



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO APLICANDO INGENIERÍA DE LA FIABILIDAD EN LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE DIÉSEL UTILIZADOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA EMPRESA PETRORIENTAL S.A.**

**BYRON FROILAN BAUTISTA TONATO**

Trabajo de titulación modalidad proyecto de investigación y desarrollo presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGISTER DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

Riobamba-Ecuador

Enero 2017

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**CERTIFICACIÓN:**

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO APLICANDO INGENIERÍA DE LA FIABILIDAD EN LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE DIÉSEL UTILIZADOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA EMPRESA PETRORIENTAL S.A. , de responsabilidad del señor Byron Froilán Bautista Tonato, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

**Dr. Fredy Proaño O.; PhD.**

**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_

**Ing. Gloria Miño Cascante; PhD.**

**DIRECTORA**

\_\_\_\_\_

**Ing. Carlos Santillán Mariño; M.Sc.**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

**Ing. Jorge Freire Miranda; M.Sc.**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Byron Froilán Bautista Tonato soy el responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual de la tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**BYRON FROILAN BAUTISTA TONATO**  
No. Cédula: 180360813-0

©2017, Byron Froilán Bautista Tonato

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Byron Froilán Bautista Tonato, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

---

BYRON FROILAN BAUTISTA TONATO  
No. Cédula: 180360813-0

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios: Por acompañarme y darme la fuerza necesaria para cumplir con los objetivos planteados.

A mi familia por ser el pilar más importante en mi vida.

Al Instituto de Postgrado y Educación Continua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y todo su cuerpo docente .Por guiarme en el camino de profesionalización.

A PETRORIENTAL S.A por hacer lo posible para la ejecución y culminación de este presente trabajo que para ellos es de gran importancia.

A mis compañeros y amigos: Por convertirse en parte de mi vida y hacer del periodo una experiencia inolvidable.

Byron

## CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
SUMARY .....	xiv
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN, PROBLEMA, OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Problema de investigación.....	1
1.3. Planteamiento de Investigación .....	2
1.4. Formulación del Problema.....	6
1.5. Sistematización del Problema .....	6
1.6. Justificación de la investigación: Teórico, Metodológico y Práctico .....	6
1.7. Objetivo general.....	7
1.8. Objetivos específicos .....	7
1.9. Hipótesis.....	7
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>8</b>
<b>2. MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1. Fiabilidad .....	8
2.2. Normas y procedimientos de inspección.....	9
2.2.1. API 653 ( <i>Instituto americano del petróleo</i> ).....	10
2.2.2. ASME ( <i>Sociedad americana de ingenieros mecánicos</i> ) .....	10
2.2.3. NTP ( <i>Normas técnicas de prevención</i> ).....	10
2.2.4. ANSI ( <i>Instituto Americano de normalización</i> ).....	10
2.3. Perforación, Reacondicionamiento y Producción.....	10
2.4. Exploración.....	11
2.5. Manejo de Gas. ....	11
2.6. Mantenimiento de Presión. ....	12
2.7. Bloque Sur.....	12
2.8. Bloque 14.....	13
2.9. Bloque 17.....	14
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>15</b>
<b>3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO APLICANDO INGENIERÍA DE LA FIABILIDAD EN LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE DIÉSEL UTILIZADOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA EMPRESA PETRORIENTAL S.A. ....</b>	<b>15</b>
3.1. Tipo de estudio .....	15
3.2. Método de investigación .....	15
3.3. Fuentes .....	15
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información. ....	16

<b>3.5. Matriz de consistencia .....</b>	<b>16</b>
<i>3.5.1. Etapa 1: Información técnica de los tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en la empresa petroriental s.a. ....</i>	<i>17</i>
<i>3.5.2. Etapa 2: Codificación de los equipos de los tanques. ....</i>	<i>21</i>
<i>3.5.3. Etapa 3: Listado de funciones y sus especificaciones.....</i>	<i>27</i>
<i>3.5.4. Etapa 4: Determinación de los fallos .....</i>	<i>28</i>
<i>3.5.5. Etapa 5: Determinación de los modos de fallos.....</i>	<i>29</i>
<i>3.5.6. Etapa 6: Estudio de las consecuencias de los fallos: criticidad. ....</i>	<i>41</i>
<i>3.5.7. Etapa 7: Establecimiento jerárquico de los fallos ocurridos.....</i>	<i>45</i>
<i>3.5.8. Etapa 8: Índice de fiabilidad .....</i>	<i>50</i>
<i>3.5.9. Etapa 9: Determinación de las medidas preventivas. ....</i>	<i>51</i>
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>52</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1. Plan de mantenimiento aplicando ingeniería de la fiabilidad en los tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en la empresa petroriental S.A.....</b>	<b>53</b>
<i>4.1.1. Inspecciones .....</i>	<i>54</i>
<i>4.1.2. Base de datos .....</i>	<i>55</i>
<i>4.1.3. Mantenimientos con acciones preventivas.....</i>	<i>60</i>
<i>4.1.4. Ordenes de trabajo .....</i>	<i>62</i>
<b>4.2. Algoritmo de intervención en mantenimiento preventivo de tanques de combustible.....</b>	<b>63</b>
<b>4.3. Comparación de los costos de mantenimiento con y sin la ingeniería de la fiabilidad....</b>	<b>63</b>
<b>4.4. Aplicación mantenimiento basado en fiabilidad 2016-2017.....</b>	<b>67</b>
<b>4.5. Comprobación de la hipótesis.....</b>	<b>67</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>GLOSARIO</b>	
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Paradas de grupos electrógenos del Bloque 14.....	4
<b>Tabla 2-1</b>	Paradas de grupos electrógenos del Bloque 17.....	5
<b>Tabla 3-3</b>	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	16
<b>Tabla 4-3</b>	Matriz de consistencia .....	16
<b>Tabla 5-3</b>	Etapas de Mantenimiento Basadas en Fiabilidad.....	17
<b>Tabla 6-3</b>	Tanques de almacenamiento del Bloque 14; Petroriental.....	18
<b>Tabla 7-3</b>	Tanques de almacenamiento del Bloque 17; Petroriental.....	18
<b>Tabla 8-3</b>	Codificación de elementos que conforman un tanque .....	21
<b>Tabla 9-3</b>	Listado de funciones y sus especificaciones.....	28
<b>Tabla 10-3</b>	Horas de fallo por elementos .....	39
<b>Tabla 11-3</b>	Fallos de los elementos por cantidades:.....	40
<b>Tabla 12-3</b>	Matriz de criticidad.....	41
<b>Tabla 13-3</b>	Codificación de modos de fallo.....	42
<b>Tabla 14-3</b>	Matriz de criticidad con datos Empresa Petroriental S.A.....	44
<b>Tabla 15-3</b>	Valores para calificación de la matriz de criticidad.....	45
<b>Tabla 16-3</b>	Fiabilidad de los componentes en los años 2014 y 2015.....	50
<b>Tabla 17-4</b>	Frecuencias de inspección para tanques .....	54
<b>Tabla 18-4</b>	Ejemplo de base de datos de tanques de combustible.....	56
<b>Tabla 19-4</b>	Tabla de registro de datos en función hodómetro.....	58
<b>Tabla 20-4</b>	Tiempo de inspección de los elementos de un tanque de combustible.....	61
<b>Tabla 21-4</b>	Producción de Crudo del Bloque sur de los años 2014-2015-2016-2017.....	64
<b>Tabla 22-4</b>	Consumo y Costo de combustible entregado para equipos del Bloque Sur años 2014 -2015-2016-2017.....	64
<b>Tabla 23-4</b>	Producción de petróleo con respecto a cada tanque de combustible en los años 2014-2015-2016-2017.....	65
<b>Tabla 24-4</b>	Costos de mantenimiento y pérdida de producción de los años 2014-2015 .....	66

<b>Tabla 25-4</b> Costos de mantenimiento y pérdida de producción con aplicación de fiabilidad de los años 2016-2017 .....	66
<b>Tabla 26-4</b> Comparación de costos 2014 - 2017.....	67
<b>Tabla 27-4</b> Datos observados y esperados. ....	68
<b>Tabla 28-4</b> Calculo de Chi cuadrado.....	69
<b>Tabla 29-4</b> Distribución Chi cuadrado .....	71

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b>	Campos de operación de Petroriental (CB 14 y CB 17); Andespetroleum Cía. Ltda. (Tarapoa).....	2
<b>Figura 2-1</b>	Esquema de almacenamiento y distribución de Diésel .....	2
<b>Figura 3-2</b>	Exploración de campos para perforación .....	11
<b>Figura 4-2</b>	Operaciones Bloque sur (Bloque 14 y Bloque 17).....	13
<b>Figura 5-2</b>	Áreas de proceso Bloque 14.....	14
<b>Figura 6-2</b>	Área de proceso del Bloque 17 .....	14
<b>Figura 7-3</b>	Placa de identificación de tanque de Diésel .....	18
<b>Figura 8-3</b>	Tanques de almacenamiento del Bloque 14; Petroriental. ....	19
<b>Figura 9-3</b>	Tanques de almacenamiento del Bloque 17; Petroriental. ....	20
<b>Figura 10-3</b>	Sistema estructural de un tanque.....	23
<b>Figura 11-3</b>	Techo Fijo de tanque de combustible.....	23
<b>Figura 12-3</b>	Escalera y pasamano en un tanque .....	25
<b>Figura 13-3</b>	Partes y características de un Manhole.....	26
<b>Figura 14-3</b>	Flotador de un Tanque.....	27
<b>Figura 15-3</b>	Sumidero y líneas en un Tanque .....	27
<b>Figura 16-3</b>	Horas y Porcentaje de fallos de los anillos.....	31
<b>Figura 17-3</b>	Número de fallos de los anillos. ....	31
<b>Figura 18-3</b>	Horas y Porcentaje de fallos en las bases. ....	32
<b>Figura 19-3</b>	Número de fallos en las bases .....	32
<b>Figura 20-3</b>	Horas y Porcentajes de fallos de los soportes.....	33
<b>Figura 21-3</b>	Numero de fallos de los soportes .....	33
<b>Figura 22-3</b>	Horas y Porcentajes de fallos de los techos.....	34
<b>Figura 23-3</b>	Número de fallos en los techos. ....	34
<b>Figura 24-3</b>	Horas y Porcentajes de fallo en las escaleras. ....	35
<b>Figura 25-3</b>	Número de fallos en las escaleras.....	35

<b>Figura 26-3</b>	Horas y Porcentajes de fallo de los Manholes.....	36
<b>Figura 27-3</b>	Número de fallos en los Manholes. ....	36
<b>Figura 28-3</b>	Horas y Porcentajes de fallo de los Flotadores.....	37
<b>Figura 29-3</b>	Número de fallos de los flotadores.....	37
<b>Figura 30-3</b>	Horas y Porcentajes de fallo de los sumideros. ....	38
<b>Figura 31-3</b>	Número de fallos de los sumideros .....	38
<b>Figura 32-3</b>	Número de horas de fallo por elemento .....	39
<b>Figura 33-3</b>	Cantidad de fallos por elemento.....	40
<b>Figura 34-3</b>	Valoración gráfica de implicaciones de seguridad.....	46
<b>Figura 35-3</b>	Valoración gráfica de implicaciones de ambiente.....	47
<b>Figura 36-3</b>	Valoración gráfica de las implicaciones de producción. ....	48
<b>Figura 37-3</b>	Valoración gráfica de las implicaciones de mantenimiento. ....	50
<b>Figura 38-4</b>	Algoritmo de mantenimiento de Tanques .....	63

## RESUMEN

Realizar un análisis de mantenimiento aplicando Ingeniería de la Fiabilidad en los Tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en los Bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A. Se tomó la información técnica de los 23 tanques. Con la información recolectada se realizó el análisis de las funciones de los elementos de los tanques para poder establecer sus anti funciones (fallos), que conlleva a detectar la causa que hace que ocurran los mismos, a lo que es conocido como modo de fallo. Después de que se tuvo ya el análisis anterior se procedió a realizar los cálculos para la determinación de los tiempos en los cuales ocurre cada fallo de los elementos del tanque que también es conocido como tiempo medio entre fallos. Gracias a los tiempos calculados las inspecciones planificadas a los elementos del tanque se las realizaron antes de que pudiera ocurrir nuevamente un fallo, estas inspecciones se hizo usando los ítems que mencionan la normativa de reconstrucción alteración y modificación de tanques API 653. Para el sistema estructural se obtuvo 144 horas de tiempo medio entre fallos del elemento anillos que es el valor más alto, y el sistema de accesorios en el cual el elemento sumidero es el que presenta el mayor tiempo entre fallos con 24 horas. Con el trabajo realizado se concluye que los tiempos medios entre fallos aumentan debido a que se tiene previsión de que el fallo se pueda evitar y se realice solo inspecciones o tareas de mantenimiento preventivo. Para la empresa Petroriental se recomienda poner en práctica este plan de mantenimiento basado en fiabilidad tanto en el bloque 14 así como en el 17.

Palabras clave: <INGENIERÍA DE FIABILIDAD><TANQUES DE DIESEL><INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO><EMPRESA PETRORIENTAL> <PLAN DE MANTENIMIENTO><><INSPECCIÓN DE TANQUES><FRANCISCO DE ORELLANA (CANTÓN)>

## ABSTRACT

To carry out a maintenance analysis applying reliability engineering in the tanks for storing diesel which is used to generate energy for the blocks 14 and 17 at Petrooriental S. A. For this, it was necessary to collect the technical information of 23 tanks. With the information, an analysis of the functions of tank elements was carried out in order to establish their anti-functions (failures), which led to detect the cause for such failures; this is known as failure mode. After obtaining the previous analysis, it was necessary to make the calculations to determine the time in which each failure of the tank elements occurs which is also known as average time between failures. Due to the time calculated the inspections planned to the tank elements were carried out before a failure could occur again, these inspections were based on the items mentioned in the API 653 norm for reconstruction, alteration, and modification of tanks. For the structural system, an average time of 144 hours was obtained between failures of the rings element with the highest value and the accessories system in which the sink element reflects a higher time between failures with 24 hours. With the research carried out, it is concluded that the average time between failures increases since it is taken into account that the failure could be avoided, therefore inspections and preventive maintenance tasks are carried out. It is recommended that Petrooriental company implements this maintenance plan based on the reliability in both, block 14 and 17.

Key words: RELIABILITY ENGINEERING, PETROORIENTAL COMPANY, MAINTENANCE PLAN, TANKS INSPECTIONS, FRANCISCO DE ORELLANA (COUNTY)

## **GLOSARIO**

API 575: (Instituto americano del petróleo): Inspección de tanques atmosféricos.

API 650: (Instituto americano del petróleo): Soldadura de tanques de almacenamiento.

API 653: (Instituto americano del Petróleo): Inspección, reparación, alteración y reconstrucción de tanques de acero.

ASME B31.4 (Sociedad americana de Ingeniería mecánica): Sistema de transportación de líquidos hidrocarbúricos.

EMERSON.- Mantenimiento basado en fiabilidad.

AEC.-Concepto de fiabilidad.

INGEMAN.- Técnicas de Ingeniería de Fiabilidad Aplicadas al Proceso de Optimización del Mantenimiento.

MAPFRE.- Ingeniería de fiabilidad y análisis de riesgos.

NTP316.- Fiabilidad de componentes.

TMEF- Tiempo medio entre fallas

MTFB- Tiempo medio entre fallas

TMPF.- Tiempo medio para la fallas

TMPR.- Tiempo medio para la reparación

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN, PROBLEMA, OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

### 1.1. Introducción

Andespetroleum Ecuador Ltd. y Petroriental S.A se han constituido y fortalecido juntas para realizar su trabajo en un área sensible y mega diversas del Ecuador, interactúan diariamente con comunidades ancestrales que mantienen una particular y rica relación con la naturaleza.

Hace siete años llegaron al Ecuador y se han constituido por su reputación en una empresa que promete el respeto irrestricto a la naturaleza, es una empresa que respeta a las comunidades y sociedades en su conjunto.

El beneficio económico no es lo que mueve a Andespetroleum sino es la satisfacción de apoyar y comprometer su trabajo y valor a apoyar al pueblo ecuatoriano.

La empresa nace en el 2006, realiza sus operaciones en el Bloque Tarapoa y en la estación de Almacenamiento y transferencia de Lago Agrio que se encuentran ubicados en la provincia de Sucumbíos.

La presente tesis se centrara en los Bloques 14 y 17. La expectativa siempre de la empresa es la de aumentar las reservas y conservarlas, así como hacer más productiva su labor, evitar el costo excesivo, y reducir las paradas que existen en la producción. Es por eso que a lo largo de la presente tesis se irán evaluando los bloques y cuáles serían los factores que contribuirían a que no existan pérdidas económicas y como se lograría evitar o contrarrestar las paradas del proceso que hacen que la producción se detenga.

