del Complejo de Mejoramiento de Crudo.**

El crudo Hamaca, es diluido y transportado desde el área de producción utilizando una tubería de 42" de diámetro, constituye la corriente de alimentación de la Planta de Mejoramiento de Crudo de PETROPIAR en el Condominio Industrial de José, en Anzoátegui. Esta corriente inicialmente es desalada y fraccionada en nafta, destilados livianos y pesados, residuales atmosféricos y de vacío. Este proceso se lleva a cabo en la columna de Destilación Atmosférica y de Vacío (UNIDAD 10). Un volumen de esa nafta es reciclada y enviada nuevamente como diluyente al campo de producción de Hamaca, utilizando una tubería de 30" de diámetro y el resto pasará junto con los demás fracciones de livianos a las Unidades de Hidroprocesamiento (Unidades 14, 15, 16). El residual atmosférico es fraccionado aun mas en la columna de vacío (Unidad 10), para obtener gasóleos livianos (LVGO) y pesados (HVGO) y el residual de vacío.

La mayor parte de este residual de vacío (Unidad 10), alimenta a la Unidad de Coquificación Retardada (Unidad 12) y el resto de la fracción pasa directamente al mezclador en línea de crudo comercial. En la Unidad de Coquificación Retardada, el residual de vacío se craquea térmicamente en

unos reactores diseñados para soportar temperaturas entre 40 °F a 900 °F, para producir Coque de Petróleo en grado comercial y fracciones ricas en hidrocarburos aromáticos y alifáticos. La Unidad cuenta con un fraccionador que se encarga de procesar estos vapores para separarlos aun más y obtener: Gas no tratado, nafta, destilados y gasóleo pesado. Adicionalmente, los vapores de tope de la Unidad (Nafta Desestabilizada) son enviados a la Planta de Gas (Unidad 18) para su tratamiento.

El proceso continúa en dos de las Unidades de Hidroprocesamiento (Unidades 14 y 16), en dos se removerá el azufre y el nitrógeno de las corrientes de Nafta, Butanos, Destilados y Gasóleos producidos en las Unidades de Crudo y de Coquificación Retardada. Luego, los productos líquidos de las Unidades de Hidrocraqueo, serán enviados a la Unidad 15, Soporte de Hidroprocesamiento, en donde se unirán con una pequeña fracción del residual de vacío, para producir finalmente el Crudo Comercial de 26° API.

#### **1.1.7. Unidad de Coquificación Retardada (unidad 12)**

La unidad de coquificación retardada es donde se ejecuta el proceso base para producir el crudo Sintético Mejorado Comercial. Esta unidad tiene una capacidad de 63000 BPDO, repartida en dos trenes de Coquificación Retardada.



La Coquificación Retardada es un proceso térmico en el cual la alimentación fresca, típicamente fondos de vacío, se calienta a alta velocidad en un horno, hasta aproximadamente 900 °F, para luego enviarlo a una zona de reacción (Tambores de Coquificación).

La unidad craquea térmicamente, las cadenas largas de hidrocarburos que conforman el residual de vacío provenientes de la Unidad de Destilación de Crudo, para producir cadenas más cortas de hidrocarburos. Los productos de la sección de reacción de la Unidad de Coquificación Retardada son gas combustible, gas licuado de petróleo, nafta, gasóleo liviano, gasóleo pesado y coque.

Ese carbón elemental que se forma en los tambores es el Coque de Petróleo o Coque Verde, el cual será vendido como un producto de grado comercial. Cada tren de coquificación está constituido por un par de tambores de aproximadamente de 29'0" de dimensión interna por 88'6" de altura.

## **1.2. Planteamiento del Problema.**

En la planta PETROPIAR ubicada en el Estado Anzoátegui específicamente en su proceso de refinación de petróleo, se efectúa otro proceso denominado Coquificación Retardada que permite convertir los residuos de crudos en fracciones livianas de mayor valor comercial; dentro de dicho proceso cuenta con una gran cantidad de equipos responsables del

mismo, entre los cuales se pueden mencionar: Fraccionadora del coque, tambores de coque, tambor de succión de compresor, bombas centrifugas, compresor del gas del coque, entre otros.

Las bombas centrifugas P001 A/B/C del proceso de coquificación retardada como cualquier equipo de bombeo presenta fallas, entre las cuales se pueden nombrar: Gran generación de calor y vibración, escape de fluido y en caso extremo explosión de las bombas; es por esto que se debe diseñar un programa de actividades de mantenimiento distribuidas en el tiempo con una frecuencia especifica que, permita mantener estos equipos en operación para que cumplan con las metas de producción preestablecidas con la organización.

El programa de actividades sugerido para estos equipos fué un plan de mantenimiento preventivo que permitirá inspeccionar, detectar y prevenir las fallas que puedan presentar las bombas. Para que se logre dicho propósito se utilizó la técnica de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), basándose en la distribución de Weibull.

En los años que la empresa PETROPIAR lleva funcionando han contado con planes de mantenimiento generales para cada uno de sus procesos. En el proceso de coquificación retardada, las bombas P001 A/B/C son de vital importancia debido a que estas son las encargadas de enviar el coque desde su fraccionamiento hasta llegar a los tambores del coque; es por esto que se elaboró un plan de mantenimiento preventivo de dichos equipos para que se mantengan en las condiciones operativas óptimas.

El propósito del proyecto, fué elaborar un plan de actividades que conlleven la conservación de los equipos en estudio, garantizando de esta forma su buen funcionamiento y evitando que se puedan presentar fallas inesperadas.

El alcance del trabajo está enmarcado en la elaboración o diseño de un programa de actividades del tipo de mantenimiento planteado. En primer término, se determinó la situación actual del sistema fundamentado en la observación de los equipos. Seguidamente, se delinearon las actividades del plan de mantenimiento, su puesta en marcha quedará indudablemente en voz de la directiva.

La originalidad del proyecto radica en el hecho de que es la primera vez que en esta empresa se diseña un plan de mantenimiento preventivo, usando parte del análisis del mantenimiento centrado en confiabilidad así como también la distribución de Weibull.

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

“Elaborar un plan de mantenimiento para las bombas centrífugas P001 A/B/C del proceso de coquificación retardada de una planta mejoradora de crudo en el Estado Anzoátegui”.

### 1.3.2. Objetivos Específicos.

- Describir la situación actual del mantenimiento de las bombas centrífugas P001 A/B/C de la Planta PETROPIAR.
- Recopilar los datos de fallas ocurridas a las bombas en estudio.
- Obtener la distribución de las fallas durante cualquier periodo de las bombas en estudio utilizando la Distribución de Weibull.
- Establecer los modos, efectos y consecuencia de las fallas que podrían ocurrir en las bombas en estudio utilizando el Análisis de Modo y Efectos de Fallas.
- Determinar la frecuencia de inspección y ejecución del mantenimiento, para el mejoramiento de la efectividad de las bombas de la Planta PETROPIAR.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

- Solórzano. N, (2003). “Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo para las válvulas de control y transmisores electrónicos de la unidad de procesos a una planta mejoradora de crudo”, en la Gerencia de Mantenimiento de Petrozuata, específicamente en el departamento de instrumentación se desea optimizar el servicio de mantenimiento en el área preventiva de las Válvulas de Control y Transmisores Electrónicos. El objetivo perseguido consistió en el diseño de un plan de mantenimiento preventivo, dirigido a las válvulas de control y transmisores electrónicos de la Planta. Para afrontar la problemática se utilizó la metodología de Peter Checkland aunada a la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Este plan debe permitir un mejor control de las actividades y frecuencias de mantenimiento y así alcanzar el cumplimiento máximo de la vida útil de los equipos, reducir las intervenciones correctivas y disminuir los costos de mantenimiento.
- Planchart. T, (2008). “Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo basado en la confiabilidad para el sistema de bombeo en el Poliducto SISOR en la Planta de distribución de combustible en Puerto La Cruz”, este trabajo tiene como objetivo principal elaborar un plan de

mantenimiento preventivo para el sistema de bombeo de la planta de distribución de combustible Puerto La Cruz utilizando la técnica de Mantenimiento centrado en la confiabilidad; se realizaron diversas visitas al campo con la finalidad de conocer el proceso de funcionamiento general del sistema, se realizó un análisis de los modos y efectos de fallas a los cuales está expuesto el sistema de bombeo, se procedió a elaborar el plan de mantenimiento preventivo el cual estableció la frecuencia con la cual se realizarán las actividades propuestas, finalmente mediante un análisis económico se determinó el costo total de implantar el plan propuesto y se recomendó motivar al personal involucrado a no ver las actividades señaladas en este trabajo como una carga sino como una manera de mejorar el desempeño y eficiencia de la planta.

- Guaregua. A, (2008). “Diseño de un Plan de Mantenimiento en una planta de producción de Metanol Líquido en función de su contexto operacional”, el objetivo principal de la investigación se centró en la creación de un plan de mantenimiento para una planta de producción de metanol líquido en función de su contexto operacional para lo cual fue necesario evaluar la situación actual de la gerencia de mantenimiento y constatar el sistema operacional con el cual trabajan, para proceder con los análisis de los parámetros de mantenimiento. Luego se aplicó el Método MCC donde se realizó el análisis de la teoría de EQUCRIT para jerarquizar el estado de los equipos y conocer el equipo más crítico el cual resultó ser el subsistema de bombas. Esto se realizó con la finalidad de establecer tareas de mantenimiento que garanticen la operatividad de la planta.