### 1.2. Problema de investigación

Petroriental S.A. opera en los Bloques 14 y 17 en la provincia de Orellana y Pastaza, Estas empresas han sido formadas con aportes accionarios de las empresas estatales de la República Popular China: China National Petroleum Corporation (CNPC) en el 55% y China Petrochemical Corporation (SINOPEC), en el 45%. Andespetroleum y Petroriental en el Ecuador desde el año 2006 y ha articulado un compacto equipo multicultural, eficaz, talentoso, sumamente profesional, responsable de los altos estándares productivos y cualitativos demostrados a lo largo de este período. Se dispone además del 36.26% de las acciones del Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) que opera desde el 2003 por gestión de empresa privada y es el segundo oleoducto principal que tiene el país para transportar crudo desde la amazonia hasta la costa ecuatoriana. Todos estos años de gestión, los aportes de la producción petrolera y tributaria de Andespetroleum

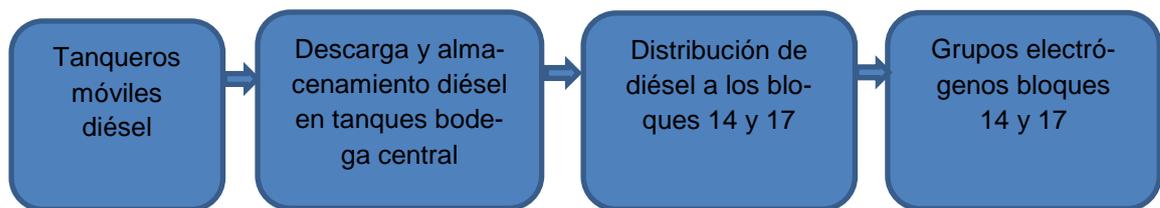
Ecuador Ltd. y Petroriental S.A han significado importantes ingresos a las arcas fiscales del país, con lo que han contribuido sustantivamente al desarrollo nacional, a continuación en la Figura 1-1 los Campos de operación de Petroriental (CB14 y CB 17); Andespetroleum Cía. Ltda. (Tarapoa).



**Figura 1-1:** Campos de operación de Petroriental (CB 14 y CB 17).  
Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

### 1.3. Planteamiento de Investigación.

Para la explotación de petróleo se necesita de equipos que utilizan electricidad, misma que es auto generada a través de grupos electrógenos que funcionan a base de diésel, este combustible es adquirido por Petroriental S.A por medio de proveedores, que descargan y se almacena en los tanques de Bodega Central, desde donde se distribuyen a los Bloques 14 y 17 como se muestra en la Figura 2-1.



**Figura 2-1:** Esquema de almacenamiento y distribución de diésel.  
Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

En el Bloque 14 se tiene un total de 10 tanques de diésel estos distribuidos entre 2 locaciones y 7 plataformas.

En el Bloque 17 se tiene un total de 19 tanques de diésel estos distribuidos entre 6 locaciones y 7 plataformas.

Estos dos campos constituyen el Bloque Sur. En la empresa Petroriental S.A. durante los dos últimos años 2014 – 2015 se ha tenido 125 PARADAS de los equipos electrógenos en los dos Bloques 14 y 17, los cuales retrasan la producción de petróleo.

Una vez ejecutados el mantenimiento correctivo en los Bloques 14 y 17 de los grupos electrógenos, se encontró en su sistema de inyección de combustible lo siguiente: Sedimentos, Agua y Partículas metálicas. Los cuales tienen relación directa con el sistema de almacenamiento de diésel, de acuerdo a la tabla 1 y tabla 2: Paradas de grupos electrógenos del Bloque 14 y Bloque 17.

**Tabla 1-1:** Paradas de grupos electrógenos del Bloque 14.

EQUIPOS ELECTROGENOS CB14											
N°	Locación	BLOQUE	Tag Number	DESCRIPCIÓN	# PARADAS 2014			# PARADAS 2015			TOTAL PARADAS
					Partículas metálicas	Agua	Sedimentos	Partículas metálicas	Agua	Sedimentos	
1	CDP	CB14	EMV-GCV03	Caterpillar 3306 Genset A	0	1	1	0	1	1	4
2			EMV-GCV04	Caterpillar 3306 Genset B	0	1	0	1	1	0	3
3			ECD-SKID-P-620C	Water Injection Pump Skid 3412	0	0	1	0	0	1	2
4			ECD-SKID-P-570	Water Injection Pump Skid 3512	0	0	0	0	0	0	0
5			ECD-SKID-P-580	Water Injection Pump Skid 3512	0	0	0	0	0	0	0
6			ECD-SKID-P-590	Water Injection Pump Skid 3512	0	0	0	0	0	0	0
7	NANTU B	CB14	EMV-GCV60	Power Generator Caterpillar 3508	0	0	1	0	0	1	2
8	NANTU D	CB14	EMV-GCV63	Caterpillar Genset 3508	0	0	1	0	0	1	2
9			EMV-GCV64	Caterpillar Genset 3508	0	0	1	0	0	1	2
10	SHIRIPUNO D	CB14	EMV-GCV02	Power Generator Skid 3306	0	0	0	0	1	0	1
11	KUPI A	CB14	EMV-GCV44	Power Generator Caterpillar 3412	0	1	0	0	1	1	3
12	WANKE A	CB14	EMV-GCV61	Power Generator Caterpillar 3508	0	0	1	0	1	1	3
13			EMV-GCV65	Caterpillar Genset 3508	0	0	1	0	0	1	2
14	PENKE B	CB14	EMV-GCV70	Caterpillar Genset 3512	0	0	2	0	0	2	4
15	SUNKA A	CB14	EMV-GCV62	Caterpillar Genset 3508	1	1	0	0	1	0	3
16	SUNKA B	CB14	EMV-GCV41	Power Generator Caterpillar 3412	0	1	0	0	1	0	2
<b>TOTAL DE PARADAS</b>					<b>1</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>33</b>

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

**Tabla 2-1:** Paradas de grupos electrógenos del Bloque 17.

EQUIPOS ELECTROGENOS CB17											
N°	Locación	BLOQUE	Tag Number	DESCRIPCIÓN	# PARADAS 2014			# PARADAS 2015			TOTAL PARADAS
					Partículas metálicas	Agua	Sedimentos	Partículas metálicas	Agua	Sedimentos	
1	Kupi Camp	CB17	EMV-GCV40	Power Generator Caterpillar 3412 E	0	1	0	0	1	0	2
2			EMV-GCV43	Power Generator Caterpillar 3412	0	1	0	0	0	1	2
3	CPH	CB17	EMV-GCV47	Power Generator Caterpillar 3412	0	1	0	0	1	0	2
4	NANTU C	CB17	EMV-GCV42	Power Trailer / Caterpillar 3412	0	1	0	0	1	0	2
5	PINDO	CB17	EMV-GCV45	Power Generator Caterpillar 3412	0	1	0	0	0	1	2
6			EMV-GCV46	Power Generator Caterpillar 3412	0	1	0	0	0	1	2
7	Tampir A	CB17	EMV-GCV72	Caterpillar Genset 3512	0	0	0	0	0	1	1
8			EPE-JPV05	Jet Pump C/W Caterpillar 3306 Agua	0	0	0	0	0	1	1
9			EPE-JPV07	Jet Pump C/W Caterpillar 3306 <u>Agua</u>	0	0	0	0	0	1	1
10			EPE-JPV11	Jet Pump C/W Caterpillar 3406 <u>P O</u>	0	0	0	0	0	1	1
11	TAPIR B	CB17	EMV-GCV01	Power Generator Skid 3306	0	0	0	0	0	1	1
12			EMV-GCV21	Caterpillar 3406 Genset	0	0	0	0	1	0	1
13	Homiguero A	CB17	EMV-GCV20	Caterpillar 3406 Genset	0	0	0	0	0	1	1
14	Homiguero B	CB17	EPE-JPV09	Jet Pump C/W Caterpillar 3406 <u>Crudo</u>	0	0	1	0	2	1	4
15	Hormiguero C	CB17	EMV-GCV81	Caterpillar Genset 3516	1	0	1	0	1	3	6
16			EMV-GCV83	Caterpillar Genset 3516	0	2	2	0	0	3	7
17			EMV-GCV84	Caterpillar Genset 3516	1	2	2	1	2	2	10
18			EMV-GCV85	Jinan Genset 640GF	0	3	2	0	2	1	8
19			EPE-JPV08	Jet Pump C/W Caterpillar 3306 <u>Crudo</u>	0	1	0	0	0	1	2
20	Hormiguero D	CB17	EMV-GCV75	Caterpillar Genset 3512	0	0	2	0	0	2	4
21			EMV-GCV76	Caterpillar Genset 3512	1	0	3	1	0	2	7
22			EMV-GCV77	Jinan Genset 640GF	0	0	2	0	0	3	5
23	Hormiguero Sur	CB17	EMV-GCV73	Caterpillar Genset 3512	0	1	0	0	1	2	4
24			EMV-GCV74	Caterpillar Genset 3512	0	2	0	0	2	1	5
25	CAMI	CB17	EMV-GCV101	Power Generator Skid Yuchai	0	2	0	0	2	1	5
26	Dis. Medico	CB17	EMV-GCV93	Power Generator Skid John Deere	0	0	1	0	0	1	2
27	Dayuma	CB17	EMV-GCV95	Power Generator Skid John Deere	0	0	1	0	0	1	2
28			EMV-GCV100	Power Generator Skid Yuchai	0	0	1	0	0	1	2
<b>TOTAL DE PARADAS</b>					<b>3</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>34</b>	<b>92</b>

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

Los problemas existentes son los constantes mantenimientos correctivos, la tabla 1 y 2 muestran las paradas ocurridas en los grupos electrógenos se deben a causas que tienen relación directa con el almacenamiento de diésel.

#### **1.4. Formulación del Problema**

¿La falta de un plan de mantenimiento en los tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en los Bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A. provoca paradas en los grupos electrógenos, consecuentemente pérdidas en la producción?

#### **1.5. Sistematización del Problema**

¿La falta de un plan de mantenimiento en los tanques de almacenamiento de combustible diésel provoca paradas en los grupos electrógenos de los Bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A.?

¿Estas paradas en los grupos electrógenos acarrea pérdidas de producción para los Bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A.?

¿La falta de un análisis de mantenimiento aplicando ingeniería de la fiabilidad en los tanques de almacenamiento de combustible diésel provoca pérdidas de producción para los Bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A.?

#### **1.6. Justificación de la investigación: Teórico, Metodológico y Práctico**

Las técnicas de análisis de fiabilidad es aumentar la disponibilidad operacional de los equipos y la seguridad desde el punto de vista funcional.

La fiabilidad se usa para hacer evaluaciones y tomar decisiones y tratar de obtener los resultados reales esperados. Con esto se da un seguimiento a los equipos y se permite observar si cumple con su función en un intervalo especificado y en ciertas condiciones establecidas.

Este mantenimiento consiste en técnicas de detección, sustitución de partes, corrección de anomalías de funcionamiento y reparación de averías. Con la aplicación de la ingeniería de la fiabilidad se logrará el aumento de la disponibilidad operativa de los equipos. El mantenimiento consistirá en realizar cambios de líneas y aplicar correctamente los planes de mantenimiento de tanques. Con esta propuesta se provee reducir los mantenimientos correctivos aplicando normas, procedimientos específicos para este caso la norma API 653 que facilita los temas de inspección, Reparación, Alteración, y Reconstrucción de tanques.

### **1.7. Objetivo general**

Realizar un análisis de mantenimiento aplicando Ingeniería de la Fiabilidad en los Tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en los Bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A.

### **1.8. Objetivos específicos**

- a) Determinar los elementos teóricos acerca de la Fiabilidad en los tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en los Bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A.
- b) Analizar los mantenimientos correctivos desde el año 2014 hasta 2015 en los Bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A.
- c) Evaluar los planes de mantenimiento existentes para los tanques de almacenamiento.
- d) Proponer un plan de mantenimiento basado en Fiabilidad

### **1.9. Hipótesis**

El análisis de mantenimiento aplicando ingeniería de la fiabilidad en los tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en los Bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A. potencia la generación de energía evitando paradas en los grupos electrógenos y por consiguiente evita pérdidas de producción.

## CAPITULO II

### 2. MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO

Petroriental S.A. opera en los Bloques 14 y 17 en la provincia de Orellana, los hidrocarburos que explota Petroriental se localizan a lo largo de la “Cuenca Oriente Ecuatoriana” por la compleja historia de evolución geológica que existe en el Ecuador en las trampas estratigráficas y estructurales situadas en las formaciones Tena, Napo y Orellana. (Petroriental, 2010).

Las actividades de perforación y reacondicionamiento desde el 2006 han logrado conservar exitosamente la producción de todos los Bloques, a pesar del tiempo que ha transcurrido desde que se comenzó a explotar cada uno de ellos, es de ahí donde nace la catalogación de Bloques de campos maduros.

El fin consecuente de la producción de los Bloques tiene como objeto optimizar la producción de petróleo, se están llevando a cabo perforación de pozos horizontales, completaciones duales, separación de agua en el fondo del pozo, control de agua por medio de modificadores de permeabilidad relativa, re-inyección de agua para mantenimiento de presión de los reservorios, entre otros procesos que son importantes para garantizar la producción de petróleo.

A partir de la anterior reflexión y en base a la optimización de la producción del petróleo se profundizará en el estudio de cada uno de los componentes para lograr mantener la producción de petróleo mediante la implementación del análisis de mantenimiento aplicando ingeniería de la fiabilidad en los tanques de almacenamiento de combustible de diésel.

#### 2.1. Fiabilidad

La Fiabilidad se percibe comúnmente como la capacidad de un activo de suministrar largos períodos de rendimiento satisfactorio sin fallos durante su uso. En términos cuantitativos, una gestión eficiente del Mantenimiento permitirá mejorar la Fiabilidad de los activos, incrementando el valor agregado del sistema de producción. El análisis de las diferentes técnicas de Ingeniería de Fiabilidad, es un aspecto fundamental para disminuir la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones del Mantenimiento. (INGEMAN, Técnicas de Ingeniería de Fiabilidad, 2015).

Al aplicar las modernas tecnologías se altera el trabajo de se hace de forma natural del proceso industrial y hace que se generen consecuentemente riesgos que obligan a que sea inminente el cuantificar la fiabilidad o la seguridad de la nueva planta o a mejorar los parámetros existentes

para lograr el menor fracaso o disminución de la tarea que el proceso realice (Creus Solé, 2009, pág. 5).

La Fiabilidad significa menor necesidad de intervención, y puede usarse para determinar el rendimiento de todas las actividades que conciernen al mantenimiento de equipos. En la producción específica del petróleo existe permanentemente inquietudes por lograr la fiabilidad y la seguridad de los procesos necesarios para lograr el cometido de las empresas dedicada a la explotación del petróleo, es decir debe existir una correspondencia entre la interactuación mutua entre los sistemas electrónicos de control y los componentes del proceso. (Creus Solé, 2009, pág. 12).

Para las organizaciones innovadoras, el mantenimiento basado en fiabilidad es la estrategia líder para dar mantenimiento adecuadamente a un establecimiento. Un programa de mantenimiento basado en fiabilidad comienza por establecer una visión o meta de que contribución hará el mantenimiento en una planta. Luego reúne la pericia, los procesos de trabajo y las tecnologías para lograr esa visión.

El mantenimiento basado en fiabilidad MBF es una filosofía de mantenimiento avanzado que diseña balance entre las estrategias de mantenimiento reactivo, preventivo, predictivo y proactivo para maximizar la fiabilidad mientras se reducen los costos de operación y mantenimiento. Es la intención del MBF comprender las relaciones de falla que existen dentro de sistemas de manufactura complejos, y luego concentrar los recursos en lo que es esencial a la operación continua, segura y confiable de la planta. A menudo este objetivo resulta en un aumento a corto plazo en los costos de mantenimiento mientras se corrigen las condiciones deficientes. Luego, los costos de mantenimiento disminuyen a largo plazo. (EMERSON, 2002)

## **2.2. Normas y procedimientos de inspección**

Los llamados procedimientos de inspección se confeccionan “siguiendo las normas nacionales e internacionales que rigen la inspección de los equipos de la industria petrolera, las normas más utilizadas en este medio son: API, ASME Y ASTM. Estas normas son estadounidenses que rigieron en su momento la construcción, inspección y selección de materiales de las instalaciones más antiguas en las nuevas construcciones ya se cuenta con norma cubanas, soviéticas, etc. (Pichardo Martínez , 2010, pág. 23). Para la presente propuesta se realizara el estudio técnico basado en la norma API 653.

### **2.2.1. API 653 (Instituto americano del petróleo)**

Este estándar cubre tanques de acero para almacenamiento construidos bajo el Estándar API 650 y su precursor API 12C. Proporciona requisitos mínimos para mantener la integridad de tanques después de que se hayan colocado en servicio y trata la inspección, reparación, alteración, relocalización, y reconstrucción. Muchos de los diseños, soldadura, inspección y los requerimientos de los materiales de acuerdo con API 650 pueden ser aplicados en la inspección de mantenimiento, toma de datos, reparaciones, y alteraciones de tanques en servicio.

### **2.2.2. ASME (Sociedad americana de ingenieros mecánicos)**

Es un ente de Estados Unidos que ha desarrollado normas de uso técnico no obligatorio, pero que al ser situadas como referenciales de construcción, seguimiento, o practicas por parte de la legislación estadounidense, se convierten en normas de uso obligatorio y estricto cumplimiento.