- Hernández. J, (2005). “Elaboración de un Plan de Mantenimiento Preventivo para los equipos que conforman las redes de distribución aéreas de una empresa de energía eléctrica”, la falta de un mantenimiento que permita evitar o retardar las fallas que pudieran presentarse en el sistema ha ocasionado la inestabilidad del servicio llegando en algunos casos a ser de baja calidad, se efectuó un estudio para proceder a enfrentar la problemática. El estudio se fundamentó en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), para poner en práctica esta filosofía fue necesario realizar el análisis de modos y efectos de fallas para la identificación de las fallas, causas y efectos del fallo, a partir de aquí se elaboró la hoja de decisión fundamentada en el árbol lógico con el fin de facilitar el control de las actividades, finalmente se determinó la frecuencia del mantenimiento. Con esto se pretende dar respuestas a las necesidades que tiene la empresa en este sentido.
- Hlal. J, (2008). “Elaboraciones de planes de mantenimiento basados en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad a las bombas de las unidades de valcos R.P.L.C.”, el objetivo principal de este trabajo es elaborar un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para la planta de tratamiento de aguas residuales de “Evergreen Service”. Para lograr esto se realizó un diagnostico de la situación actual de los equipos pertenecientes a la planta, recopilando información referentes a sus características y funcionamiento. Posteriormente se realizó un AMEF para determinar las causas, efectos y seguidamente se propuso el tipo de mantenimiento que se debe aplicar usado por el diagrama de decisión propuesto por el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) y se determinó la frecuencia de inspección y ejecución del mantenimiento. Finalmente

se formuló el programa de mantenimiento de los equipos de la planta de tratamiento de agua y se realizó un análisis los resultados obtenidos.

## **2.2. Bases teóricas.**

### **2.2.1. Mantenimiento.**

Conjunto de actividades que permiten mantener un equipo o un sistema en condición operativa, de tal forma que cumplan las funciones para las cuales fueron diseñadas y designadas o restablecer dicha condición cuando esta se pierde. (Suárez, 2001).

### **2.2.2. Tipos de mantenimiento.**

- **Mantenimiento preventivo:** Es una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener los equipos bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales y la historia de fallas de los equipos.
- **Mantenimiento Correctivo:** Es una actividad que se realiza después de la ocurrencia de una falla. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a sus condiciones originales,



por medio de restauración o remplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste, daños o roturas. (Suárez, 2001).

### **2.2.3. Actividades Básicas de un Sistema de Mantenimiento.**

El sistema de mantenimiento, es un conjunto coherente de políticas, procedimientos y normas que permiten ejecutar y controlar el mantenimiento mediante la realización de las siguientes actividades básicas:

- Planificación e inspección.
- Ejecución.
- Análisis y control. (Suárez, 2001).

### **2.2.4. Gestión de Mantenimiento.**

Es la función ejecutiva de planificar, organizar, dirigir y controlar cualquier actividad con responsabilidad de los resultados. (Suárez, 2008).

### **2.2.5. Funciones Básicas del Proceso de Gestión.**

- Planificación: Consiste en decidir lo que habrá de realizarse en el futuro e incluye definición de objetivos, las vías para cumplirlas y la mejor manera de utilizar los recursos.

- Organización: Se encarga de distribuir las tareas o actividades, agruparlas por áreas y asignar los recursos para realizar el mantenimiento.
- Dirigir: Guía y motiva a su personal para alcanzar los objetivos deseados o predeterminados por la empresa.
- Control: Control de actividades que se utilizan para comprobar si los resultados que se alcanzaron están de acuerdo con los objetivos o metas prefijadas y las causas de dichas desviaciones, permitiendo así tomar las acciones necesarias para mejorar los resultados. (Basantes, 2004).

#### **2.2.6. Programas de Mantenimiento.**

Los programas de mantenimiento son documentos que indican cuales son los trabajos que se deben ejecutar en los equipos para mantenerlos en condiciones operacionales. Incluyen información acerca del número de la Orden de Trabajo, ubicación del equipo, frecuencia, fecha de elaboración, personal estimado y real, duración estimada y real, para ejecutar la actividad de mantenimiento preventivo responsable de las acciones y observaciones.

Existen diferentes tipos de programas que contienen las actividades que deben ejecutarse en el futuro. La diferencia entre ellos es el plazo que hay para su ejecución. Contiene los recursos definidos y planificados para hacer posible la ejecución de los trabajos.

En un plan de mantenimiento se establecen varios tipos de programas entre los cuales se destacan los siguientes:

- Programa anual.
- Programa semestral.
- Programa trimestral.
- Programa mensual.
- Programa quincenal.
- Programa semana.
- Programa rutinario.

La información adicional para elaborar los programas de mantenimiento preventivo, se obtienen de los estándares de mantenimiento.

Se entiende por estándares de mantenimiento, los documentos que indican la frecuencia en que se debe de inspeccionar y ejecutar las diferentes actividades, por esta razón sirve como base de datos para elaborar el programa de mantenimiento. (Suárez, 2008).

### **2.2.7. Planificación.**

Es el diseño de programas de actividades de mantenimiento, distribuidas en el tiempo, con una frecuencia específica y dinámica que permite mantener los equipos en operación para cumplir con las metas de

producción preestablecidas por la organización. La planificación para cumplir con sus funciones debe responder las siguientes preguntas:

*¿Qué hacer?*

Decide las frecuencias y actividades que se van a realizar a los equipos que participan en el proceso productivo, para incorporarlas al programa de mantenimiento.

*¿Cuándo hacerlos?*

Ordene la ejecución de las actividades a través de una orden de trabajo, asigna fecha, la cual se conoce como Programación de Mantenimiento.

*¿Cómo hacerlo?*

Establece procedimientos sistemáticos, para la ejecución de las actividades, la cual se conoce en el escenario de mantenimiento como practica operativa.

*¿Con quién hacerlo?*

Asigna recursos de Horas-Hombres estimadas.

*¿Con que hacerlo?*

Asigna repuestos y materiales para la ejecución de las actividades del mantenimiento.

El planificador al recibir los resultados de las inspecciones, verifica la existencia de repuestos y disponibilidad de Horas-Hombres. Posteriormente procede a elaborar la orden de trabajo (OT), considerando las prioridades establecidas. (Suárez, 2001).

#### **2.2.8. Establecimiento de la Planificación del Mantenimiento.**

El establecimiento de un plan de mantenimiento, es una actividad importante, ya que de este depende en gran medida el éxito de la gestión de mantenimiento. A continuación se nombra un método dividido en seis etapas para elaborar un programa de mantenimiento:

- Etapa 1.- Investigación de los procesos y patrones de producción.
- Etapa 2.- Determinar las unidades críticas de la planta.
- Etapa 3.- Selección de actividades y frecuencias de mantenimiento preventivo.

- Etapa 4.- Adaptación del programa a los recursos y políticas de la organización.
- Etapa 5.- Documentación del programa.
- Etapa 6.- Selección de las actividades del mantenimiento correctivo. (Ascanio, 2002).

### **2.2.9. Confiabilidad.**

Es la probabilidad de que un componente o sistema no falle bajo ciertas condiciones de uso, durante un intervalo de tiempo dado  $[0, t]$ . Basado en probabilidad condicional, se puede definir como la probabilidad de que un componente o sistema falle en un tiempo dado que ha sobrevivido un instante  $t$ . (Suárez, 2008).

### **2.2.10. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).**

El MCC es una filosofía de mantenimiento desarrollada durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas, es decir, es una técnica basado en análisis funcional, organizado, lógico y documentado, para construir o modificar un plan de mantenimiento, conservando el mejor balance entre su costo y la confiabilidad del servicio.

El MCC pone tanto énfasis en las consecuencias de fallas como en las características técnicas de la misma, mediante:

- Integración de una revisión de fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Manteniendo mucha información en las tasas de mantenimiento que más incidencia tienen el funcionamiento y el desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión del mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar. (Mejías, 2001)

#### **2.2.11. Preguntas Básicas para el Análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.**

El MCC se basa en 7 preguntas básicas para su aplicación, las cuales son:

1. ¿Cuáles son las funciones que debe cumplir el equipo en su contexto actual de operación?
2. ¿De qué manera puede evitar una falla que el equipo pueda cumplir con sus funciones?
3. ¿Cuáles son las causas de cada falla funcional?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?
5. ¿De qué manera importa cada falla?
6. ¿Qué se puede hacer para prevenir cada falla funcional?
7. ¿Qué debe hacerse en caso de no encontrar una tarea preventiva apropiada?