### **2.2.3. NTP (Normas técnicas de prevención)**

Es una entidad de España en la que se escriben buenas prácticas que no son obligatorias a menos que estén recogidas en una disposición vigente. Para esta normativa española, el mantenimiento consiste en el conjunto de comprobaciones, actuaciones, reemplazos y ajustes que se realizan para que la misma mantenga un nivel de seguridad aceptable y como mínimo acorde con el prescrito en el marco normativo que le sea ajustable.

El mantenimiento preventivo puede ser programado o predictivo, este último cuando está condicionado a la detección precoz de los síntomas de la avería. El mantenimiento programado es "aceptable" preventivamente hablando, mientras que el predictivo es "aceptable" tan solo cuando la fiabilidad de los parámetros de referencia es alta y su medición ofrece garantías. Dentro del mantenimiento preventivo se distinguen las revisiones y comprobaciones previas, las revisiones periódicas y las revisiones generales.

### **2.2.4. ANSI (Instituto Americano de normalización)**

Una norma americana implica una guía para ayudar al fabricante, al consumidor y al público en general.

## **2.3. Perforación, Reacondicionamiento y Producción.**

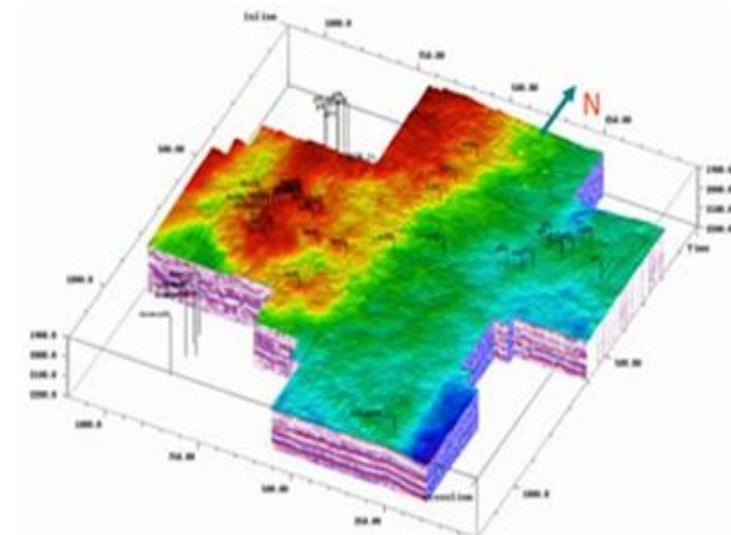
Las actividades de perforación y reacondicionamiento inicia desde el 2006 han conservado exitosamente la producción de nuestros Bloques, a pesar del tiempo transcurrido de explotación en cada uno de ellos, lo que los cataloga como Bloques de campos maduros.

Los campos en el Bloque Tarapoa son desarrollados con altos estándares; el crudo producido se transporta hasta Lago Agrio y desde allí se transporta a través del OCP y/o SOTE hasta las costas de Esmeraldas donde converge la producción de los Bloques 14 y 17.

Con el objeto de optimizar la producción de petróleo, al momento se llevan a cabo avanzados proyectos como perforación de pozos horizontales, completaciones duales (por ejemplo, dos zonas productoras), separación de agua en el fondo del pozo, control de agua por medio de modificadores de permeabilidad relativa, re-inyección de agua para mantenimiento de presión de los reservorios; entre los más importantes. (PETROLEUM, 2012)

#### 2.4. Exploración.

Las actividades de exploración, que puedan añadir valor al potencial de reservas que tiene el Ecuador, al aplicar sucesivas re-interpretaciones sísmicas utilizando atributos matemáticos de última tecnología. Son utilizadas además las tecnologías apropiadas para minimizar el impacto al ambiente y para beneficiar a las comunidades ubicadas en las áreas de acuerdo a la figura 3. (PETROLEUM, 2012).



**Figura 3-2:** Exploración de campos para perforación  
Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

#### 2.5. Manejo de Gas.

El gas natural asociado a la producción de crudo, ha sido quemado tradicionalmente en las operaciones de la cuenca oriental. En nuestros Bloques, este gas se utiliza en la generación de energía minimizando cualquier impacto al ambiente. (PETROLEUM, 2012).

## **2.6. Mantenimiento de Presión.**

Los proyectos de mantenimiento de presión, para la recuperación mejorada, en el Bloque Tара-poa y en los Bloques 14 y 17, los cuales han permitido mejorar la recuperación primaria y optimizar el factor de recobro. Se analizan además, modelos matemáticos de simulación para yacimientos de los tres Bloques, buscando las mejores opciones para manejo de agua y recuperación final de crudo. (PETROLEUM, 2012).

## **2.7. Bloque Sur**

Los Bloques 14 y 17 también conocidos como “Bloques del Sur”, están ubicados en las provincias de Orellana y Pastaza y son operados por la empresa Petroriental S. A.

En el caso del Bloque 14 su adjudicación se remite de 1987 cuando la compañía francesa ELF Hidrocarbures Equateur firmó un contrato de asociación con el estado ecuatoriano para la exploración y producción del Bloque. En 1997, la operación pasa a manos de la empresa Vintage Oil, que a su vez vende su 70% de participación del Bloque a la canadiense Encana que opera hasta el 2006. (PETROLEUM, 2012).

En el caso del Bloque 17 fue operado por Vitage Oil hasta el año 2002, posteriormente vende su 70% de participación en este Bloque a Encana. La canadiense operó ambos Bloques hasta el año 2006. Desde entonces está a Cargo de Petroriental S.A.

A partir de la renegociación de los contratos con el Estado Ecuatoriano en el año 2010, se estipularon nuevas cláusulas entre las que se destaca la asignación de nuevas áreas para exploración y producción petrolera en ambos Bloques, lo que se ha constituido en un reto de crecimiento mediante planes de estudios sísmicos y geológicos que irán acompañados por una importante inversión en las diferentes fases. Ambos Bloques tienen un límite colindante que permite operar a los mismos equipos humanos y tecnológicos. (PETROLEUM, 2012).

Están ubicados en una superficie que supera las 385 mil hectáreas con un total de 47 pozos en producción y 7 inyectores, que se encuentran en operación. En estos Bloques se mantiene un constante control de la presión de reservorios mediante la inyección de agua con el objetivo de alcanzar los niveles adecuados que permitan mantener la tendencia de producción. Con este propósito el uso de la tecnología es fundamental, permite registrar resultados planificados y aprovechar la sinergia de conocimientos de los técnicos chinos y ecuatorianos como se puede observar en la Figura 4-2. (PETROLEUM, 2012).



**Figura 4-2:** Operaciones Bloque sur (Bloque 14 y Bloque 17).

Fuente: Petrooriental. Realizado por Byron Bautista.

## 2.8. Bloque 14

El Bloque 14 cuenta con tres campos Kupis, Wankes y Nantus que se mantienen en producción y corresponden a la tipificación de campos maduros (campos que se encuentran en una etapa de declive en su volumen de producción).

El nuevo contrato firmado en el año 2010 determinó una superficie total de 199.829 hectáreas para este Bloque donde actualmente se encuentran 17 pozos en producción. La mayor parte de la operación del Bloque 14 proviene del campo Nantu con un 62 % de toda la producción Nantu tiene tres pozos inyectores de agua, que ayudan a mantener la presión de los reservorios en el área Hormiguero-Nantu.

La producción diaria registrada en barriles de petróleo para este año alcanzó los 5700 Bppd, una producción de agua que fluctúa por encima de los 27 800 Bppd.

En campo Nantu aporta actualmente con 3 441 bppd, con una producción acumulada que alcanza los 11,5 millones de barriles. El campo Wanke produce 1 790 bppd y Kupi 365 bppd, en los cuales ha acumulado una recuperación de 12,6 millones y 3,3 millones de barriles, respectivamente. En la Figura 5-2 la locación de CDP (áreas de proceso), perteneciente al Bloque 14 donde llega toda la producción de petróleo. (PETROLEUM, 2012).



**Figura 5-2:** Áreas de proceso Bloque 14.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

## 2.9. Bloque 17

Cuenta con dos campos maduros, Hormigueros y Hormiguero Sur, que se encuentran en producción. Hay un área que se denomina Tapir la cual produce 1800 Bppd aproximadamente. En este bloque se encuentran ubicadas cinco plataformas desde donde se gestiona la operación de 27 pozos en producción. A este de acuerdo a las estipulaciones del contrato vigente se asignaron 185 440 Hectáreas.

El Bloque 17 cuenta con reservas probadas de 10,3 millones de barriles, de las actuales el 92% corresponde al campo Hormigueros. A octubre del 2012, se registra una producción acumulada por 28,6 millones de barriles. El Bloque 17 produjo 7 900 bppd y 31 600 barriles de agua por día (bapd) durante este año. Al ser campos maduros, su producción ya se encuentra en un proceso de declinación constante, por lo que el control de presión es fundamental para mantener la producción. En la Figura 6-2 la locación de CPH (áreas de proceso), perteneciente al Bloque 17 donde llega toda la producción de petróleo. (PETROLEUM, 2012).



**Figura 6-2:** Área de proceso del Bloque 17.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

## CAPÍTULO III

### **3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO APLICANDO INGENIERÍA DE LA FIABILIDAD EN LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE DIÉSEL UTILIZADOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA EMPRESA PETRORIENTAL S.A.**

#### **3.1. Tipo de estudio**

Se empleará para el desarrollo del presente trabajo una metodología de investigación exploratoria y descriptiva, correspondiente a la naturaleza del problema y los objetivos.

#### **3.2. Método de investigación**

Método inductivo, se analizan solo casos particulares, cuyos resultados son tomados para extraer conclusiones de carácter general. A partir de las observaciones sistemáticas de la realidad se descubre la generalización de un hecho y una teoría. Se emplea la observación y la experimentación para llegar a las generalidades de hechos que se repiten una y otra vez, por motivos de aclaración y comprensión se utiliza este método. (INVESTIGACIÓN, 2013).

Método hipotético-deductivo: A través de observaciones realizadas de un caso particular se plantea un problema. Éste lleva a un proceso de inducción que remite el problema a una teoría para formular una hipótesis, que a través de un razonamiento deductivo intenta validar la hipótesis empíricamente. (INVESTIGACIÓN, 2013)

#### **3.3. Fuentes**

Los principios, definiciones, conceptos, teorías, etc. necesario para llevar a cabo el estudio del estado del arte de esta investigación, provendrán de fuentes primarias como:

- Artículos científicos: EMERSON, Mantenimiento basado en fiabilidad; Luis Felipe Sexto, Ingeniería de la Fiabilidad.
- Bibliografía especializada: <http://www.andespetro.com/html/index.htm>.
- Normativas regionales: INEN.
- Normativas internacionales: API, ASME, NTP, ANSI.

Estas fuentes deben tratar temas relacionados con el estudio y la aplicación de la terminología del mantenimiento y del cálculo de la fiabilidad.

### 3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.

De acuerdo Ingeniería de la Fiabilidad del autor Luis Felipe Sexto para la aplicación se debe recolectar información basada en técnicas e instrumentos.

Considerando como fundamento los criterios de las normas internaciones, se realizarán entrevistas, grupo de trabajo, a través de la cual se realizará la recolección de información.

A continuación se muestra en la siguiente Tabla 3-3 las técnicas e instrumentos que se utilizarán para la recolección de la información.

**Tabla 3-3:** Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.

Técnica	Instrumento	Objetivo
Entrevista.	Cuestionario de la entrevista.	Realizar el estudio sobre los efectos de la utilización incorrecta de la disponibilidad y de sus errores de cálculo.
Análisis documental.	Fichas de registro de datos bibliográficos.	Recolectar datos de fuentes secundarias como catálogos y equipos.
Observación experimental.	Método Monte Carlo.	Demostrar la hipótesis y validar el nuevo método de cálculo propuesto.

Fuente: Ingeniería de la fiabilidad. Luis Felipe Sexto.

### 3.5. Matriz de consistencia

Los problemas, objetivos, hipótesis, de la presente investigación se sintetizan en la siguiente matriz de consistencia de acuerdo a la Tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
Formulación del Problema	Objetivo general	Hipótesis general
¿La falta de un plan de mantenimiento en los tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en los bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A. provoca paradas en los grupos electrógenos, consecuentemente pérdidas en la producción?	Realizar un análisis de mantenimiento aplicando Ingeniería de la Fiabilidad en los Tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en los bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A.	El análisis de mantenimiento aplicando ingeniería de la fiabilidad en los tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en los bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A. potencia la generación de energía evitando paradas en los grupos electrógenos y por consiguiente evita pérdidas de producción.

Fuente: Ingeniería de la fiabilidad. Luis Felipe Sexto.

Es importante saber para el desarrollo de esta investigación, se realizó el estudio siguiendo las siguientes etapas que se muestran en la Tabla 5-3.

**Tabla 5-3:** Etapas de Mantenimiento Basadas en Fiabilidad.

ITEM	ETAPA	DESCRIPCIÓN
1	ETAPA 1	Información técnica de los tanques.
2	ETAPA 2	Codificación de los equipos de los Tanques
3	ETAPA 3	Listado de funciones y sus especificaciones
4	ETAPA 4	Determinación de fallos.
5	ETAPA 5	Determinación de los modos de fallo.
6	ETAPA 6	Estudio de las consecuencias de los fallos. Criticidad.
7	ETAPA 7	Establecimiento jerárquico de los fallos ocurridos.
8	ETAPA 8	Índice de fiabilidad
9	ETAPA 9	Determinación de las medidas preventivas.

Fuente: Ingeniería de la fiabilidad. Luis Felipe Sexto.

Una vez definidas las etapas se empieza con el desarrollo de la información técnica de los tanques que se indica a continuación.

**3.5.1. Etapa 1: Información técnica de los tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en la Empresa Petroriental S.A.**

Los Tanques que tiene la empresa Petroriental en los Bloques 14 y 17, tienen la capacidad de almacenamiento de 1500, 500 y 400 Bbls de combustible, los mismos se encuentran ubicados en diferentes plataformas y estaciones o locaciones.

Las empresas (Argo Sales Ltda., Tepromec Cia.Ltda, Industria Acero de los Andes S.A. etc.) encargadas de la fabricación, instalación y certificación de los tanques, a continuación Figura 7-3 un ejemplo de las placas de identificación que tiene cada tanque.



**Figura 7-3:** Placa de identificación de tanque de Diésel.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

El total de tanques que posee Petroriental en cuanto a cada Bloque se detalla en las siguientes Tablas 6-3 y 7-3 y las Figuras 8-3 y 9-3.

**Tabla 6-3:** Tanques de almacenamiento del Bloque 14; Petroriental.

N #	BLOCK	LOCATION	TAG	SERVICE	CAPACITY Bbls	DATOS DE OPERACIÓN			
						Maximum Pressure PSI	Maximum Temperature °F	Pressure Cycles - Range PSI	Ambient Temperature °F
1	B14	Sunka A	EMV-TK-205V	Diesel Storage Tank	142	ATM	200	ATM	72 - 106
2	B14	Sunka B	EMV-TK-206V	Diesel Storage Tank	240	ATM	200	ATM	72 - 106
3	B14	Kupi A	EMV-TK-201V	Diesel Storage Tank	142	ATM	200	ATM	72 - 106
4	B14	Shiripuno D	EMV-TK-203V	Diesel Storage Tank	142	ATM	200	ATM	72 - 106
5	B14	Wanke A	EWA-SKID-T-710	Diesel Storage Tank	500	ATM	200	ATM	72 - 106
6	B14	Penke B	EPB-SKID-T-720	Diesel Storage Tank	500	ATM	200	ATM	72 - 106
7	B14	Nantu-B	EXB-SKID-T-726	Diesel Storage Tank	500	ATM	200	ATM	72 - 106
8	B14	Nantu-D	END-SKID-T-725	Diesel Storage Tank	400	1,5	AMB	ATM	72 - 106
			END-SKID-T-726	Diesel Storage Tank	400	1,5	AMB	ATM	72 - 106
9	B14	CDP	ECD-SKID-T-7000A	Diesel Storage Tank	1000	2,46	200	1 - 2	80

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

**Tabla 7-3:** Tanques de almacenamiento del Bloque 17; Petroriental.

N#	BLOCK	LOCATION	TAG	SERVICE	CAPACITY Bbls	DATOS DE OPERACIÓN			
						Maximum Pressure PSI	Maximum Temperature °F	Pressure Cycles - Range PSI	Ambient Temperature °F
1	B17	Tapir A	EAI-SKID-T-740	Diesel Storage Tank	500	ATM	200	ATM	72 - 106
2	B17	Tapir B	EAI-SKID-T-707	Diesel Storage Tank	500	ATM	200	ATM	72 - 106
3	B17	Hormiguero-A	EMV-TK-007V	Diesel Storage Tank	142	ATM	200	ATM	72 - 106
4	B17	Hormiguero B	EHB-SKID-T-725	Diesel Storage Tank	500	ATM	200	ATM	72 - 106
5	B17	Hormiguero-C	EHC-SKID-T-700	Diesel Storage Tank	400	ATM	200	ATM	72 - 106
			EHC-SKID-T-710	Diesel Storage Tank	400	ATM	200	ATM	72 - 106
			EHC-SKID-T-720	Diesel Storage Tank	400	ATM	200	ATM	72 - 106
6	B17	Hormiguero-D	EHD-SKID-T-700	Diesel Storage Tank	500	ATM	200	ATM	72 - 106
7	B17	Hormiguero Sur	EHU-SKID-T-700	Diesel Storage Tank	500	ATM	200	ATM	72 - 106
			EHU-SKID-T-710	Diesel Storage Tank	500	ATM	200	ATM	72 - 106
8	B17	CPH	ENT-SKID-T-700	Diesel Storage Tank	500	ATM	AMB	ATM	72 - 106
9	B17	Nantu-C	EMV-TK-001V	Diesel Storage Tank	400	ATM	AMB	ATM	72 - 106
10	B17	Pindo	EVP-SKID-T-700	Diesel Storage Tank	400	1,5	120	1 - 2	80
			EVP-SKID-T-710	Diesel Storage Tank	400	1,5	120	1 - 2	80
11	B17	Dayuma	EDY-SKID-T-502	Diesel Storage Tank	90	ATM	100	ATM	80
12	B17	Kupi Camp	EMV-TK-014V	Diesel Storage Tank	142	ATM	200	ATM	72 - 106
13	B17	Helipuerto	ENT-SKID-T-600	Gasolina Storage Tank	500	ATM	200	ATM	72 - 106
			ENT-SKID-T-701	Diesel Storage Tank	1500	ATM	200	ATM	72 - 106
			ENT-SKID-T-702	Diesel Storage Tank	1500	ATM	200	ATM	72 - 106

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

**Figura 8-3:** Tanques de almacenamiento del Bloque 14; Petroriental.



Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

**Figura 9-3: Tanques de almacenamiento del Bloque 17; Petroriental.**



Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

Con la información recolectada de los datos referentes a cantidades de equipos existentes en la empresa Petroriental, se procede a realizar la siguiente etapa.