Para garantizar el éxito en una aplicación o análisis de MCC, es importante responder cada una de las siete preguntas mostradas anteriormente, en orden de aparición y de forma correcta, sin omitir detalles, con hechos y no suposiciones. (Guerra, 2007)

### **2.2.12. Distribución de Weibull.**

Es una generalización de la distribución exponencial, utilizada generalmente con dos parámetros los cuales determinan la escala y la forma de la curva. La gran aplicabilidad de esta distribución se debe a que la correspondiente Tasa de Riesgo es variable, por consiguiente es considerada como uno de los mejores modelos en un análisis de sobrevivencia o fallas.

Uno de los problemas fundamentales de la distribución de Weibull es la evaluación de los parámetros ( $t_0$ ,  $\eta$ ,  $\beta$ ) de esta distribución. Para ello se dispone de dos métodos: a través únicamente del cálculo mediante el método de los momentos o el de máxima verosimilitud, en el que intervienen ecuaciones diferenciales difíciles de resolver, por lo que se utilizan poco, y mediante la resolución gráfica, que utiliza un papel a escala funcional llamado papel de Weibull o gráfico de Allen Plait que es el que se va a desarrollar.

Las constantes de Weibull son las siguientes:



- $t_0$  es el parámetro de posición (unidad de tiempos) o vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución.
- $\eta$  es el parámetro de escala, extensión de la distribución a lo largo, del eje de los tiempos. Cuando  $(t - t_0) = \eta$  la fiabilidad viene dada por:  
 $R(t) = \exp - (1)^\beta = 1/\exp 1^\beta = 1 / 2,718 = 0,368$  (36,8%)  
 Entonces la constante representa también el tiempo, medido a partir de  $t_0 = 0$ , según lo cual dado que  $F(t) = 1 - 0,368 = 0,632$ , el 63,2 % de la población se espera que falle, cualquiera que sea el valor de  $\beta$ . Por esta razón también se le llama usualmente vida característica
- $\beta$  es el parámetro de forma y representa la pendiente de la recta describiendo el grado de variación de la tasa de fallos.

Resolución gráfica:

El papel de Weibull está graduado a escala funcional de la siguiente forma:

1. En el eje de ordenadas se tiene:  $\ln \ln [ 1 / 1 - F(t) ]$  (Doble logaritmo neperiano)
2. En el eje de abscisas, tenemos:  $\ln (t - t_0)$
3. Existen tres casos posibles en función del valor de  $t_0$ . (Suárez, 2008).

### **2.2.13. Análisis de Modo y Efecto de Fallas.**

El análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) constituye la herramienta principal de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), para la optimización de la gestión de mantenimiento en una organización determinada. El AMEF es un método sistemático que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Hay que tener presente que la realización del AMEF, constituyen la parte más importante del proceso de implantación del MCC, ya que a partir del análisis realizado a los distintos activos en su contexto operacional, se obtendrá la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias.

El AMEF busca responder las 4 primeras preguntas básicas del MCC, definiendo así para cada activo sus funciones, sus fallas funcionales, los modos de falla y su efecto de fallas. (Basantes, 2004).

### **2.2.14. Funciones y estándares de funcionamiento.**

Da inicio a la aplicación del MCC y consiste en determinar las funciones específicas y los estándares de comportamiento funcional, asociado a cada uno de los activos objeto de estudio en el contexto operacional. (Basantes, 2004).

### **2.2.15. Fallos funcionales.**

Los fallos funcionales se producen por la incapacidad de un elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. Para definir una falla funcional solo se requiere escribir la función en sentido negativo, es decir, negar la función. (Basantes, 2004).

### **2.2.16. Modo de fallos.**

Son las razones que dan origen a las fallas funcionales, es decir, lo que hace que la planta, sistema o activo no realice la función deseada. Cada falla funcional puede ser originada por ser originada por más de un modo de falla y cada modo de falla tendrá asociado ciertos efectos, que son básicamente las consecuencias de que esta falla ocurra. (Basantes, 2004).

### **2.2.17. Efecto de fallos.**

Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). Este paso permite decidir la importancia de cada falla y, por tanto, que nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario. (Basantes, 2004).

### 2.2.18. Falla

Se dice que un componente o equipo ha fallado cuando:

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

Es decir, cuando no puede o ha perdido la capacidad para cumplir su objetivo a satisfacción, ya sea en cantidad, calidad u oportunidad.

Las fallas son la razón de ser del mantenimiento, ya que a éste le corresponde el tratar de prevenirlas y corregirlas para aumentar la disponibilidad del equipo.

Interesa al mantenimiento registrar por separado las fallas de cada una de las máquinas o equipos que participan en la línea de producción, con el objeto de conocer su desempeño individual. (Suárez, 2008).

### **2.2.19. Objetivos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.**

El objetivo principal del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) consiste en reducir al mínimo el costo de mantenimiento, debido a que se dedica a funciones más importantes de los sistemas, ayuda a definir el tipo de mantenimiento que se debe aplicar, evita o elimina acciones de mantenimiento que no son necesarias. (Suárez, 2008).

### **2.2.20. Beneficios del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.**

- Mayor Seguridad y Protección: Mejora el mantenimiento, revisa causas y consecuencias de las fallas y define estrategias para prevenir los distintos tipos de fallas.
- Mayor Control de los Costos: Elimina el mantenimiento rutinario innecesario, previene fallas y sus consecuencias, establece políticas claras de mantenimiento, operación y adquisición de nuevas tecnologías, revisiones a intervalos más largos.
- Mayor Rendimiento Operativo: Mayor énfasis en equipos críticos, diagnóstico más rápido para detección de fallas, menores daños secundarios, intervalos más largos entre revisiones, paradas más cortas, eliminación de componentes poco fiables, conocimiento más preciso de la planta y su componentes.
- Aprovechamiento de la Vida Útil del Equipo: Uso de las técnicas del mantenimiento a condición.
- Amplia Base de Datos del Mantenimiento: Conocimiento de la planta, los equipos y el contexto operacional.

- Mayor Motivación del Personal: Mayor conocimiento de los equipos, ambiente de trabajo más seguro, procedimientos bien conocidos, mejor relación entre grupos, áreas y niveles jerárquicos. (Suárez, 2008).

#### **2.2.21. Bomba.**

Es una maquina hidráulica generadora, que transforma la energía mecánica con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve. En general, una bomba se utiliza para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud. (Mataix, 2006).

#### **2.2.22. Bomba Centrífuga.**

Es un tipo de bomba hidráulica que transforma energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requerida. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido y, por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que conduce hacia la tubería de salida.

Para una velocidad de rotación dada, la bomba centrífuga es capaz de manejar una capacidad de flujo desde cero, hasta un máximo que depende del diseño, tamaño y condiciones de succión presentes. (Mataix, 2006).

Las características hidráulicas de una bomba centrífuga permite un rango de operación bastante amplio. Idealmente los puntos de diseño y de operación deben mantenerse cercanos al punto de mejor eficiencia (B.E.P).

Las bombas centrífugas son diseñadas para operar dentro de ciertos parámetros en los cuales los fabricantes garantizan una mayor confiabilidad de componentes tales como cojinetes, sellos mecánicos, etc.; esto debido a que los esfuerzos generados por efectos mecánicos e hidráulicos se mantienen dentro de límites permisibles. (Cimbala y Cengel, 2006).

#### **2.2.23. Punto de Mejor Eficiencia, BEP.**

Caudal al cual la bomba alcanza su máxima eficiencia. Idealmente, una bomba centrífuga debe operar en el punto de mejor eficiencia (BEP) ya que es, en este punto, donde los esfuerzos radiales sobre el impulsor son mínimos y por ende los niveles de vibración. Conforme el punto de operación se aleje del BEP, derecha o izquierda, las cargas radiales aumentan. (Potter y Wingert, 2002).

#### **2.2.24. Flujo Mínimo Continuo Estable, mcsf.**

Mas bajo flujo al cual puede operar una bomba centrífuga sin exceder los límites de vibración establecidos por las Normas Internacionales. (Potter y Wingert, 2002).

**2.2.25. Flujo Mínimo Térmico Estable, mctf.**

Mas bajo flujo al cual puede operar una bomba centrífuga sin que se observe un aumento en la temperatura del fluido bombeado. (Potter y Wingert, 2002).

**2.2.26. Punto Normal de Operación.**

Punto en el cual se espera que opere una bomba en condiciones normales. Operar fuera de los parámetros de diseño trae como consecuencia una reducción considerable en la vida útil del equipo, lo cual se traduce en alta rata de falla y altos costos de mantenimiento. (Mataix, 2006).

**2.2.27. Punto de Operación Nominal.**

Punto en el cual el fabricante de la bomba certifica que el desempeño de la misma se encuentra dentro de las tolerancias establecidas por las Normas Internacionales. (Mataix, 2006).

**2.2.28. Componentes de una bomba centrífuga.**

- Carcasa o Voluta: Se denomina voluta a la cámara o carcasa en forma de espiral de una bomba centrífuga dentro de la cual gira el rodete y



que recoge el fluido propulsado radialmente por éste, dirigiéndolo hacia las tubuladuras (de tubo) de salida.