### 3.5.2. Etapa 2: Codificación de los equipos de los tanques.

Para realizar la codificación se realizó de acuerdo a los sistemas y elementos que conforman los tanques para una mejor manera de identificación y determinación de funciones, fallos, modos de fallos criticidad fiabilidad y poder determinar las medidas preventivas.

Los códigos de los elementos que conforman un tanque se lo presentan en la Tabla 8-3.

**Tabla 8-3:** Codificación de elementos que conforman un tanque.

<b>LISTADO</b>	<b>CODIFICACIÓN</b>
<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	<b>S C</b>
ANILLOS	ANS
BASE	BAS
SOPORTES	SOP
TECHO	TEC
<b>SISTEMA DE ACCESORIOS</b>	<b>S A</b>
ESCALERA	ESC
MANHOLE	MAN
FLOTADOR	FLOT
SUMIDERO	SUM

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

### 3.5.2.1. Sistema estructural (s c)

El sistema estructural de un tanque es importante para el buen funcionamiento, manejo, estabilidad, sujeción, y almacenamiento de líquidos.

A continuación se detalla cada uno de ellos de acuerdo al sistema estructural:

- Anillos
- Base
- Soportes
- Techo

**Anillos.-** El cuerpo del tanque se va formando con la unión de anillos de diferente espesor hasta lograr una altura requerida, y los anillos se van construyendo, adhiriendo láminas roladas de igual espesor hasta alcanzar el diámetro del tanque. ((AmericanPetroleumInstitute), 2001)

**Base.-** O diseño de fondo del tanque de almacenamiento depende de las siguientes consideraciones:

- Los cimientos o anillos usados para soportar el tanque
- El método que se utilizara para desalojar el producto almacenado.
- El grado de sedimentación de sólidos en suspensión.
- La corrosión del fondo y el tamaño del tanque.

Los fondos de tanques de almacenamiento cilíndricos verticales son generalmente fabricados de placas de acero con un espesor menor al usado en el cuerpo. Esto es posible para el fondo, porque se encuentra situado en una base de concreto, arena o asfalto los cuales soportan el peso de la columna del producto; la función del fondo es lograr la hermeticidad para que el producto no se filtre por la base. ((AmericanPetroleumInstitute), 2001).

**Soportes.-** En los diseños de los tanques se tienen en cuenta las propiedades física-químicas del fluido como la densidad a las distintas temperaturas que pueda experimentar, la densidad influye directamente en dimensionamiento de los espesores de las placas que conforman el cuerpo, el fondo, los soportes y la temperatura en la fabricación del techo.

Las placas del cuerpo, soportes, base, anillos son las condiciones que necesita un tanque para tener estabilidad y protección de vientos y movimientos telúricos (AmericanPetroleumInstitute), 2001)

En la Figura 10-3 se muestra el sistema estructural de un tanque.

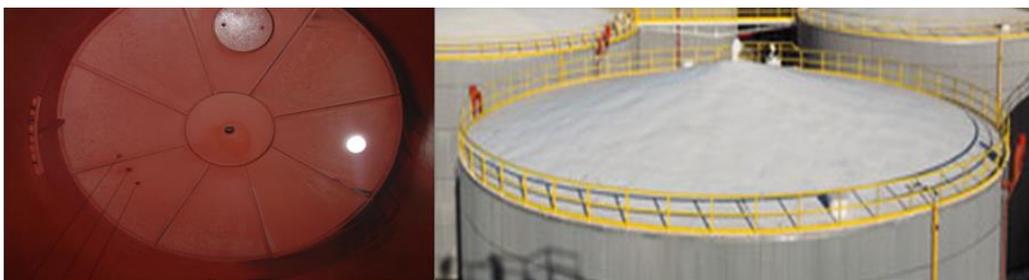


**Figura 10-3:** Sistema estructural de un tanque.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

**Techo.-** Para los tanques de almacenamiento de combustible del tipo cilíndrico-vertical, que cuentan con una membrana interna flotante para reducir las emisiones de vapor de los productos almacenados, tener presente que la construcción de los techos se los realiza bajo Norma API 650, los techos fijos son diseñados para presiones internas bajas 2.5 psi. Estos en la mayoría tienen techo cónico, el cual puede ser soportado por una estructura interna, o puede ser auto soportado por las propias paredes del tanque.

Los venteos libres (conocidos también como cuello de ganso) permiten la emisión de vapores, logrando que en el interior se mantenga aproximadamente a la presión atmosférica, pero las pérdidas por la respiración del tanque son inevitables. Se dispone además de venteos de presión de vacío que evitan una sobrepresión. Estos dos accesorios son montados sobre el techo suministrado una suficiente capacidad de venteo, protegiendo al techo del tanque y cuerpo del tanque por efectos de variación de presión. En la siguiente Figura 11-3 se observa la forma de un techo fijo.



**Figura 11-3:** Techo Fijo de tanque de combustible.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

### 3.5.2.2. Sistema de accesorios.

Un tanque de almacenamiento no solo consiste en un sistema estructural sino también de elementos que podrían ser secundarios pero que son de gran importancia ya que estos accesorios ayudan a la funcionalidad y al mantenimiento del tanque. Los principales accesorios de un tanque se describen a continuación:

- Escalera
- Manhole
- Flotador
- Sumidero

**Escalera.-** Dentro de las cuales se describen como plaraformas, pasadizos, escalinatas, barandelas, tienen la finalidad de situar al personal que asi lo requiera en una zona del tanque que necesite un constante mantenimiento, generalmenmte estos permiten subir hasta el techo del tanque para realizar inspecciones.

Los requerimientos para las plataformas, pasillos son (Institute), 2001):

- Todos los componentes deberan ser metálicos.
- El ancho minimo del piso será de 610 mm. (24 pulg.).
- Todo el piso debera ser de material antiderrante.
- La altura del barandal a partir del piso será de 1,067mm. (42pulg.).
- La altura minima del rodapié será de 76mm. (3 pulg.).
- El máximo espacio entre el suelo y la parte inferior del espesor de la placa del espesor de la placa del pasillo será de 6.35mm. (1/4 pulg.).
- La altura del barandal central será aproximadamente la mitad de la distancia delde lo alto del pasillo a la parte superior del barandal.
- La distancia máxima entre los postes del barandal deberá ser de 1168mm. (46 pulg.).
- La estructura completa tendra que ser capaz de soportar una carga viva concentrada de 453 Kg. (1000 lb.), aplicada en cualquier dirección y en cualquier punto del barandal.
- Los pasamanos estarán en ambos lados de la plataforma, y estarán interrumpidos donde sea necesario para un acceso.
- Cualquier espacio mayor de 152mm. (6 pulg.) entre el tanque y la plataforma.
- Los corredores de los tanques que se extienden de un lado al otro del suelo o a otra estructura deberán estar soportados de tal manera que tengan un movimiento relativo libre de las estructuras unidas por los corredores; ésta puede estar acompañada por una firme atadura del corredor a los tanques, ademas del uso de una junta corrediza o de la dilatación en el puente de contacto entre el corredor y el otro tanque (este método permite

que en caso de que un tanque sufra ruptura o algún movimiento brusco, el otro no resulte dañado).

Los requerimientos para las escaleras son: ((AmericanPetroleumInstitute), 2001).

- Todas las partes de la escalera serán metálicas
- El ancho mínimo de las escaleras será de 610mm. (24 pulg.).
- El ángulo máximo entre las escaleras y una línea horizontal será de 50°
- El ancho mínimo de los peldaños será de 203mm (8 pulg.). La elevación será uniforme a todo lo largo de la escalera.
- Los peldaños deberán estar hechos de rejilla o material antiderrapante.
- La superior de la reja deberá estar unida al pasamanos de la plataforma sin margen y la altura, medida verticalmente desde el nivel del peldaño hasta el borde del mismo de 762 a 864mm (30 pulg – a 34 pulg.).
- La distancia máxima entre los postes de la rejilla medidos a lo largo de elevación de 2,438mm. (96 pulg.).
- La estructura completa será capaz de soportar una carga viva concentrada de 453 Kg. (1,000 lb), y la estructura del pasamanos deberá ser capaz de soportar una carga de 90 Kg. (200 lb), aplicada en cualquier dirección y punto del barandal.
- Los pasamanos deberán estar colocados en ambos lados de las escaleras rectas; éstos serán colocados también en ambos lados de las escaleras circulares cuando el claro entre cuerpo – tanque y los largueros de la escalera excedan 203 mm. (8pulg.).
- Las escaleras circunferenciales estarán completamente soportadas en el cuerpo del tanque y los finales de los largueros apoyados en el piso.

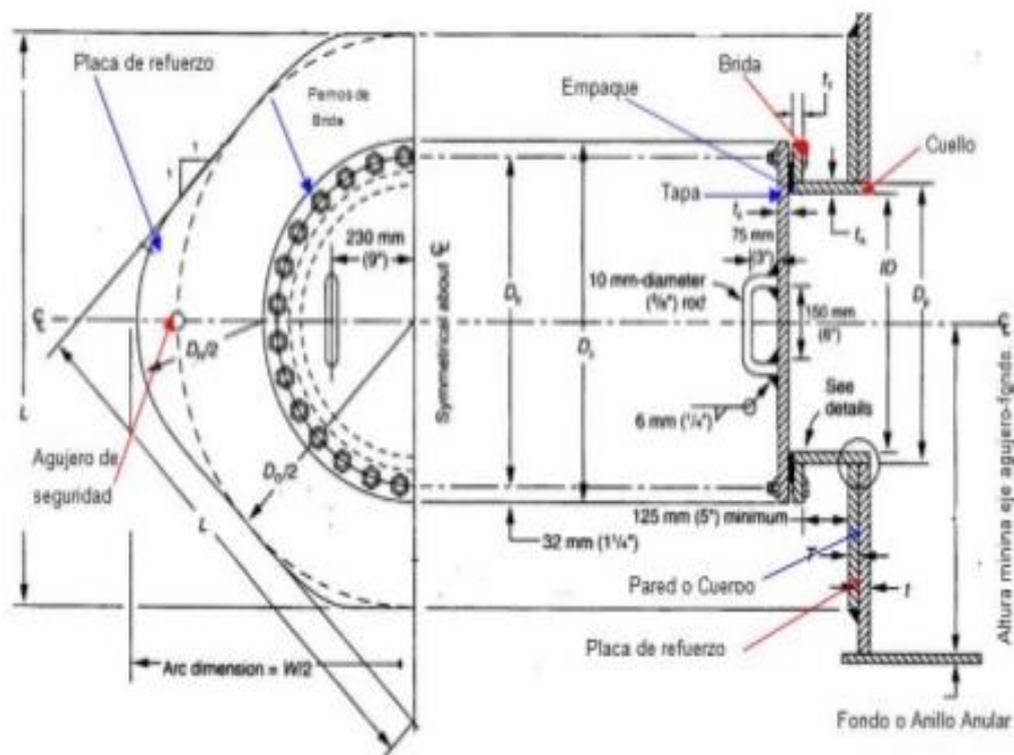
En la Figura 12-3 se describe las escalera y los pasamanos de un tanque de almacenamiento de diésel.



**Figura 12-3:** Escalera y pasamano en un tanque.

Fuente: Petrooriental. Realizado por Byron Bautista.

**Manhole.-** Estos son sellados herméticamente para ingresar por la parte superior del tanque fabricado en lamina A-36, ½” de 7 puntas, y uno inferior de 24” para realizar limpiezas internas fabricado en lamina A-36 ½” con agujeros para amarre con tornillos y empaque, con sus respectivas ruanas de refuerzo. Los Manholes son accesorios que ayudan al venteo del tanque, ingreso de personal para realizar inspecciones, mantenimiento que se puede realizar por medio del manhole del cuerpo o del techo, la Norma API 650 tiene tablas específicas que ayudan a la selección de las dimensiones de estos accesorios y sus componentes, las partes y características de un manhole que se observan en la Figura 13-3 ((AmericanPetroleumInstitute), 2001).



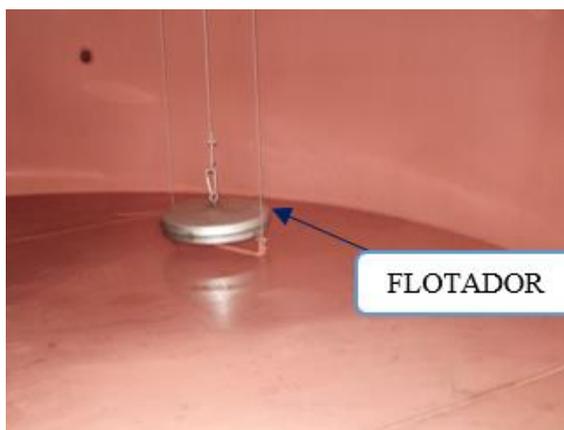
Partes del manhole:

- Abertura de Manhole
- Cuello de Manhole
- Breda de Manhole
- Placa de refuerzo
- Empaque
- Agujero de seguridad
- Tapa de Manhole
- Pernos de Breda

**Figura 13-3:** Partes y características de un Manhole

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

**Flotador.-** Es un accesorio más de un tanque que sirve para indicar la altura alcanzada, también para controlar el nivel en el recipiente. En la Figura 14-3 se muestra a un flotador instalado en un tanque. ((AmericanPetroleumInstitute), 2001).



**Figura 14-3:** Flotador de un Tanque.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

**Sumidero.-** Esta considerado dentro de los accesorios que sirven para conectar al tanque con otros sistemas como las líneas de almacenamiento y despacho de combustible, para conectar las válvulas de venteo y sistema de drenaje, estas conexiones se unen por medio de bridas que van empernadas y tienen empaques, todos los agujeros para pernos deben ser hechos en la línea de centros de la brida.

En la Figura 15-3 se puede ver un ejemplo de sumidero y líneas en el interior del tanque.



**Figura 15-3:** Sumidero y líneas en un Tanque.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

Una vez identificado la codificación de los equipos o elementos de un tanque se procede a detallar el listado de funciones y sus especificaciones en la siguiente etapa.

### **3.5.3. Etapa 3: Listado de funciones y sus especificaciones.**

Se debe dar funciones y sus respectivas especificaciones a los elementos que conforman un tanque para poder realizar el análisis de manera más simplificada.

Las funciones y sus especificaciones de acuerdo al listado de los sistemas con sus especificaciones dando a conocer la función de cada elemento los cuales conforman un tanque de almacenamiento de combustible, como se describe en la Tabla 9-3.

**Tabla 9-3:** Listado de funciones y sus especificaciones.

ETAPA 3: LISTADO Y CODIFICACIÓN DE EQUIPOS					
LISTADO	CODIFICACIÓN	ESPECIFICACIONES		FUNCIONES	
<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	<b>S C</b>				
ANILLOS	ANS	ESPECIFICACIÓN 1	SA-36	FUNCIÓN 1	Contener el Líquido 500 BBls
		ESPECIFICACIÓN 2	3684 KG		
BASE	BAS	ESPECIFICACIÓN 1	SA-36	FUNCIÓN 1	Contener el Líquido
SOPORTES	SOP	ESPECIFICACIÓN 1	SA-36	FUNCIÓN 1	Soportar anillos y cuerpo del tanque
TECHO	TEC	ESPECIFICACIÓN 1	SA-36	FUNCIÓN 1	Evitar que ingrese agua al líquido almacenado y otras partículas que contaminen el líquido.
		ESPECIFICACIÓN 2	1228 KG	FUNCIÓN 2	Proteger que no haya sobre presión en caso de una explosión.
<b>SISTEMA DE ACCESORIOS</b>	<b>S A</b>				
ESCALERA	ESC	ESPECIFICACIÓN 1	SA-36	FUNCIÓN 1	Elemento para escalar de un nivel a otro
		ESPECIFICACIÓN 2	800 KG		
MANHOLE	MAN	ESPECIFICACIÓN 1	SA-36	FUNCIÓN 1	Permitir acceso a la parte interna del Tanque
		ESPECIFICACIÓN 2	50KG		
FLOTADOR	FLOT	ESPECIFICACIÓN 1	INOX	FUNCIÓN 1	Identificar nivel correcto
		ESPECIFICACIÓN 2	5 KG		
SUMIDERO	SUM	ESPECIFICACIÓN 1	SA-36	FUNCIÓN 1	Acumular sedimentos
		ESPECIFICACIÓN 2	6,35 mm		

Fuente: Realizado por Byron Bautista.