- Sellos: Todos los sellos mecánicos son básicamente iguales y tienen un elemento rotatorio y uno fijo. Un elemento tiene una selladora de contacto de un material blando, para desgaste, como el carbón, el otro tiene material duro que puede ser cerámica.
- Caja de rodamientos: Un rodamiento, también denominado rulemán, rolinera, rúleman, cojinete, balinera o balero (en México) o rodaje (en Perú) o caja de bolas (en Cuba) o también Bolillero en Argentina, es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento. De acuerdo con el tipo de contacto que exista entre las piezas, el rodamiento puede ser deslizante o lineal y rotativo.
- Eje: Es el elemento central de la bomba y es el que recibe las cargas radiales y el peso del impulsor.
- Impulsor: Es el elemento que lleva el recorrido del fluido y que va dentro de la carcasa. Son diseñados en variados anchos de acuerdo a su velocidad.
- Motor: Es el componente que lleva la potencia de la bomba a donde se quiera. Dicha potencia va a depender del tipo de motor que tenga la bomba que pueden ser eléctrico, de combustión interna o de turbina. (Potter y Wingert, 2002).

### **2.2.29. Clasificación de bombas centrífugas.**

Las bombas centrífugas pueden clasificarse de acuerdo a la orientación de rotor y configuración de soporte:

De acuerdo a la orientación de rotor, se clasifican en:

- Horizontales: Rotor en posición horizontal.
- Verticales: Rotor en posición vertical.

De acuerdo a la configuración de soporte, se clasifican en:

- Cantiléver o Voladizo.
- Entre cojinetes.
- Verticalmente suspendidas.

Las bombas centrifugas, tanto horizontales como verticales, pueden tener uno o más etapas.

Las boquillas de succión y descarga pueden estar orientadas en tres planos con respecto al rotor:

- Axial: "END"
- Vertical: "TOP"
- Horizontal: "SIDE"

En la nomenclatura de bombas centrifugas, primero se indica la posición de la boquilla de succión y luego descarga. En tal sentido, cuando

se habla de una bomba “END – TOP”, indica que la succión está en posición axial y la descarga en posición vertical. (Potter y Wingert, 2002).

### **2.2.30. Tipos de Bombas Centrífugas.**

Según su flujo se clasifican en:

- Flujo Mixto.
- Flujo radia.
- Flujo Axial.

Según su succión se clasifican en:

- Simple succión.
- Doble succión.

Según sus etapas se clasifican en:

- Autocebante.
- Simple etapa.
- Multietapa.

Según su impulsor se clasifican en:

- Impulsor abierto.
- Impulsor semiabierto.
- Impulsor cerrado.

Según su voluta se clasifican en:

- Voluta simple.
- Voluta doble. (Potter y Wingert, 2002).

### **2.2.31. Coquificación Retardada.**

La coquificación retardada es un proceso de craqueo térmico. En este proceso, los fondos de la unidad de vacío, o residuales, se calientan a 496°C en un horno a gas, y luego se desintegran térmicamente en un tambor de coquificación. La coquificación retardada es un proceso endotérmico, mediante el cual la energía de fraccionamiento y las pérdidas de calor de la superficie expuesta reducen la temperatura del tope del tambor de coque a 466°C. Hay dos reacciones primarias de coquificación: Condensación, la cual produce el coque, y Fraccionamiento, la cual genera productos que van desde gasóleos pesados hasta nafta e hidrógeno.

El coque formado se deposita en el tambor de coquificación y los productos fraccionados fluyen en forma de vapor fuera del tope del tambor de coquificación al fraccionador principal donde se enfrían y se separan en líquido y productos de vapor. (Bogadi, 2005).

### **2.2.32. Descripción del proceso de coquificación retardada.**

El residuo de vacío y el reciclo van desde los tubos del calentador del coquizador hasta uno de los tambores de coquificación; las altas temperaturas, además de las altas velocidades posponen la formación de coque. El hecho de que el hidrocarburo quede retenido en el tambor de coque, permite que el proceso de craqueo y coquización sea más extenso y controlado.

La alimentación hacia el coquizador se calienta, luego se envía al fondo del tambor de coquificación. El producto craqueado más liviano sube hasta la parte superior del tambor para luego ser retirado. El producto más pesado permanece dentro del tambor y debido al calor retenido, se craquea para convertirse en coque, una sustancia sólida similar al carbón. Los vapores que salen de la parte superior del tambor son enviados al fraccionador para su separación.

El proceso de extraer el coque del tambor constituye un problema especial debido a que se forma una especie de torta. La descoquificación es un proceso rutinario que se logra por medio de la inyección de un chorro de

agua a alta presión. Primero se perfora un hueco en el coque que va desde la parte superior hasta el fondo del tambor. Luego se introduce una varilla giratoria a través del hueco, que rocía chorros de agua hacia los lados. La alta presión del chorro corta el coque en pedazos, los cuales son retirados por el fondo del tambor. Todo el proceso de cambio de tambor de coquificación, enfriamiento, descoquificación y vaciado del tambor dura 36 hrs, tiempo durante el cual otro tambor estará siendo llenado.

Los componentes más livianos de la alimentación del residuo de vacío y aquellos provenientes del craqueo térmico se separan posteriormente en el sistema de fraccionamiento. A partir de este proceso se obtienen varios gasóleos del coquizador, así como otras corrientes que son enviadas a otras unidades dentro de la planta para su posterior procesamiento. (Bogadi, 2005).

### **2.2.33. Variables de operación de la coquificación retardada.**

La presión de operación del tambor de coquificación tiene poco efecto en la proporción de las reacciones de fraccionamiento a condensación. Las presiones más bajas en el tambor favorecerán las reacciones de fraccionamiento y la subsiguiente producción de volumen líquido. La presión de operación del tambor es determinada durante el proceso de diseño, teniendo las operaciones un pequeño rango de control de la presión del tambor de coque.

La segunda variable de operación con algún rango de control es la temperatura de salida del horno. La temperatura de salida del horno puede modificarse en  $\pm 9^{\circ}\text{C}$  de la temperatura de diseño de  $496^{\circ}\text{C}$ . Los cambios en la temperatura de salida del horno afectan la dureza del coque que se forma en el tambor y el posterior grado de dificultad de cortar el coque de fuera del tambor. Las temperaturas más altas producen coque más duro y las temperaturas más bajas producen coque más blando. (Bogadi, 2005).

#### **2.2.34. Craqueo.**

El craqueo es un proceso químico por el cual se quiebran moléculas de un compuesto produciendo así compuestos más simples.

El procedimiento original, todavía en uso, empleaba calor y presión y se denomina “craqueo térmico” a una temperatura de  $850\text{-}900^{\circ}\text{C}$ . (Potter y Wingert, 2002).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO.**

#### **3.1. Tipos de Investigación.**

Existen muchos modelos y formas de clasificarlos. Sin embargo, lo importante es precisar los criterios de clasificación.

En este sentido se identifican:

- Tipos de investigación según el Nivel.
- Tipos de investigación según el Diseño.
- Tipos de investigación según el Propósito.

Sin embargo, independientemente de su clasificación, todos son tipos de investigación, y al no ser excluyentes, un estudio puede ubicarse en más de una clase. (Arias, 2006).

#### **3.2. Nivel de la Investigación.**

El nivel de investigación de este proyecto es del tipo Descriptivo.



La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (Arias, 2006).

Es descriptivo porque se detallan las condiciones actuales de las bombas centrífugas del proceso de coquificación en la Planta PETROPIAR, así como para describir registro e interpretación del problema actual, además requirió de técnicas específicas así como criterios y formatos de recolección de información, entrevistas directas con el personal y documentación.

### **3.3. Diseño de la Investigación.**

El diseño de investigación de este proyecto es de Campo.

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 información pero no altera las condiciones existentes. (Arias, 2006).

Esta investigación es documental, ya que se basa en el uso de textos, manuales, revistas, guías, normas, bitácoras, registros, tesis de pregrado

realizadas en la Universidad de Oriente y otros que respaldan los fundamentos teóricos para la solución del problema.

En cuanto al diseño de campo, está relacionado con el estudio porque los problemas se describen, se analizan en forma directa, utilizando técnicas para inspeccionar las bombas en el área de proceso de la planta, para observar las condiciones de los equipos y establecer las posibles soluciones.

### **3.4. Técnicas a utilizar.**

Como el diseño de esta investigación es de Campo, las técnicas a utilizar serán las siguientes:

#### **3.4.1. La observación.**

Esta técnica que consistió en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza de los equipos en estudio.

#### **3.4.2. Entrevista personal e informal.**

Esta técnica permitió expandir los conocimientos sobre los equipos en estudio, con la finalidad de recabar toda la información necesaria para la

descripción del sistema y poder llegar a las posibles soluciones de la problemática.

#### **3.4.3. La descripción.**

Esta técnica detalló los resultados de las observaciones realizadas, para analizar los equipos en estudio tanto en el área operacional como en el de mantenimiento, con miras a la resolución de los objetivos.

#### **3.4.4. Gráficas.**

Se utilizaron para facilitar la explicación, análisis e interpretación de los datos y resultado.

#### **3.4.5. Metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).**

Esta técnica es una de las fuentes principales 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 lidiando con el problema hasta llegar a la solución final.

El estudio de esta metodología está basado en el AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas), para estudiar el problema mediante la función, las fallas, los modos y los efectos de las fallas de los equipos.

#### **3.4.6. Distribución de Weibull.**

Es el complemento del MCC, permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente clave de seguridad que pretendemos controlar y que a través de el registro de fallos se observa que éstos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso.

#### **3.4.7. La Documentación.**

Esta técnica sirvió de apoyo durante la elaboración de la investigación, se basó en obtener registros, documentos, manuales entre otros documentos relacionados con los equipos en estudio. Esta información contribuyó para el análisis y la toma de decisiones.

#### **3.4.8. La Predicción.**

Técnica que consistió en estimar las acciones a implementar para resolver el problema, tomando en cuenta información obtenida a lo largo de la investigación.

#### **3.4.9. Manejo de Programas de Computadoras.**

El uso de programas de computación fue importante para la recopilación de información, agilizar los cálculos y procesar la información a lo largo de la investigación.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS.**

#### **4.1. Situación Actual de las Bombas P001 A/B/C con respecto al mantenimiento.**

El desempeño de una bomba, así como la vida útil y el TPEF (Tiempo Promedio entre Fallas) de sus componentes pueden ser dramáticamente afectados, dependiendo de la magnitud de las diferencias, por variaciones en los valores de NPSH disponible, caudal, características de los sólidos, pH, temperatura de operación, rpm de la bomba, cabeza de descarga, etc.

El tipo de mantenimiento que se le hace a estas bombas es el mantenimiento correctivo el cual consiste en corregir las fallas en el momento que se les presenten; este procedimiento abarca desde el retiro de la bomba dañada, la colocación de la bomba de respaldo, la ejecución del mantenimiento y posteriormente el informe de mantenimiento realizado por el operador y la reposición del equipo.

Son tres las bombas que trabajan, las cuales son: P001A, P001B, P001C; de estas tres trabajan dos simultáneamente y queda una de respaldo, que en el caso del momento en que se daña cualquiera de las dos

que están operando, activan la de respaldo y la bomba dañada pasa al departamento de mantenimiento.

Una vez se encuentra la bomba en el departamento de mantenimiento se procede al desmontaje de la pieza y verificar la falla ocurrida esto con la finalidad de generar los datos correctos en el reporte de falla emitido por el operador de guardia. Cumplido el paso de limpieza de cada pieza el mecánico procede a reparar el equipo, el tiempo de reparación de la bomba depende del tipo de falla que presente en ese momento.

Después de la reparación del equipo, se hace el ensamble total de las piezas quedando la bomba en condiciones de operatividad, se traslada al sitio de trabajo y esta se coloca en espera (quedando como bomba de respaldo), a que ocurra nuevamente una falla en cualquiera de las dos bombas que están operando y se repite el procedimiento.

#### **4.2. Recolección de los datos históricos de las fallas ocurridas a las bombas P001A/B/C.**

Para el cumplimiento de este objetivo se realizaron las siguientes actividades: visitas a la empresa, entrevista personal e informal y revisión de documentación de bases de datos. Para la recopilación de los datos de los registros de fallas, se recurrió a las principales fuentes de información como lo son: los operadores de las bombas P001 A/B/C y el jefe de turno; lo cual

permitió obtener una clasificación y distribución de las fallas de las bombas en estudio.

Mediante estas actividades se logró obtener la información necesaria para realizar el historial de fallas de cada una de las bombas, lo cual se determinó que existen tres tipos de fallas más comunes que son: daños en rodamientos, fallas en sellos mecánicos y fuga en las válvulas de calentamiento.

La identificación de las fallas más comunes es un punto de partida para continuar la búsqueda de las causas de las mismas y poder lograr la eliminación del problema desde su origen y, permitir a la empresa tomar acciones para optimizar los recursos productivos y de retorno de inversión.

El registro de fallas realizado cuenta con la descripción de la planta, el equipo en estudio, fecha de ocurrencia de las fallas, fecha de arranque de las fallas, tiempo entre fallas (en horas y en días) y la descripción de las fallas. En el anexo A se visualiza el historial de fallas elaborado para cada una de las bombas del proceso de coquificación.



#### 4.3. Aplicación de la Distribución de Weibull para cualquier periodo de las bombas P001A/B/C.

La Distribución de Weibull permite estudiar cual es la distribución de fallos de un componente clave, en este caso, los equipos claves en el proceso de coquificación como lo son las bombas P001A/B/C que se pretenden controlar y que a través de un registro de fallas se observa que estos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso.

Para la elaboración de las gráficas de Weibull se elaboró un cuadro de datos de cada una de las bombas en estudio, lo cual consta de 3 columnas, en la primera se encuentra el número de orden de las fallas de manera creciente, en la segunda se tomó los datos de los tiempos entre fallas en días del historial de falla de cada bomba y la última columna la frecuencia acumulada ( $f_i$ ), que fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$f(i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

Donde:  $i$  es el número de orden y  $n$  es el total de muestra. Esta fórmula es utilizada solamente para un  $n < 20$ . A continuación se muestra la tabla de datos graficados en el papel de Weibull para la bomba P001A.

Tabla 4.1 Datos grafica de Weibull bomba P001 A.

N° DE ORDEN	TIEMPO ENTRE FALLAS	FRECUENCIA ACUMULADA
1	10	4,55
2	12	11,04
3	15	17,534
4	16	24,03
5	18	30,52
6	24	37,01
7	32	43,51
8	36	50
9	45	56,49
10	48	62,99
11	72	69,48
12	74	75,97
13	85	82,47
14	90	88,96
15	96	95,45

Fuente: Elaboración propia.

Una vez graficado los puntos en el papel de Weibull, considerando que el tiempo entre fallas es el eje de las abscisas y la frecuencia acumulada es el eje de las ordenadas, la nube de puntos se ajustó a una recta llamada recta de Weibull, donde la metodología indica que el parámetro de posición ( $\gamma$ ) es igual a cero (0), los valores del parámetro de forma ( $\beta$ ) para las bombas P001A/B/C fueron de 2; 1,3 y 1,4 respectivamente, que fueron calculados gráficamente trazando una recta paralela a los datos graficado que pase por el punto [1;63,2] interceptando la recta de  $\beta$  que está tabulada en una escala del 0 al 7. Los valores de los parámetros de escala ( $\eta$ ) fueron 520, 1000, 1100 respectivamente que fueron calculados gráficamente ubicando el punto de intercepción entre la recta graficada y la recta paralela

al eje de las abscisas que pasa por el punto 63,2 en el eje de las ordenadas. Dado que el parámetro de posición ( $\gamma$ ) es igual a cero se pueden definir tres casos para indicar la etapa del equipo en estudio mediante el parámetro de forma ( $\beta$ ) que son:  $\beta < 1$ ,  $\beta = 1$  y  $\beta > 1$ .

A continuación se muestra la grafica del comportamiento de fallas para las bombas P001A/B/C.

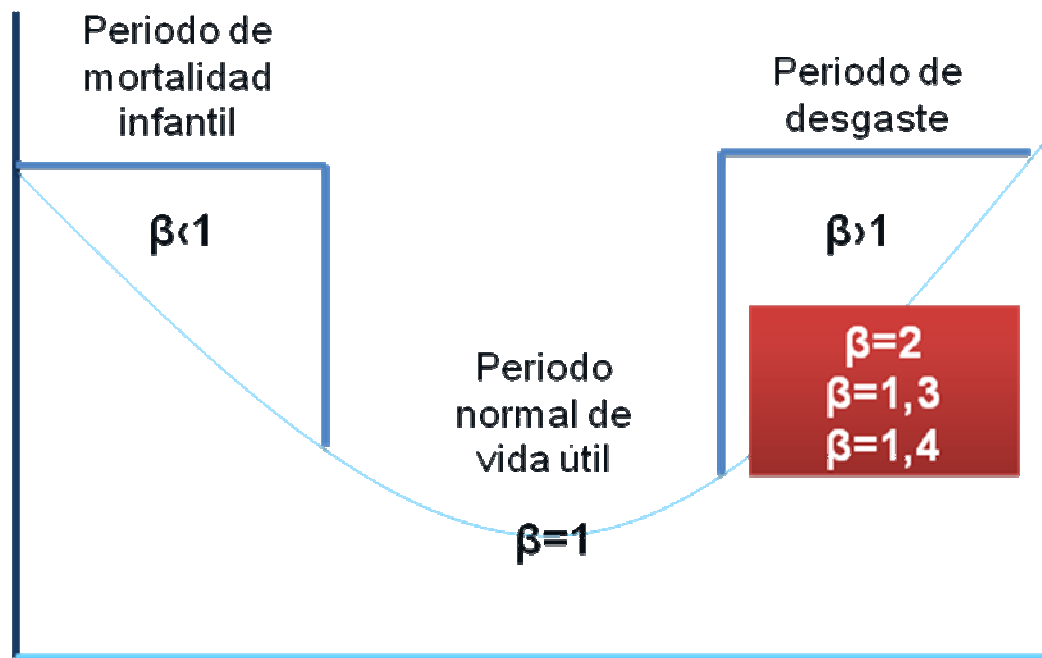


Figura 4.1. Comportamiento de fallas del parámetro  $\beta$ .