#### 3.5.4. Etapa 4: Determinación de los fallos.

Para determinar un fallo en un tanque de combustible se debe tener presente las funciones que desempeña cada elemento, con los datos mencionados en la tabla 9 se puede determinar fácilmente los fallos.

A continuación de acuerdo a los sistemas mencionados anteriormente se va determinar los fallos por elementos de un tanque de combustible:

#### *3.5.4.1. Fallos en el sistema estructural.*

Los fallos para el sistema estructural son:

**Fallo en anillos.-** Una vez realizado el análisis, el fallo encontrado es dejar de contener el volumen de dicho depósito (diésel).

**Fallo en la Base.-** Dentro del análisis se encontró que el fallo es la no contención del volumen.

**Fallo en los Soportes.-** Los soportes dentro de la estructura de un tanque es importante ya que afecta directamente a los anillos causando deformación y por consiguiente fisuras en los mismos.

**Fallo en el Techo.-** Para determinar el fallo del techo de acuerdo a las funciones mencionadas anteriormente se tiene como análisis, la deformación del techo y desprendimiento del techo como fallos importantes.

#### *3.5.4.2. Fallos en el sistema de accesorios*

Los fallos para el sistema de accesorios son:

**Fallo en escaleras.-** Dentro de las escaleras el fallo determinado es la imposibilidad de pasar de un nivel a otro.

**Fallo en el Manhole.-** Se determinó para este accesorio que el fallo es la imposibilidad de permitir el acceso para el ingreso a personal.

**Fallo en el flotador.-** Una vez realizado el análisis funcional se determina que el fallo en este accesorio es la identificación errónea de nivel de fluido en el interior del tanque.

**Fallo en el sumidero.-** Los fallos determinados en el sumidero son las incrustación de sedimentos que ocasionan taponamientos.

Para la determinación de un fallo por sistema fue importante realizar las etapas mencionadas anteriormente los cuales fácilmente no trasladan a la siguiente etapa de la determinación de los modos de fallos por sistema.

#### **3.5.5. Etapa 5: Determinación de los modos de fallos.**

De acuerdo al análisis se determinó todos los fallos que presenta un tanque, para lo cual deben estudiarse los modos de fallo.

Los modos de fallo son la causa primaria de un fallo, o como las circunstancias que acompañan un fallo.

A continuación los modos de fallo que se encuentran en cada sistema son:

#### *3.5.5.1. Modos de fallo del sistema estructural*

Los modos de fallos del sistema estructural son:

***Modo de fallo en los anillos.-*** El modo de fallo para los anillos en un tanque de almacenamiento de combustible son las fisuras de las soldaduras en el entorno de los anillos, también la pérdida de espesores lo cual conlleva a las fisuras de las paredes.

***Modo de fallo en la base.-*** En esta parte es visible apreciar las fisuras en las soldaduras, pérdidas de espesores y también fisuras en las bases que conforman una parte del tanque.

***Modo de fallo en los Soportes.-*** Los modos de fallo de los soportes se dan cuando existen fisuras en las soldaduras, pérdidas de espesores y fisuras en los soportes.

***Modo de fallo en el techo.-*** Principalmente el modo de fallo son las fisuras en las soldaduras, pérdida de espesores y fisuras en las placas.

Una vez realizado los modos de fallo del sistema estructural se determina el análisis de fallos ocurridos en los tanques para los períodos 2014 – 2015.

#### *3.5.5.2. Análisis de fallos para los sistemas estructurales ocurridos en los tanques en el bloque 14 y Bloque 17 para los períodos 2014-2015.*

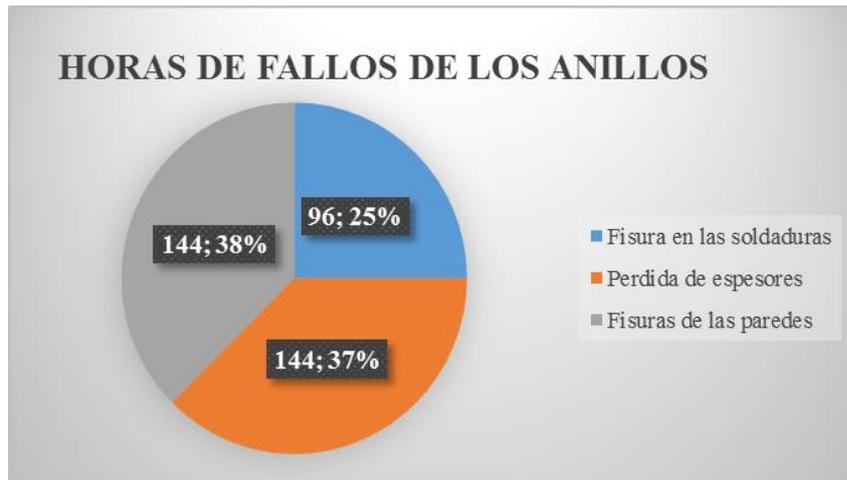
En los dos últimos años 2014 y 2015 se tuvieron mantenimientos correctivos en los tanques de almacenamiento de combustible, los fallos se los ha agrupado en función de los sistemas a los que pertenecen, como este caso se menciona horas y número de fallos del sistema estructural.

#### *3.5.5.3. Horas y número de fallos del sistema estructural*

Las horas y número de fallos de acuerdo al sistema estructural se lo ha clasificado por elemento durante los años 2014-2015, a continuación se observa en las figuras las horas y números de fallos de los elementos del sistema estructural.

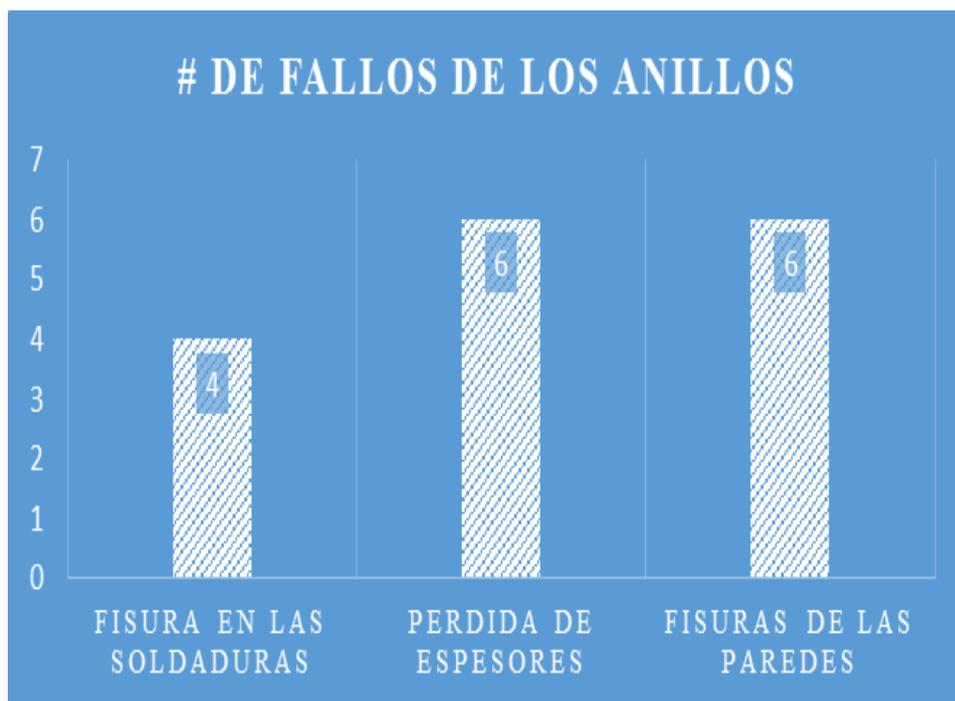
***Horas de fallo en los anillos.-*** En la Figura 16-3 se puede ver las horas y porcentajes de fallos de este elemento.

En los anillos los fallos que se presentan son por fisuras en las soldaduras, pérdida de espesores y fisura de las paredes.



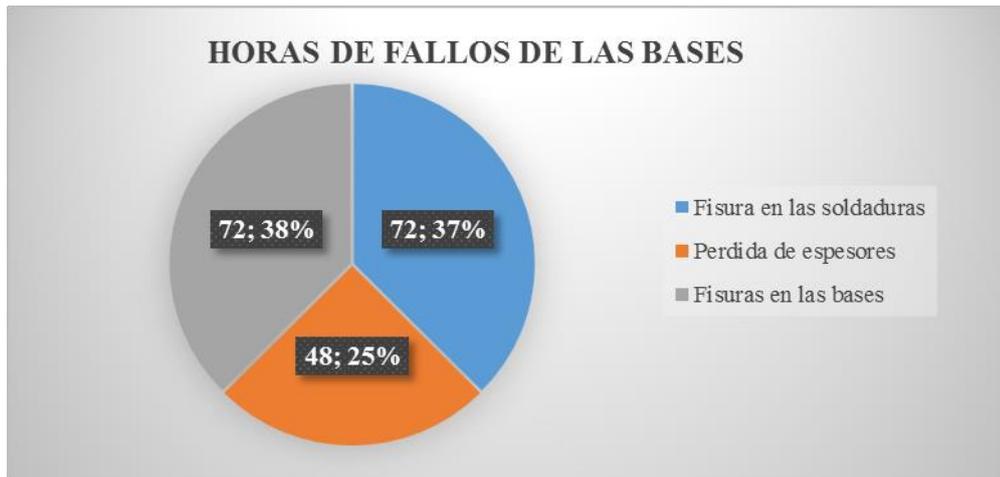
**Figura 16-3:** Horas y Porcentaje de fallos de los anillos.  
Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

Para la Figura 17-3 se encuentra identificados el número de fallos en los anillos, los cuales tienen relación con la fisura en las soldaduras, pérdida de espesores y fisura de las paredes.



**Figura 17-3:** Número de fallos de los anillos.  
Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

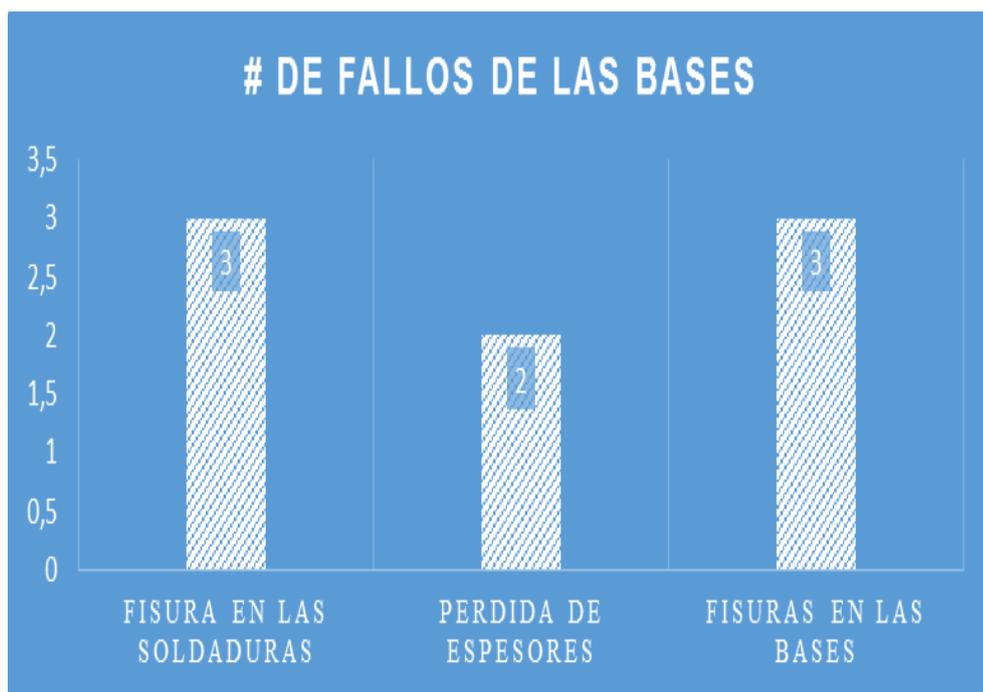
**Horas de fallo en las bases.-** En la Figura 18-3 se puede ver las horas y porcentajes de fallos de este elemento, de acuerdo a la fisura en las soldaduras, pérdida de espesores y fisuras en las bases.



**Figura 18-3:** Horas y Porcentaje de fallos en las bases.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

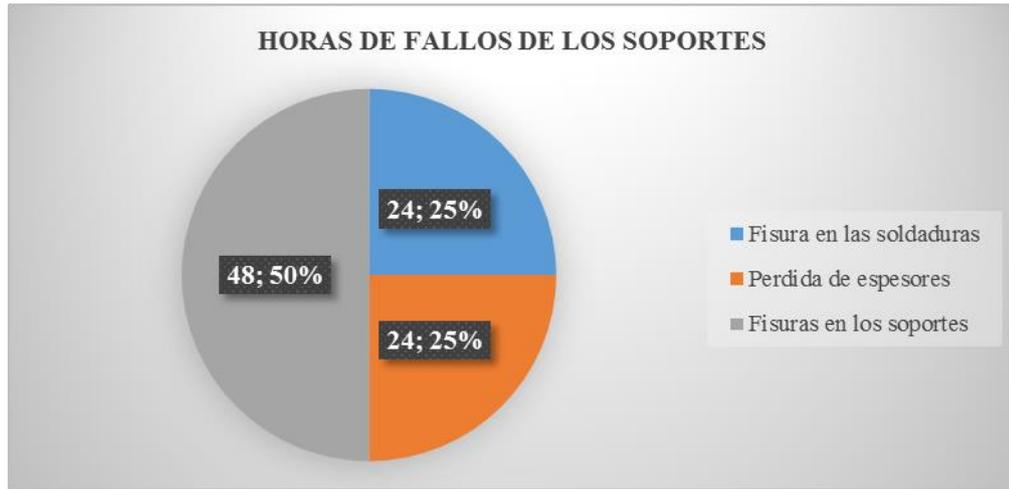
En la Figura 19-3 se encuentra identificados el número de fallos en las bases los cuales pertenecen a fisuras en las soldaduras, pérdida de espesores y fisuras en las bases.



**Figura 19-3:** Número de fallos en las bases.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

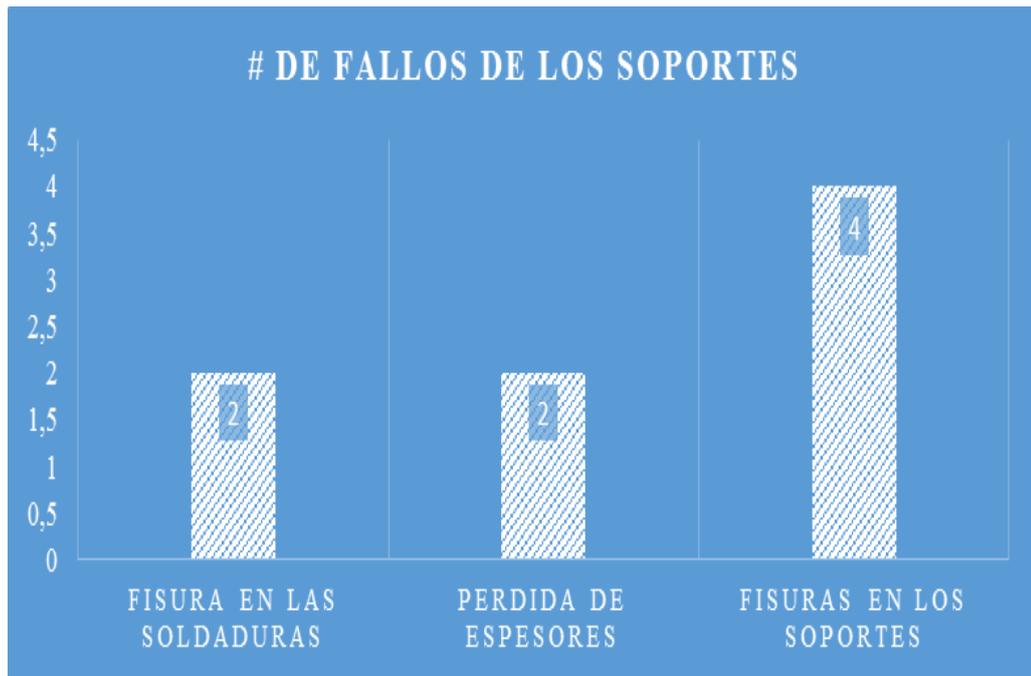
**Horas de fallo de los Soportes.-** En la Figura 20-3 se puede ver las horas y porcentajes de fallos de este elemento de acuerdo a fisura en las soldaduras, pérdida de espesores y fisura en los soportes.