Fuente: elaboración Propia.

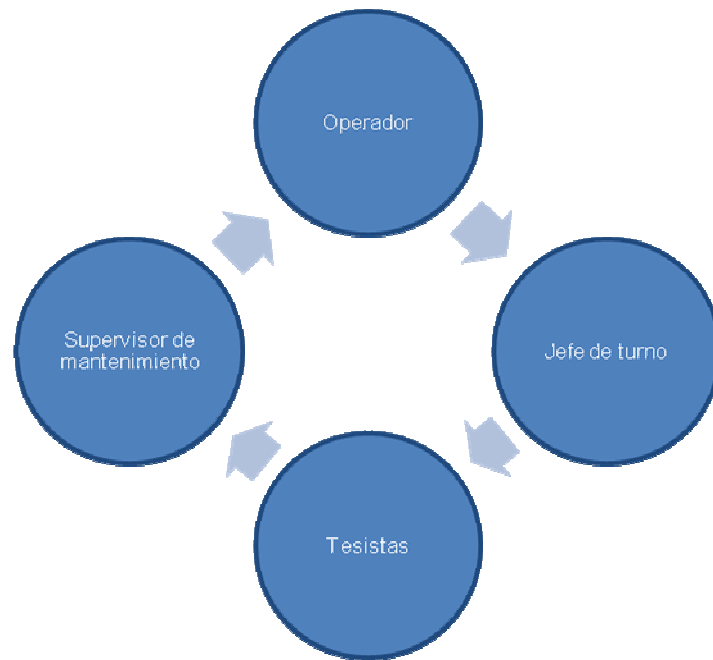
Como el parámetro de forma está en la escala mayor a 1, la tasa de fallo incrementa con la edad de forma continua, lo que indica que los desgastes empiezan en el momento en que los equipos se ponen en servicio.

#### **4.4. Análisis de Modo y Efecto de Fallas de las bombas P001 A/B/C.**

Para la elaboración del AMEF se procedió a evaluar en primer lugar el contexto operacional del sistema de las bombas, y posteriormente se elaboró el AMEF de cada una de las bombas; llenando cada una de las hojas de información de las mismas. Cabe destacar que para la simplicidad del estudio se muestran los resultados del AMEF de la bomba P001 A, dejando en el anexo B la continuación del AMEF de las bombas P001 B/C.

##### **4.4.1. Establecimiento del grupo natural de trabajo del análisis de modo y efecto de falla de las bombas P001 A/B/C.**

El equipo natural de trabajo estaba conformado por personas relacionadas con las operaciones que se realizan en el proceso de coquificación retardada de la refinación de petróleo de la planta PETROPIAR ubicada en el Estado Anzoátegui.



**Figura 4.2. Equipo natural de trabajo**

**Fuente: Elaboración propia.**

Una vez conformado el equipo natural de trabajo se establecieron una serie de reuniones con los mismos con la finalidad de recabar la información necesaria para la realización del estudio.

#### **4.4.2. Contexto operacional de las bombas P001 A/B/C.**

- Propósito del sistema: El propósito del sistema es enviar continuamente el residuo de vacío desde la fraccionadora hasta el horno de coque.

- Descripción de equipos: En el sistema se encuentran las bombas P001 A/B/C, de las cuales dos trabajan y una queda de refuerzo en el caso de avería de una de las dos operativas.
- Descripción del proceso: Para poder explicar de una manera más clara como funciona el sistema se acudirá a un diagrama de flujo de proceso mostrado en la figura 4.2.

En la figura 4.2 se observa cómo es transportado el coque desde la fraccionadora de coque pasando por las bombas P001 A/B/C al horno fluidamente formando este proceso una parte del proceso general que se realiza en la unidad 12.

Las bombas se encuentran conectadas en paralelo, de las cuales dos de ellas están operativas y una de ellas se encuentra de respaldo en caso de presentar una falla en las operativas.

Las bombas operan en condiciones normales a una presión de succión de 27 psi, con una presión de descarga de 750 psi y con un flujo de bombeo de 1020 GPM.

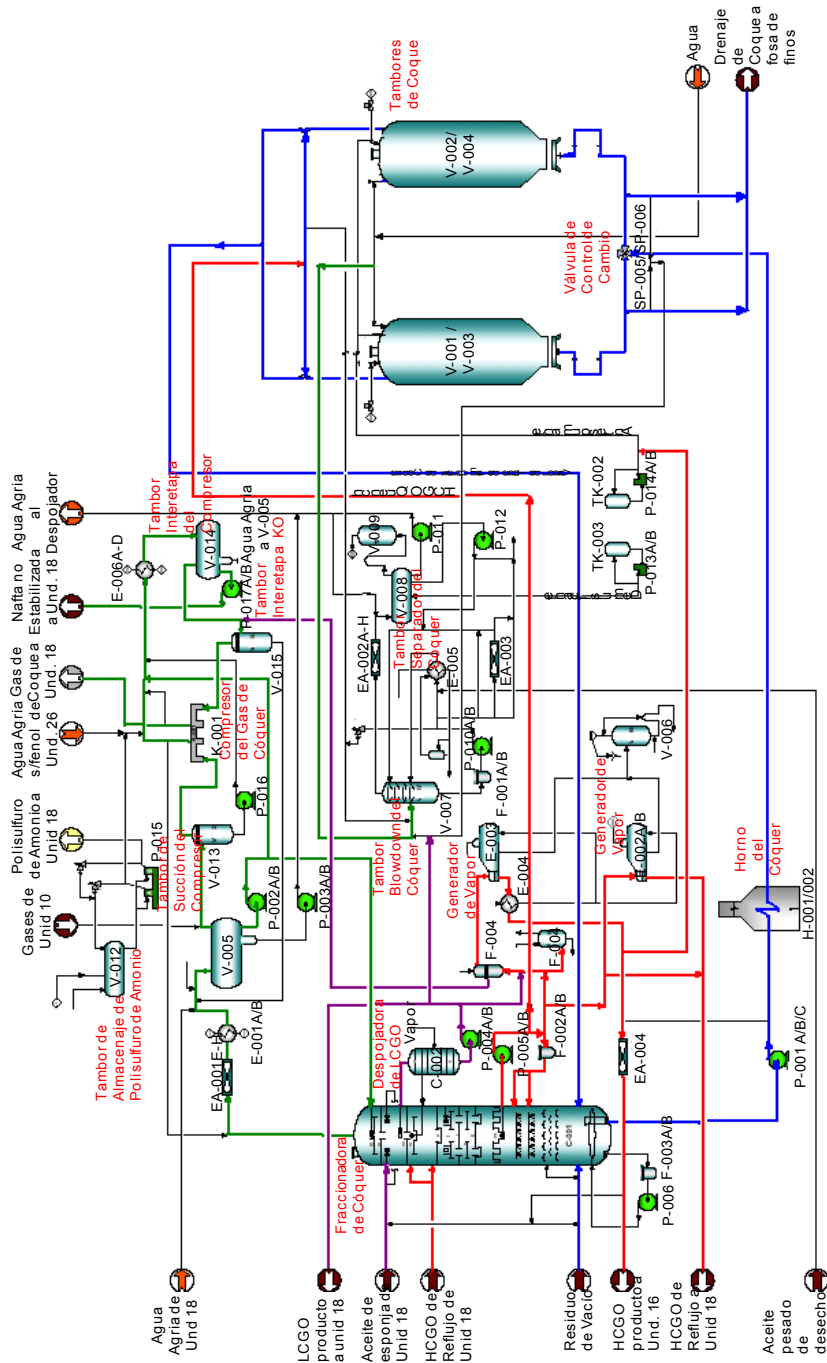


Figura 4.3. Diagrama descripción del proceso del contexto operacional de las bombas P001 A/B/C.

Fuente: Elaboración Propia.

- Dispositivos de seguridad: El sistema de las bombas cuenta con válvulas de control en la línea de calentamiento succión/descarga que impiden la solidificación de fluido y permiten mantener la bomba caliente para recibir el residuo de vacío.
- Mantenimiento: De acuerdo a entrevistas realizadas al personal que labora en la unidad 12, en especial en el sector de las bombas P001 A/B/C se aplica únicamente correcciones de las fallas que presenten las bombas en el momento de alguna parada de las mismas o de ser detectada una falla por el operador de las mismas.
- Límites del sistema: En el sistema de la unidad 12 encargada de la coquificación retardada en el proceso de refinación de petróleo de la planta PETROPIAR se establecieron los límites de las bombas P001 A/B/C que van, desde las tuberías que vienen de la fraccionadora de coque (tubería de succión) hasta las tuberías que transportan el coque desde las bombas hasta el horno del coque (tuberías de descarga).