**Figura 20-3:** Horas y Porcentajes de fallos de los soportes.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

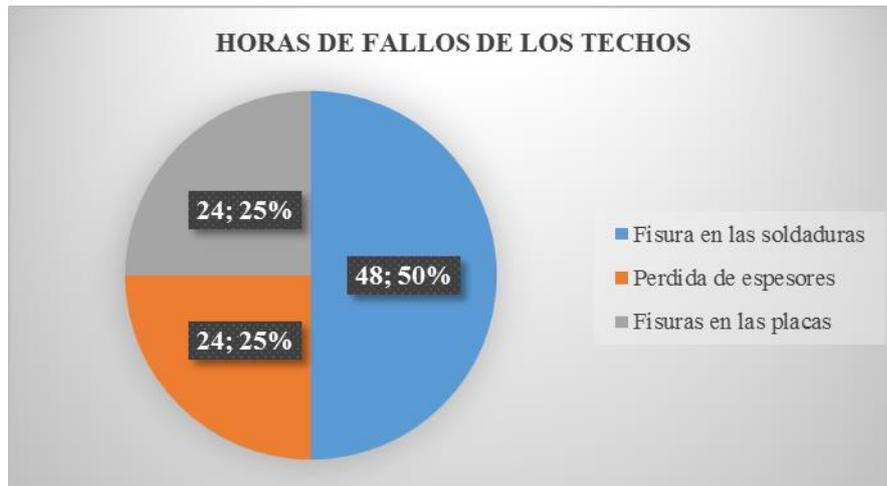
Para la Figura 21-3 se encuentra identificados el número de fallos de los soportes con relación a fisuras en las soldaduras, pérdida de espesores y fisuras en los soportes.



**Figura 21-3:** Numero de fallos de los soportes.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

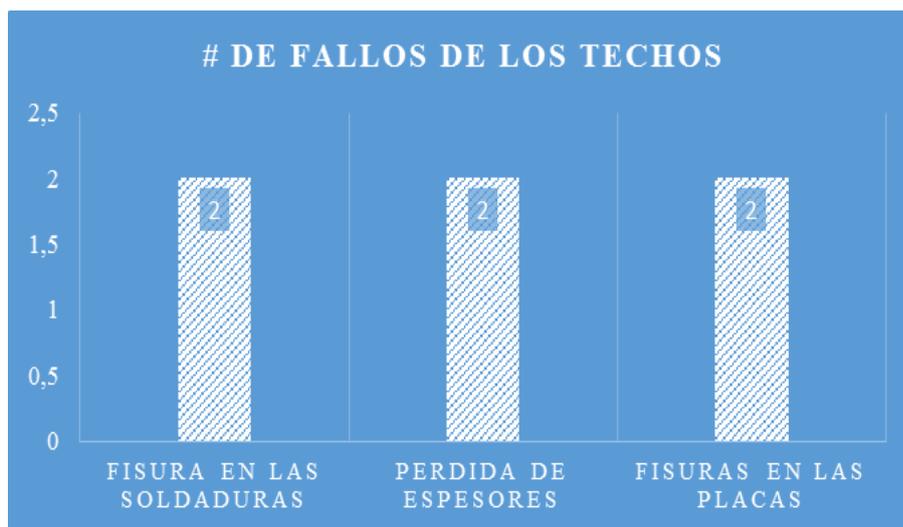
**Horas de fallo de los Techos.-** En la Figura 22-3 se puede ver las horas y porcentajes de fallos de este elemento de acuerdo a fisura en las soldaduras, pérdida de espesores y fisura en las placas.



**Figura 22-3:** Horas y Porcentajes de fallos de los techos.

Fuente: Petrooriental. Realizado por Byron Bautista.

Para la Figura 23-3 se encuentra identificados el número de fallos en los techos relacionado con fisura en las soldaduras, pérdida de espesores y fisura en las placas.



**Figura 23-3:** Número de fallos en los techos.

Fuente: Petrooriental. Realizado por Byron Bautista.

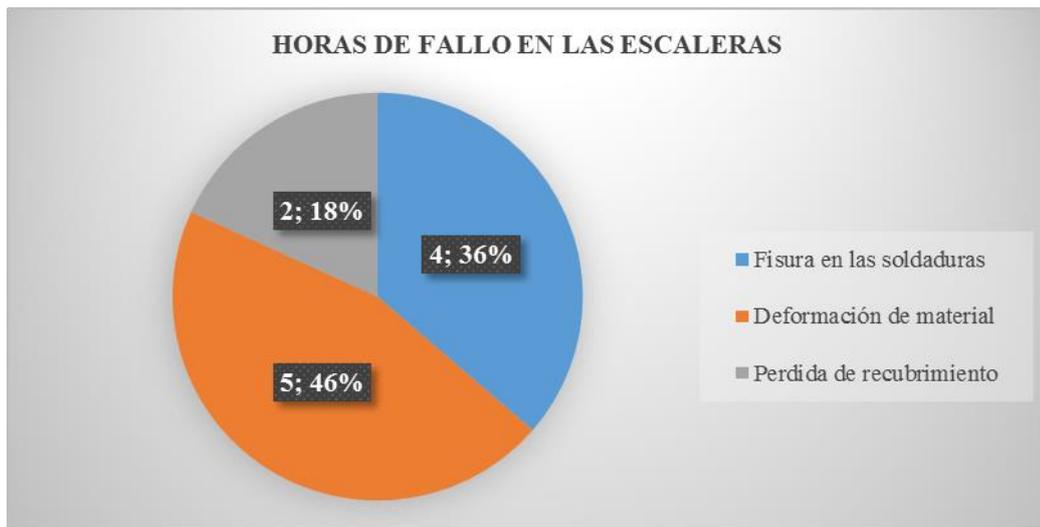
#### 3.5.5.4. Análisis de fallos para el sistema de accesorios en los tanques en el bloque 14 y Bloque 17 para los períodos 2014-2015.

En los dos últimos años 2014 y 2015 se tuvieron mantenimientos correctivos en los tanques de almacenamiento de combustible, los fallos se los ha agrupado en función de los sistemas a los que pertenecen, como este caso se menciona horas y numero de fallos del sistema de accesorios.

### 3.5.5.5. Horas y número de fallos del sistema de accesorios.

El sistema de accesorios se lo ha clasificado por elemento durante los años 2014-2015, a continuación se ilustran los porcentajes, cantidades de horas y número de fallos de los elementos de los tanques de combustible.

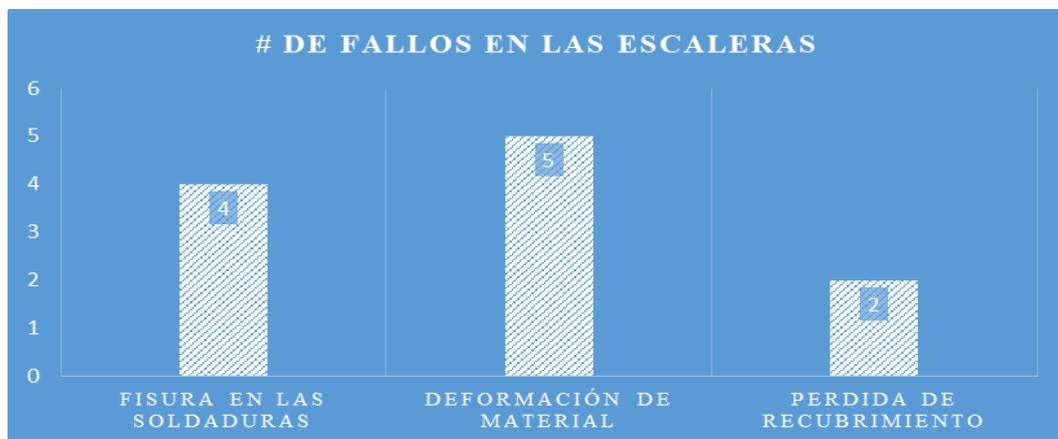
**Horas de fallo en las escaleras.-** En la Figura 24-3 se puede ver las horas y porcentajes de fallo con lo que refiere a este accesorio de acuerdo a la fisura en las soldaduras, deformación del material y pérdida de recubrimiento.



**Figura 24-3:** Horas y Porcentajes de fallo en las escaleras.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

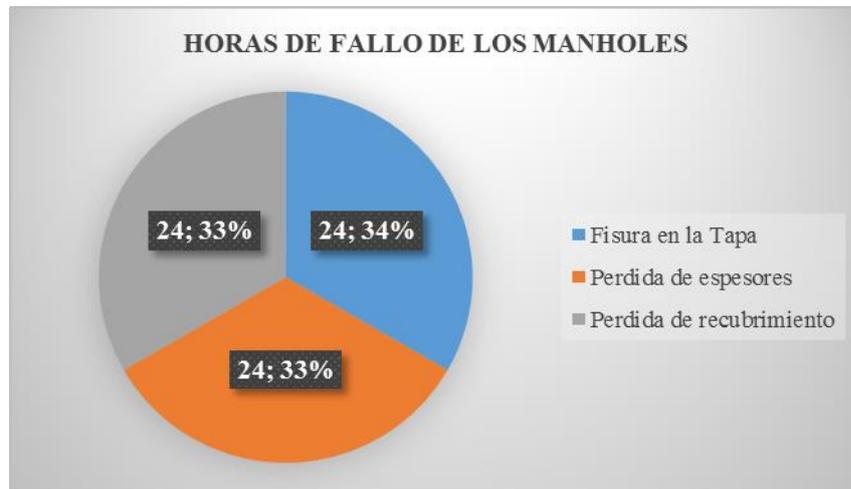
Para la Figura 25-3 se encuentra identificados el número de fallos en las escaleras de la misma manera clasificados por fisura en las soldaduras, deformación del material y pérdida de recubrimiento.



**Figura 25-3:** Número de fallos en las escaleras.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

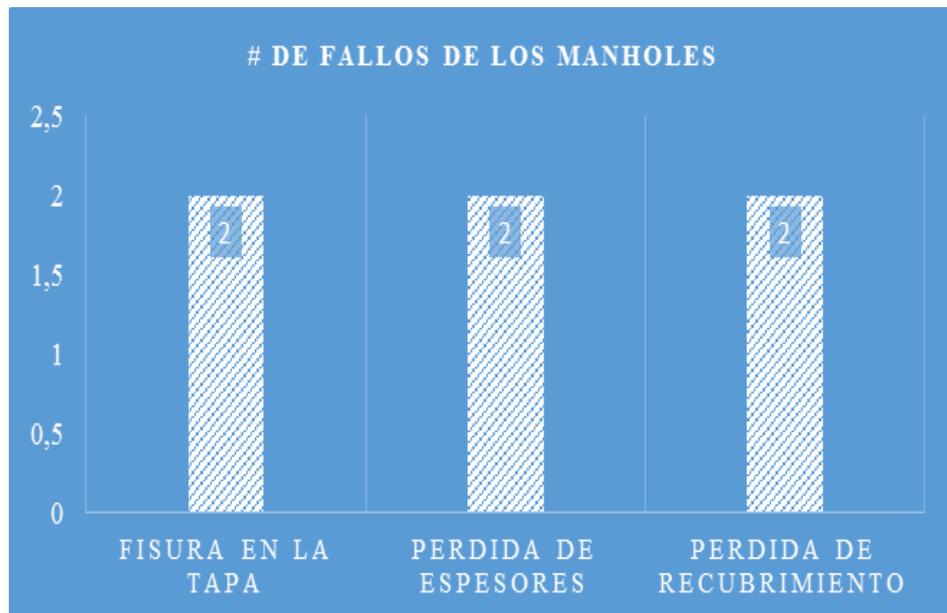
**Horas de fallo de los Manholes.-** En la Figura 26-3 se puede ver las horas y porcentajes de fallo con lo que refiere a este accesorio.



**Figura 26-3:** Horas y Porcentajes de fallo de los Manholes.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

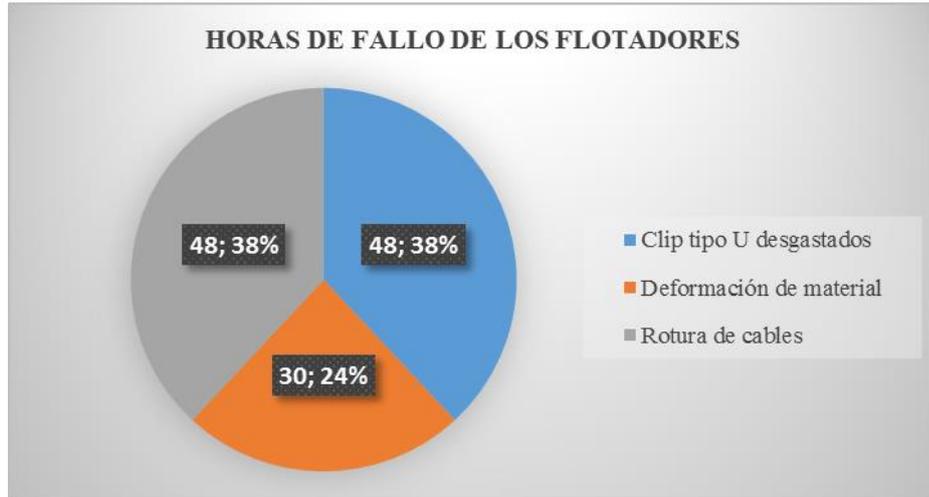
En la Figura 27-3 se encuentra identificados el número de fallos en los Manholes.



**Figura 27-3:** Número de fallos en los Manholes.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

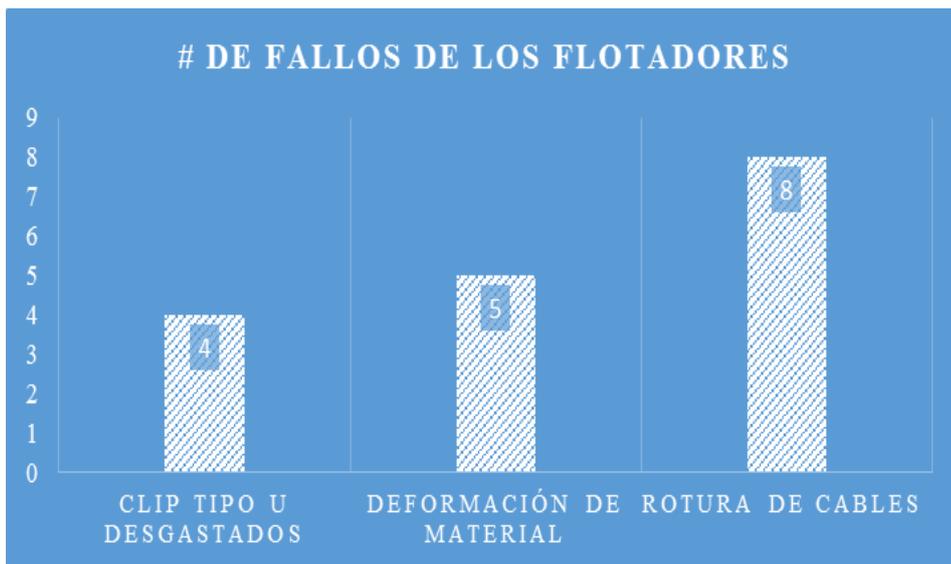
**Horas de fallo de los Flotadores.-** En la Figura 28-3 se puede ver las horas y porcentajes de fallo con lo que refiere a este accesorio, de acuerdo a clip tipo u desgastados, deformación del material y rotura de los cables.



**Figura 28-3:** Horas y Porcentajes de fallo de los Flotadores.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

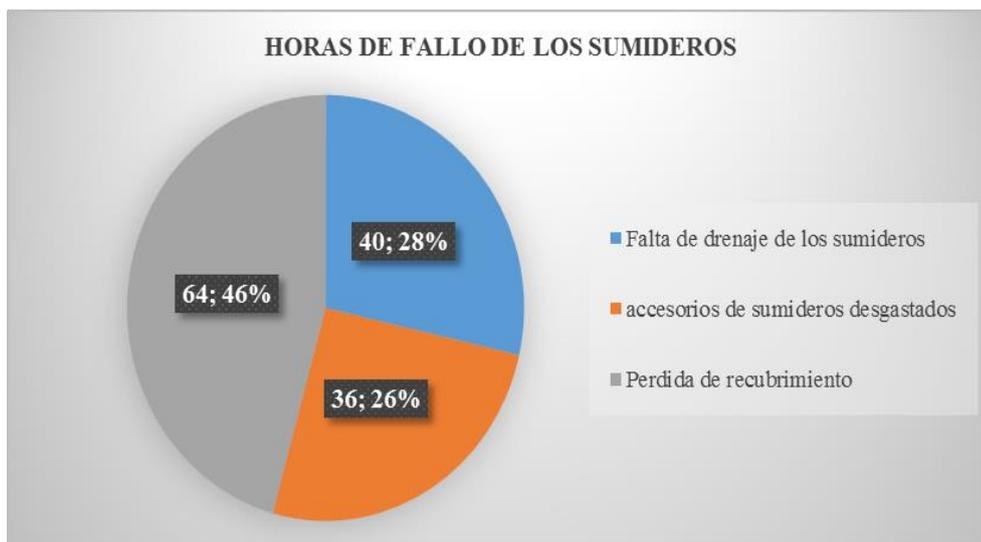
Para la Figura 29-3 se encuentra identificados el número de fallos de los Flotadores esto de acuerdo a los clips tipo U desgastados, deformación de material y la rotura de cables.