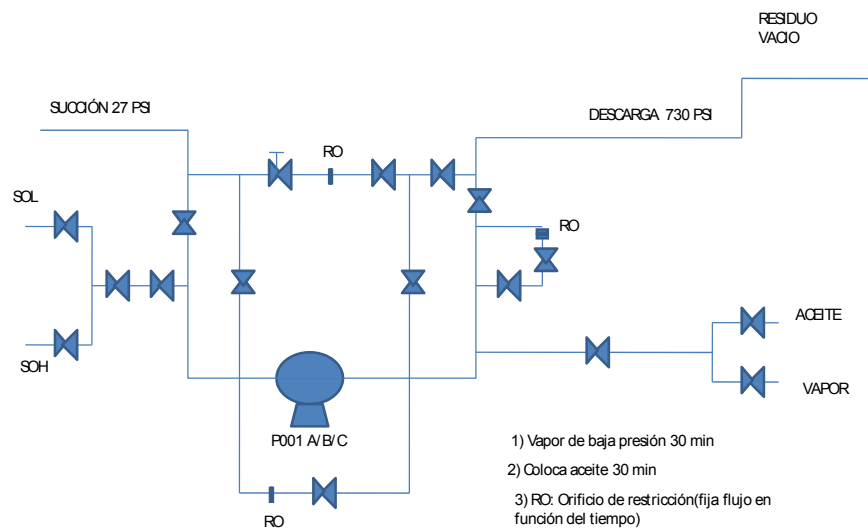


Figura 4.4. Diagrama del sistema del contexto operacional de las bombas P001 A/B/C.

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.4.3. Definición y funciones estándares de funcionamiento.

Consecuentemente se procedió a identificar todas las funciones de los equipos y establecer los niveles de desempeño deseados. Cada función se escribió con un verbo, objeto y estándar de funcionamiento.

- Sistema: Bombeo de coque de la fraccionadora al horno del coque.
- Subsistema: Bombas P001A/B/C.
- Equipo: Bomba centrífuga P-001A

- Función principal: Trasferir el fluido de coque desde la fraccionadora al tambor de coquera una presión de 750 psi.
- Función secundaria: Mantener un fluido constante y sin fugas.

#### **4.4.4. Descripción de las fallas funcionales.**

Una vez definidas las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo el paso siguiente fue describir las fallas funcionales de cada equipo; es decir, cuando un elemento es capaz de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. También es identificado cuando el equipo se encuentra en funcionamiento pero no al rendimiento óptimo del mismo (falla parcial).

- Sistema: Bombeo de coque de la fraccionadora al horno del coque.
- Subsistema: Bombas POO1A/B/C.
- Equipo: Bomba centrífuga P-001A.
- Falla funcional: Incapaz de transferir fluido.

#### **4.4.5. Identificación de modo de falla.**

Como paso siguiente se procedió a determinar los modos de fallas que tienen más posibilidad de ocasionar la pérdida total o parcial de una función. Se tomaron en cuenta aquellos modos de fallas que han ocurrido o que pueden presentarse para la bomba P001 A.

- ✿ Sistema: Bombeo de coque de la fraccionadora al horno del coque.
- ✿ Subsistema: Bombas POO1A/B/C.
- ✿ Equipo: Bomba centrífuga P-001A.
- ✿ Modo de falla: Filtro tapado.

#### **4.4.6. Determinación de los efectos de la falla.**

En esta etapa se analiza cuales son las consecuencias que se presentaría si ocurriese cada modo de falla. La descripción del efecto de falla sirvió como base para determinar las tareas del mantenimiento.

- ✿ Sistema: Bombeo de coque de la fraccionadora al horno del coque.
- ✿ Subsistema: Bombas POO1A/B/C.
- ✿ Equipo: Bomba centrífuga P-001A.
- ✿ Efecto de falla: Se producen altos niveles de vibración y el detector de vibraciones detiene el equipo automáticamente.

#### **4.4.7. Hoja de información del análisis de modo y efecto de falla.**

Las hojas de información del AMEF se obtuvieron para cada equipo individualmente; tomando en cuenta la función principal del equipo, la falla funcional, el modo de falla y los efectos de falla que se pueden presentar de ocurrir cada modo de falla por cada equipo respectivamente.

Seguidamente se desglosarán los pasos a realizarse para la elaboración de la hoja de información.

1. Especificar el equipo.
2. Describir la(s) funcione(s).
3. Determinar las fallas funcionales.
4. Identificar los modos de fallas.
5. Analizar los efectos de fallas.


A continuación se presenta las tablas de información del Análisis de Modos y Efectos de Fallas para la Bomba centrífuga P001A, dejando las de las otras bombas en el anexo B.

Tabla 4.2. Análisis de Modos y Efectos de Fallas. (1/4).

Hoja de Información	Hoja: 1 De: 4	Unidad: 12	Realizado por: López Itsanery Rodríguez Alloca	
		Equipos: Pump 12P- 001 A/B/C	Revisado por: Carlos Pérez	
FUNCION	FALLO FUNCIONA L	MODO DE FALLO	EFECTOS DE FALLAS	
TRANSFERIR DE FORMA CONTINUA EL RESIDUO DE VACIO DESDE LA FRACCIONADOR A HASTA EL HORNO DE COQUER A 750 PSI DE DESCARGA.	Incapaz de transferir fluido.          Sistema de balance obstruido	Filtro tapado       Rodamientos desplazados	<p>Pérdidas en el cabezal de descarga. Se producen altos niveles de vibración.</p> <p>Se produce cavitación y ruido debido al cambio de presión y al caudal insuficiente.</p> <p>Aumento del diferencial de presión a través de los filtros o colador de succión.</p> <p>Se produce desalineamiento.</p>	


Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.3. Análisis de Modos y Efectos de Fallas. (2/4).

Hoja de Información	Hoja: 2 De: 4	Unidad: 12	Realizado por: López Itsanery Rodríguez Alloca	
		Equipos: Pump 12P- 001 A/B/C	Revisado por: Carlos Pérez	
FUNCION	FALLO FUNCIONA L	MODO DE FALLO	EFECTOS DE FALLAS	
TRANSFERIR DE FORMA CONTINUA EL RESIDUO DE VACIO DESDE LA FRACCIONADOR A HASTA EL HORNO DE COQUER A 750 PSI DE DESCARGA.	No se envía fluido al horno de coque.	Insuficiencia en el ajuste de la prensa estopa.  Empacaduras o sellos muy ajustados	<p>Disminuyen los niveles de fluido en los tambores de coque.</p> <p>No hay descarga de coque.</p> <p>Se producen vibraciones por lo que el detector de vibraciones detiene el equipo automáticamente.</p> <p>Se sobrecarga el motor, por lo que aumenta el consumo de energía.</p> <p>Se incrementa la temperatura del eje, por lo que es posible que las Empacaduras y los rodamientos se quemem.</p>	


Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.4. Análisis de Modos y Efectos de Fallas. (3/4).

Hoja de Información	Hoja: 3 De: 4	Unidad: 12	Realizado por: López Itsanery Rodríguez Alloca	
		Equipos: Pump 12P- 001 A	Revisado por: Carlos Pérez	
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONA L	MODO DE FALLO	EFECTOS DE FALLAS	
TRANSFERIR DE FORMA CONTINUA EL RESIDUO DE VACIO DESDE LA FRACCIONADOR A HASTA EL HORNO DE COQUER A 750 PSI DE DESCARGA.		Fuga de válvula de calentamiento  Rodamientos defectuosos.  Engrase de rodamiento excesivo o deficiente	Disminuye el desempeño de la bomba. Existe entrada de aire a lo largo del eje.  Los rodamientos con defectos de pista, bola o rodillo normalmente ocasionan ruido y una vibración de alta frecuencia.  Produce recalentamiento y fallas en el rodaje.  Aumenta el consumo de energía del motor y disminuye la potencia transferida a la bomba.  Se produce una fuga excesiva de líquido y disminuye la presión del fluido y el líquido entra en contacto con los rodamientos, lo que acelera su deterioro.	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.5. Análisis de Modos y Efectos de Fallas. (4/4).

Hoja de Información	Hoja: 4 De: 4	Unidad: 12	Realizado por: López Itsanery Rodríguez Alloca	
		Equipos: Pump 12P-001A	Revisado por: Carlos Pérez	
FUNCION	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTOS DE FALLAS	
TRANSFERIR DE FORMA CONTINUA EL RESIDUO DE VACIO DESDE LA FRACCIONADORA HASTA EL HORNO DE COQUER A 750 PSI DE DESCARGA.	El motor no arranca o lo hace con dificultad.	Eje doblado.	Aumenta el consumo de corriente y disminuye el voltaje del motor. También es posible que, el protector de voltaje del panel de control corte el suministro de corriente deteniendo el bombeo.  Se producen altos niveles de vibración que se le transmiten a la bomba y el detector de vibraciones de esta detiene el equipo automáticamente.	
TOTAL	1	4	8	17

Fuente: Elaboración propia.



Después de haber realizado el Análisis de Modos y Efectos de Fallas, se muestran todos los resultados de cada bomba en estudio en la tabla 4.6, teniendo un total de fallas funcionales y modos de fallas.