**Figura 29-3:** Número de fallos de los flotadores.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

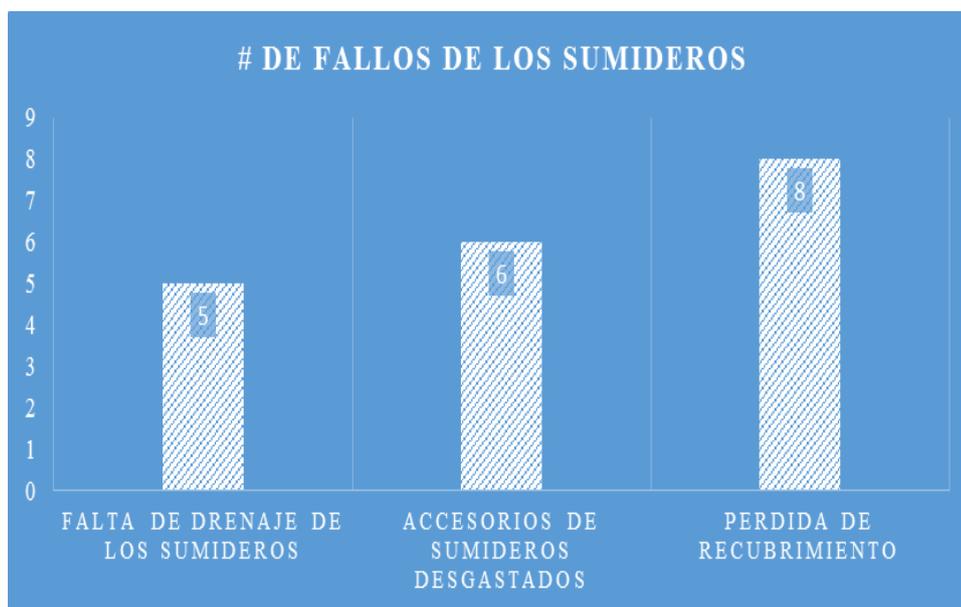
**Horas de fallo de los Sumideros.-** En la Figura 30-3 se puede ver las horas y porcentajes de fallo para la falta de drenaje de los sumideros, accesorios de los sumideros desgastados y pérdida de recubrimiento.



**Figura 30-3:** Horas y Porcentajes de fallo de los sumideros.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista

En la Figura 31-3 se encuentra identificados el número de fallos de los sumideros de acuerdo a la falta de drenaje de los sumideros, accesorios de sumideros desgastados y pérdida de recubrimiento.



**Figura 31-3:** Número de fallos de los sumideros.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

### 3.5.5.6. Resumen de fallos de los elementos por horas y cantidades.

A continuación se muestra el resumen de los fallos de los elementos por horas y cantidades.

**Resumen de fallos de los elementos por horas.-** En la Tabla 10-3 y Figura 32-3, se observa todos los fallos de cada elemento por horas en el Bloque Sur, mostrándose que el mayor número de horas de fallos se encuentran en los anillos con 384.

**Tabla 10-3:** Horas de fallo por elementos.

ELEMENTOS	# HORAS DE FALLO
ANILLOS	384
BASES	192
SOPORTES	96
TECHOS	96
ESCALERAS	11
MANHOLES	72
FLOTADORES	126
SUMIDEROS	140

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.



**Figura 32-3:** Número de horas de fallo por elemento.

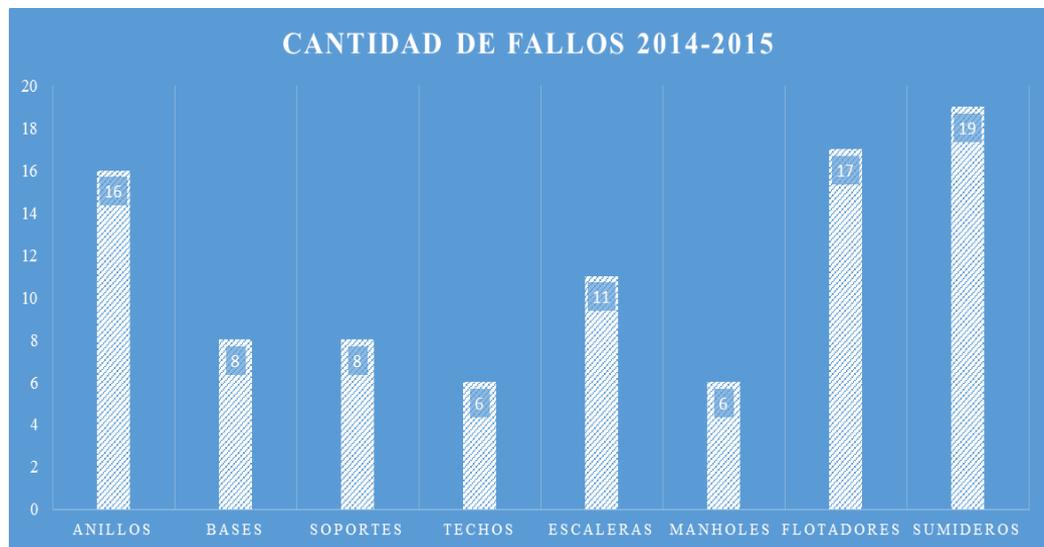
Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

**Resumen de fallos de los elementos por cantidades.-** A continuación en Tabla 11-3 y Figura 33-3, se observa todos los fallos de cada elemento por cantidades en el Bloque Sur observando que la mayor cantidad se tiene en el elemento del sumidero 19.

**Tabla 11-3:** Fallos de los elementos por cantidades.

ELEMENTOS	CANTIDAD DE FALLOS 2014 - 2015
ANILLOS	16
BASES	8
SOPORTES	8
TECHOS	6
ESCALERAS	11
MANHOLES	6
FLOTADORES	17
SUMIDEROS	19

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.



**Figura 33-3:** Cantidad de fallos por elemento.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

Para continuar con el mantenimiento basado en fiabilidad se realiza un estudio de las consecuencias de los fallos para obtener la criticidad como se menciona en la siguiente etapa 6.

### 3.5.6. *Etapa 6: Estudio de las consecuencias de los fallos: criticidad.*

Una vez obtenidos resultados de las etapas anteriores se realiza un análisis de las consecuencias de los fallos para determinar los efectos de cada modo de fallo luego clasificarlos según la gravedad de las consecuencias.

La pregunta a responder en cada modo de fallo debe ser:

¿Qué pasa si ocurre? Las condiciones que se manifiestan para valorar sus consecuencias para la:

- Seguridad y el Medio ambiente,
- Producción
- Mantenimiento.

Los tres posibles casos que se presentan son:

¿Que el fallo sea crítico?

¿El fallo sea importante?

¿El fallo sea tolerable?

- ***La seguridad y al impacto medio ambiental.***- Se piensa que el fallo es crítico si constan ciertas posibilidades de que pueda pasar, y ocasionar accidentes graves que perjudique a la parte personal y al medio ambiente. Es trascendente si aunque las consecuencias para la seguridad y el medio ambiente fueran graves, la posibilidad de que ocurra el fallo es baja. Por último, se considera que el fallo es tolerable si el fallo tiene poca influencia en estos dos aspectos.
- ***La Producción.***- El fallo es crítico si el fallo supone una parada de pozos de producción, y además, consta cierta probabilidad de que el fallo pudiera ocurrir. Si la posibilidad es muy baja, aunque pueda suponer una parada al rendimiento, el fallo debe ser considerado como importante. Y por último, el fallo será tolerable si no afecta a la producción.
- ***Del Mantenimiento.***- El precio de la reparación de la suma del fallo más otros fallos que pudiera ocasionar supera una cantidad determinada entonces el fallo será crítico, los cuales afecten la producción. Será importante y tolerable siempre y cuando no afecte la producción.

En la Tabla 12-3 se encuentra elaborada la matriz de criticidad en donde se identifica todas las condiciones de: Seguridad y el Medio ambiente, Producción y Mantenimiento.

**Tabla 12-3:** Matriz de criticidad.

SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	CALIFICACIÓN	PRODUCCIÓN	CALIFICACIÓN	MANTENIMIENTO	CALIFICACIÓN
Accidente grave probable.	CRÍTICO	Supone la parada de pozos o afecta la producción.	CRÍTICO	Alto costo de reparación.	CRÍTICO
Accidente grave pero muy poco probable.	IMPORTANTE	Afecta a la potencia o rendimiento pero el fallo es poco probable, no afecta a la producción.	IMPORTANTE	Costo medio de reparación.	IMPORTANTE
Poca influencia en seguridad y ambiente.	TOLERABLE	No afecta a la producción.	TOLERABLE	Bajo costo de reparación.	TOLERABLE

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

Según la Tabla 12-3 se describe lo siguiente:

- Los accidentes grave probable, accidente grave pero muy poco probable, poca influencia en seguridad y medio ambiente, corresponden a la Seguridad y medio ambiente con calificaciones de crítico, importante y tolerable.
- Para la producción se menciona la parada de los pozos, fallos probables y que no afecten la producción los cuales tienen calificaciones críticas, importantes y tolerables.
- Para los costos de mantenimiento se tiene alto, medio y bajo los cuales corresponden a las calificaciones críticas, importantes y tolerables.

Para poder realizar la categorización de la criticidad, se utiliza una codificación para cada modo de fallo, a continuación se la presenta en la Tabla 13-3.

**Tabla 13-3:** Codificación de modos de fallo.

ITEM	SISTEMA	MODO DE FALLO	CODIGO
1	ESTRUCTURAL	Fisura en las soldaduras	SE1
2		Perdida de espesores	SE2
3		Fisuras de las paredes	SE3
4		Fisura en las soldaduras	SE4
5		Perdida de espesores	SE5
6		Fisuras en las bases	SE6
7		Fisura en las soldaduras	SE7
8		Perdida de espesores	SE8
9		Fisuras en los soportes	SE9
10		Fisura en las soldaduras	SE10
11		Perdida de espesores	SE11
12		Fisuras en las placas	SE12
13	ACCESORIOS	Fisura en las soldaduras	SA1
14		Deformación de material	SA2
15		Perdida de recubrimiento	SA3
16		Fisura en la Tapa	SA4
17		Perdida de espesores	SA5
18		Perdida de recubrimiento	SA6
19		Clip tipo U desgastados	SA7
21		Deformación de material	SA8

22		Rotura de cables	SA9
23		Falta de drenaje de los sumideros	SA10
24		accesorios de sumideros desgastados	SA11
25		Perdida de recubrimiento	SA12

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

De acuerdo a la codificación de los modos de fallo se procede a dar la calificación de criticidad de acuerdo a lo establecido en la tabla 12, el análisis se lo realiza con los datos de la empresa Petroriental S.A. A continuación como se observa en la Tabla 14-3.

**Tabla 14-3:** Matriz de criticidad con datos Empresa Petroriental S.A.

	SISTEMA ESTRUCTURAL												SISTEMA DE ACCESORIOS											
	ANILLO	ANILLO	ANILLO	BASES	BASES	BASES	SOPORTES	SOPORTES	SOPORTES	TECHO	TECHO	TECHO	ESCALERA	ESCALERA	ESCALERA	MANHOLE	MANHOLE	MANHOLE	FLOTADOR	FLOTADOR	FLOTADOR	SUMIDERO	SUMIDERO	SUMIDERO
	SE1	SE2	SE3	SE4	SE5	SE6	SE7	SE8	SE9	SE10	SE11	SE12	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8	SA9	SA10	SA11	SA12
CALIFICACIÓN SEGURIDAD	0	0	0	0	0	0	2	2	6	3	2	2	4	4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
CALIFICACIÓN AMBIENTE	2	3	3	2	2	2	1	1	2	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2	3	3
CALIFICACIÓN MANTENIMIENTO	4	6	6	2	2	2	2	2	4	3	3	3	4	4	2	1	1	1	2	2	3	2	3	3
CALIFICACIÓN PRODUCCIÓN	2	3	3	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	3	2	3	3

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

Una vez realizada la evaluación se puede ver en la tabla 14, que los elementos críticos y pocos probables se encuentran en el sistema estructural, específicamente en los anillos, soportes; los cuales tienen pérdida de espesores y fisuras en las paredes afectando la producción.

Los valores para calificaciones de la matriz de criticidad se describen a continuación en la Tabla 15-3.

**Tabla 15-3:** Valores para calificación de la matriz de criticidad.

CAMPO	CONSECUENCIA	CALIFICACIÓN
SEGURIDAD	ACCIDENTE GRAVE PROBABLE	9
SEGURIDAD	POCA INFLUENCIA EN SEGURIDAD	1, 2, 3
AMBIENTE	ACCIDENTE GRAVE PROBABLE	9
AMBIENTE	ACCIDENTE GRAVE, PERO MUY POCO PROBABLE	4 o 6
AMBIENTE	POCA INFLUENCIA EN AMBIENTE	1, 2, 3
PRODUCCIÓN	SUPONE PARADA O AFECTA EL RENDIMIENTO	9
PRODUCCIÓN	AFECTA EL RENDIMIENTO PERO EL FALLO ES POCO PROBABLE	4 o 6
PRODUCCIÓN	NO AFECTA LA PRODUCCION	1, 2, 3
MANTENIMIENTO	COSTOS MAYORES	9
MANTENIMIENTO	COSTOS TOLERABLES	4 o 6
MANTENIMIENTO	COSTOS MENORES	1, 2, 3

Fuente: Petrooriental. Realizado por Byron Bautista.

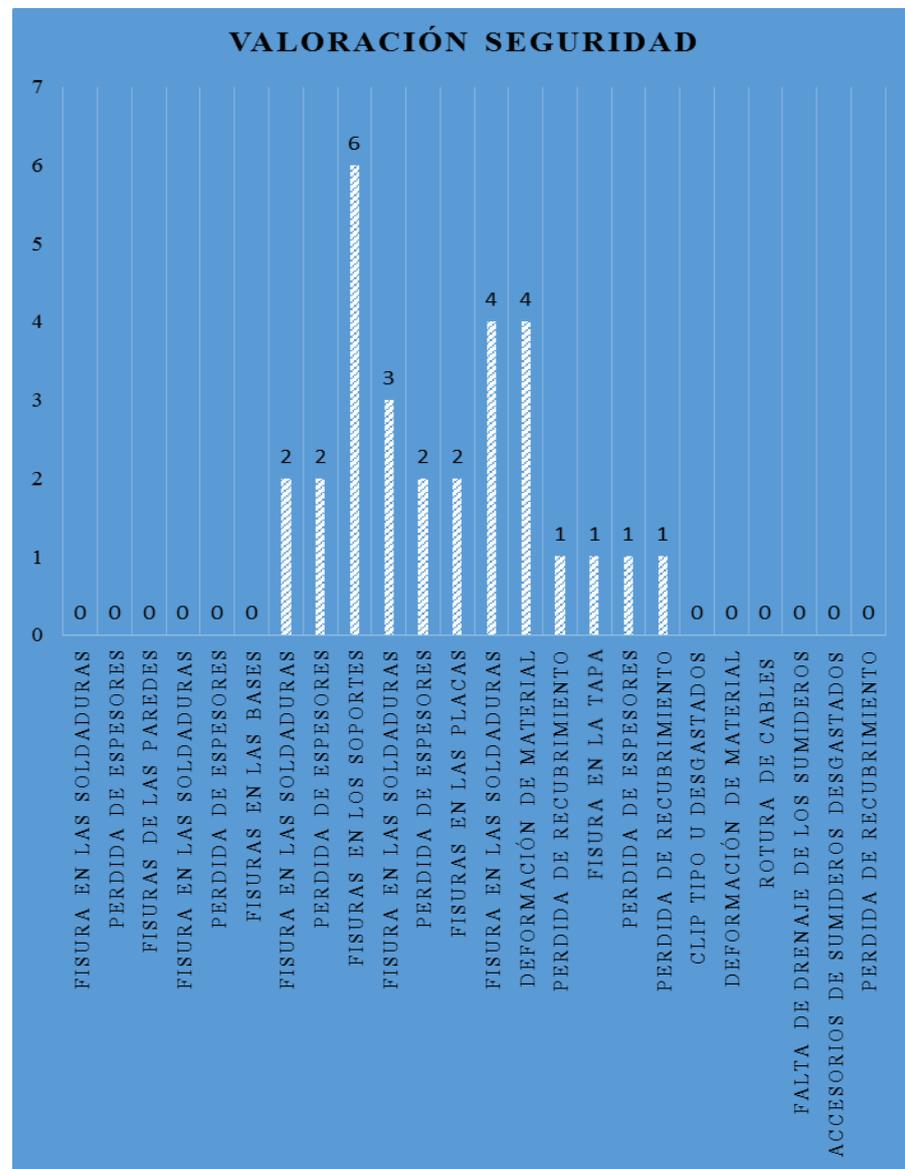
Una vez realizada la valoración de la criticidad se procede a realizar el establecimiento jerárquico de los fallos ocurridos de acuerdo a la etapa 7.