**Tabla 4.6. Resumen del AMEF de las bombas P001 A/B/C.**

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla
Bomba centrífuga P001A	1	4	8	17
Bomba centrífuga P001B		2	6	7
Bomba centrífuga P001C		3	4	8
TOTAL	1	9	18	32

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.5. Determinación de las frecuencias de inspección y ejecución de las actividades del programa de mantenimiento.**

En esta sección se determinaron las frecuencias con que se deben realizar las actividades del programa de mantenimiento para el desempeño óptimo de los equipos bajo estudio. Teniendo en cuenta que la frecuencia de inspección describe la periodicidad con que deban realizarse dichas actividades.

Para determinar las frecuencias de las actividades, el equipo natural de trabajo tomó en cuenta el AMEF, las fallas más críticas, los resultados de la Distribución de Weibull y la experiencia de los operadores de los equipos a

fin de que se obtuviera tiempos de frecuencias acordes y óptimos para la realización de las inspecciones.

Para la selección de las actividades se contó con la experiencia de los operadores de las bombas, con los registros de fallas de las mismas y con los resultados del AMEF de los cuales se tomaron en cuenta los modos de fallas más relevantes considerados por el equipo natural de trabajo; esto con la finalidad de determinar actividades que nos permitan atacar la presencia de dichas fallas.

La elaboración del programa de mantenimiento de las bombas P001 A/B/C se dividió en 12 meses de 4 semanas cada uno. Las actividades se agruparon por frecuencia, comenzando por las actividades diarias hasta las que se realizan anualmente.

Cabe resaltar que el programa no fue construido solo basándose en las características de las fallas y las frecuencias asociadas a las diferentes tareas, también se tomaron en cuenta otros factores tales como la flexibilidad operacional, horas hombres necesarias para ejecutar la actividad y por último las posibilidades reales de alcanzar el cumplimiento de dicho programa de acuerdo a la cantidad de trabajo en la unidad 12 del área 20 de la planta PETROPIAR.

Se presenta a continuación las tablas de actividades del mantenimiento propuesto, tomando como ejemplo una hoja de información y dejando las demás en el anexo C:

Tabla 4.7. Programa de mantenimiento diario.

		PROGRAMA DIARIO DE MANTENIMIENTO PROPUESTO			
		Equipo: Bomba P001 A/B/C		Realizado por: López Itsanery y Rodríguez Alloca	
Actividad	Condición del Equipo		Duración de la actividad (min)	Condición encontrada	Responsable de la acción
	Encendido	Apagado			
Tomar lectura de presión de succión y de descarga	X		Estimado: 5 Real:		Operador
Detectar presencia de fugas de la válvula de calentamiento	X		Estimado: 2 Real:		Operador
Realizar análisis de vibración para detectar anomalías	X		Estimado: 40 Real:		Operador
Chequear estado y alineación de los ejes	X		Estimado: 20 Real:		Operador

Fuente: Elaboración propia.

## **CONCLUSIONES.**

1. El mantenimiento que se le aplica a las bombas P001 A/B/C es 100% correctivo.
2. Las bombas presentan 3 fallas operacionales críticas, las cuales son las mismas para cada una de ellas.
3. Por medio de las graficas en el papel de Weibull los niveles de criticidad de las bombas P001A/B/C indicaron un valor mayor que 1, que refleja que los equipos están en edad de envejecimiento.
4. Con la aplicación del AMEF fue posible detectar las causas de fallas potenciales y realizar una estimación de su efecto sobre todo el sistema, obteniendo 1 función, 9 fallas funcionales y 18 modos de falla.
5. Las fallas operacionales representan el 100% de los modos de fallas en el subsistema de las bombas P001 A/B/C.
6. El plan de mantenimiento preventivo propuesto para las bombas fue elaborado desde un plan diario hasta un plan anual, tomando en cuenta desde las fallas más críticas hasta las menos críticas.

## **RECOMENDACIONES.**

1. Aplicar el plan de mantenimiento propuesto, para así cambiar de un sistema netamente correctivo, a un sistema preventivo para tener un mayor control de las actividades que se les coordinen a las bombas P001 A/B/C.
2. Elaborar prácticas operativas con la finalidad de que el personal de ejecución se adiestre en los procedimientos para realizar las actividades de mantenimiento.
3. Definir los recursos disponibles en cuanto a materiales, equipos, mano de obra y personal calificado, de manera que facilite el control de las actividades y la ejecución de las mismas.

## BIBLIOGRAFÍA.

Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación* (5ª ed.). Caracas: Episteme.

Ascanio, A. (2002). *Aplicación de la metodología centrado en confiabilidad en la Planta Cemex Pertigalete II*. Trabajo de Grado no publicado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.

Basantes, L. (2004). *Diseño de un plan de mantenimiento para los sistemas de aguas blancas PDVSA Gas Distrito Anaco, utilizando la técnica mantenimiento centrado en confiabilidad*. Trabajo de Grado no publicado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.

Cimbala y Çengel. (2006). *Mecánica De Fluidos Fundamentos y Aplicaciones* (4º ed.). México: Mc Grawhill.

Guerra, E. (2007). *Diseño de un mantenimiento preventivo basado en la filosofía MCC para una planta incineradora*. Trabajo de Grado no publicado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.

Guaregua, A. (2008). *Diseño de un Plan de Mantenimiento en una planta de producción de Metanol Liquido en función de su contexto operacional*. Trabajo de Grado no publicado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.

Hernández, J. (2005). *Elaboración de un Plan de Mantenimiento Preventivo para los equipos que conforman las redes de distribución aéreas de una empresa de energía eléctrica*. Trabajo de Grado no publicado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.

- Hlal, J. (2008). *Elaboraciones de planes de mantenimiento basados en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad a las bombas de las unidades de valcos R.P.L.C.* Trabajo de Grado no publicado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.
- Mataix, C. (2006). *Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas* (2ª ed.). Ciudad de México: Alfaomega.
- Mejías, M. (2001). *Diseño y programación de estrategias a mantenimiento aplicando la metodología MCC.* Trabajo de Grado no publicado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.
- Petrolera Ameriven. (2005). *Notificación de Riesgos Ocupacionales.* Puerto Píritu. Jay Bogadi.
- Planchart, T. (2008). *Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo basado en la confiabilidad para el sistema de bombeo en el Poliducto SISOR en la Planta de distribución de combustible en Puerto La Cruz.* Trabajo de Grado no publicado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.
- Potter y Wingert. (2002). *Mecánica De Fluidos* (3º ed). México: Editorial Thomson.
- Solórzano, N. (2003). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo para las válvulas de control y transmisores electrónicos de la unidad de procesos a una planta mejoradora de crudo.* Trabajo de Grado no publicado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.
- Suarez, D. (2001). *Mantenimiento Mecánico. Guía teórico Práctico.* Trabajo no publicado, Universidad De Oriente, Puerto L a Cruz.

Suarez, D. (2008). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Trabajo no publicado, Universidad De Oriente, Puerto La Cruz.



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

<b>TÍTULO</b>	<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS BOMBAS CENTRIFUGAS P001A/B/C DEL PROCESO DE COQUIFICACION DE UNA PLANTA MEJORADORA DE CRUDO EN EL ESTADO ANZOATEGUI.</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
<b>LOPEZ. J., ITSANERY. J.</b>	<b>CVLAC: 18.572.394 E MAIL: SHISCAR@HOTMAIL.COM</b>
<b>RODRIGUEZ. R., ALLOCA. Y.</b>	<b>CVLAC: 16.719.924 E MAIL: ALLOCAYRR@HOTMAIL.COM</b>
	<b>CVLAC: E MAIL:</b>
	<b>CVLAC: E MAIL:</b>

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

---

MANTENIMIENTO

---

---

COQUIFICACION

---

---

ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS

---

---

DISTRIBUCION DE WEIBULL

---

---

BOMBAS CENTRIFUGAS

---

---

REGISTRO DE FALLAS

---

---

---

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

ÁREA	SUBÁREA
INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS	
	INGENIERIA DE SISTEMAS

**RESUMEN (ABSTRACT):**

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.

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

**CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
<b>HECTOR., E. MOSISES. B.</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS: X</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>8.277.670</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
<b>MARIA GUEVARA</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU: X</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>8.853.210</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>MARIAGF45@HOTMAIL.COM</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
<b>LUIS FELIPE ROJAS</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU:X</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>10.945.922</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>2010</b>	<b>06</b>	<b>29</b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

LENGUAJE. SPA

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

**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.Plan de mantenimiento preventivo.doc	Application/msword

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

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

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

\_\_\_\_\_  
INGENIERO DE SISTEMAS

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

\_\_\_\_\_  
PREGARADO

**ÁREA DE ESTUDIO:**

\_\_\_\_\_  
DEPARTAMENTO DE COMPUTACION Y SISTEMAS

**INSTITUCIÓN:**

UNIVERSIDAD DE ORIENTE/NUCLEO ANZOATEGUI

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

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajo de grado:

“Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad De Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

LOPEZ, ITSANERY.

**AUTOR**

RODRIGUEZ, ALLOCA.

**AUTOR**

MOISES, HECTOR.

**TUTOR**

MARIA GUEVARA.

**JURADO**

LUIS. F. ROJAS.

**JURADO**

LUIS FELIPE ROJAS.

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**