### 3.5.7. Etapa 7: Establecimiento jerárquico de los fallos ocurridos.

Se establecerá la jerarquización en función de la criticidad que estos impliquen a los ámbitos de seguridad, ambiente, producción y mantenimiento como se describen a continuación:

- **Jerarquía de los fallos en función de las implicaciones de Seguridad.**- En la Figura 34-3 se puede apreciar los mayores ítems de afectación en cuanto a la seguridad industrial, es decir al personal que tenga alguna relación directa o indirecta con los sistemas estructurales y de

accesorios, la valoración más alta se encuentra en las fisuras en los soportes con un grado de calificación de 6 que implica lo importante que significa para la seguridad.

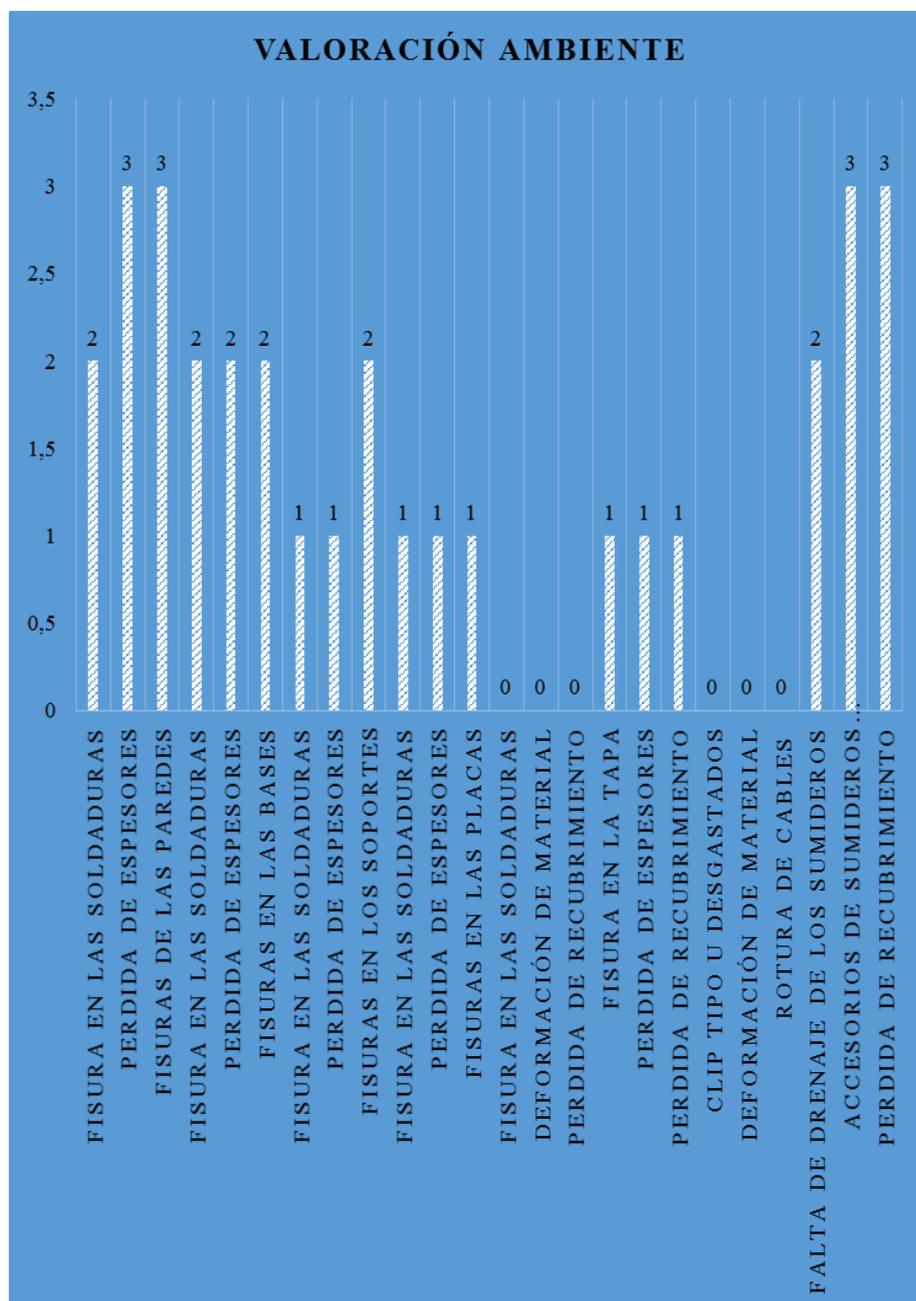


**Figura 34-3:** Valoración gráfica de implicaciones de seguridad.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

- **Jerarquía de los fallos en función de las implicaciones de Ambiente.**- Los más representativos son las pérdidas de espesores, fisuras en las paredes en lo que representa al sistema estructural, con lo que respecta al sistema de accesorios los elementos afectados son los ac-

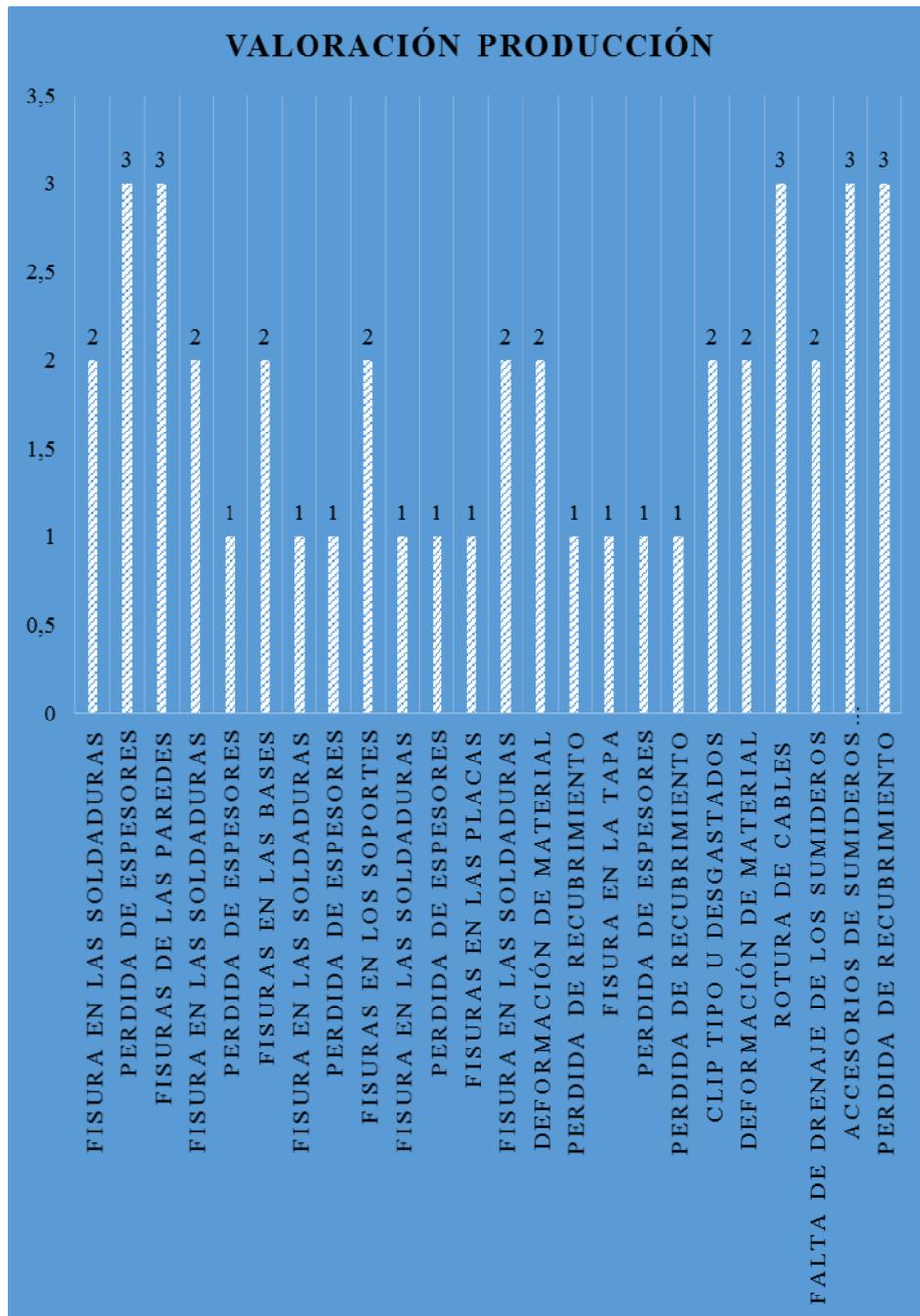
cesorios en sumideros y la pérdida de recubrimiento con un valor de 3, en la Figura 35-3 se muestra las valoraciones.



**Figura 35-3:** Valoración gráfica de implicaciones de ambiente.

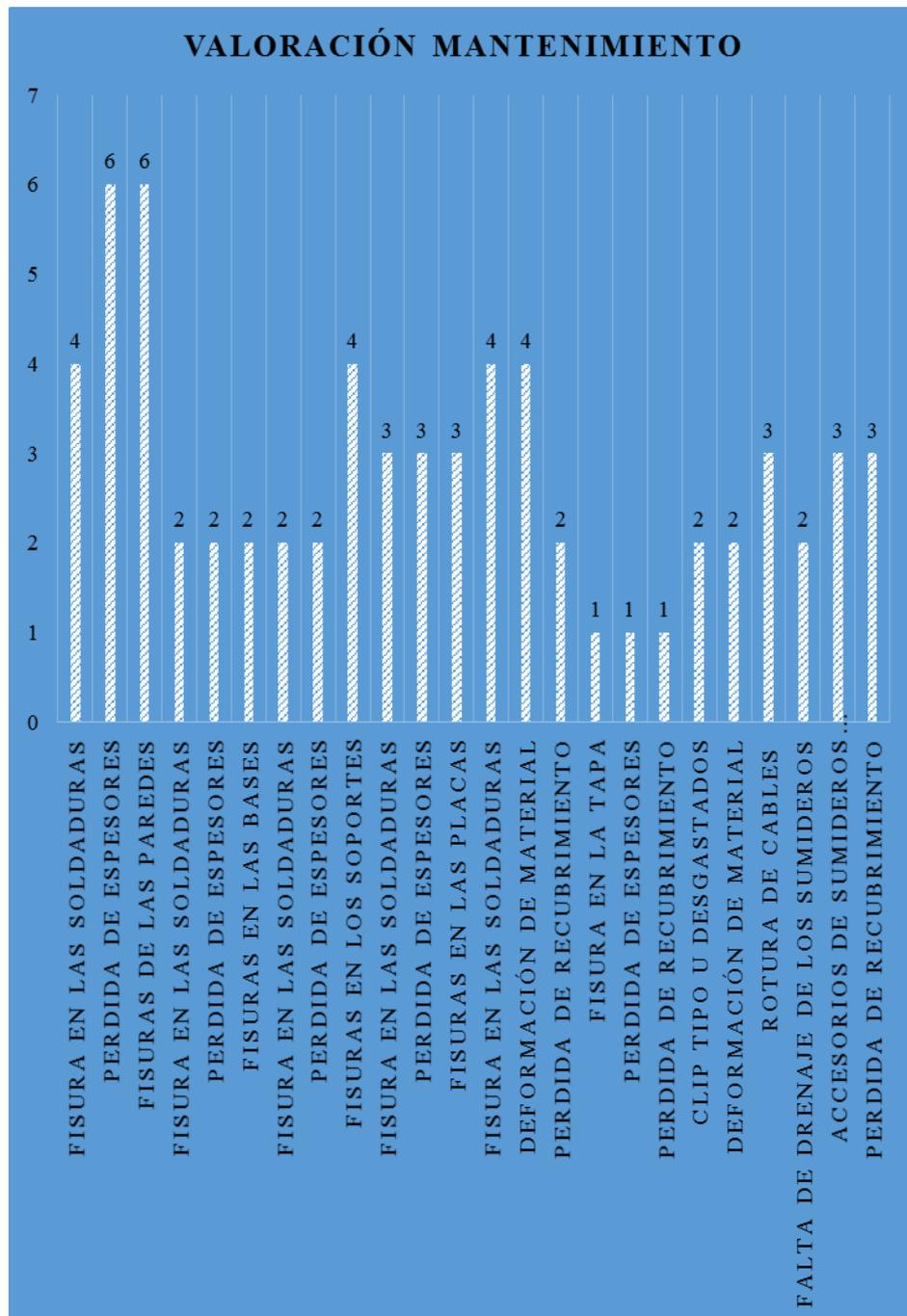
Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

- **Jerarquía de los fallos en función de las implicaciones de Producción.**- Para la valoración de la producción se encuentran la pérdida de espesores, fisuras de las paredes, rotura de cable, los accesorios del sumidero y la pérdida de recubrimiento que tienen como valoración de 3 siendo calificado como tolerable a continuación en la Figura 36-3 se detalla.



**Figura 36-3:** Valoración gráfica de las implicaciones de producción.

- **Jerarquía de los fallos en función de las implicaciones de Mantenimiento.-** Como se puede apreciar en las Figuras 36-3 y 37-3 la parte de producción y la parte de mantenimiento se ven afectadas por la pérdida de espesores y fisuras de las paredes con una valoración de 6 que implica los costos medios de reparación siendo una calificación importante a la matriz de criticidad.



**Figura 37-3:** Valoración gráfica de las implicaciones de mantenimiento.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

A continuación en la siguiente etapa 8 se realizara el índice de fiabilidad de acuerdo a las etapas anteriormente mencionadas.

**3.5.8. Etapa 8: Índice de fiabilidad**

Los índices existentes de la fiabilidad son los de operatividad, durabilidad, mantenibilidad y conservabilidad.

El índice que se utilizará en este estudio es el de operatividad, en donde intervienen la relación inversa de los tiempos medios entre fallos, como se muestra en la fórmula:

Fórmula de cálculo de fiabilidad.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Fórmula de cálculo de inversa de tiempo entre fallos.

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Donde:

R= Fiabilidad

t= Ciclo de trabajo

$\lambda$ = Inversa del tiempo medio entre fallas.

Con lo mencionado en las formulas anteriores, se procede a realizar el cálculo de fiabilidad en función de la operatividad y se tiene la siguiente Tabla 16-3.

**Tabla 16-3:** Fiabilidad de los componentes en los años 2014 y 2015.

ITEM	FIABILIDAD 2014	FIABILIDAD 2015
Fisura en las soldaduras	0,1339	0,1339
Perdida de espesores	0,0175	0,1339
Fisuras de las paredes	0,1339	0,0175
Fisura en las soldaduras	0,3669	0,1339
Perdida de espesores	0,3669	0,3669
Fisuras en las bases	0,1339	0,3669
Fisura en las soldaduras	0,3674	0,3674
Perdida de espesores	0,3674	0,3674
Fisuras en los soportes	0,1346	0,1346
Fisura en las soldaduras	0,3669	0,3669
Perdida de espesores	0,3674	0,3674
Fisuras en las placas	0,3674	0,3674
Fisura en las soldaduras	0,1353	0,1353
Deformación de material	0,1353	0,0497
Perdida de recubrimiento	0,3678	0,3678
Fisura en la Tapa	0,3674	0,3674

Perdida de espesores	0,3674	0,3674
Perdida de recubrimiento	0,3674	0,3674
Clip tipo U desgastados	0,1346	0,1346
Deformación de material	0,0495	0,1350
Rotura de cables	0,0181	0,0181
Falta de drenaje de los sumideros	0,0494	0,1348
accesorios de sumideros desgastados	0,0495	0,0495
Perdida de recubrimiento	0,0066	0,0494

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

Para la Tabla 16-3, los valores que resultan de la fórmula de fiabilidad deben ser cercanos a **uno** para que sea ideal. Las propuestas de mejora al mantenimiento en los tanques de almacenamiento de diésel serán las que ayuden a que estos valores se puedan ir aproximando a **uno**, lo cuales serán valores aceptables de fiabilidad, dicho de otra forma, cuando estos valores estén cerca a **uno**, será porque los tiempos medios entre falla son más largos.

### 3.5.9. *Etapa 9: Determinación de las medidas preventivas.*

Petroriental S.A en la actualidad no maneja ningún tipo de mantenimiento con lo que se refiere a mantenimiento de tanques de Diésel, y lo único que realizan son mantenimientos correctivos, en los últimos años no se ha dado ningún tipo de mantenimiento preventivo para evitar que alguno de los modos de fallo ocurran.

Durante la investigación se determinó que no se realizan inspecciones puntuales a los equipos pero se realizan inspecciones generales a toda plataforma que se encuentra expuesta, la información que arroja es mínima.

Tampoco se cuenta con una base de datos que incluya un historial de fallos con los diferentes acontecimientos que hayan tenido cada uno de los tanques de almacenamiento de combustible.

No se cuenta con un software que pueda ayudar en el manejo del mantenimiento de los tanques para saber con exactitud a que tiempo se necesita mantenimiento preventivo.

Una vez analizado las etapas de mantenimiento basadas en fiabilidad se procederá en el siguiente capítulo cuarto a dar resultados, conclusiones y recomendaciones.

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

De acuerdo al análisis de fiabilidad basado en las distintas etapas se determinaron como resultados que:

***Etapas 1.-*** La información técnica de los tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en la empresa Petroriental S.A. los mismos tienen placas de identificación en donde se puede observar los orígenes de fabricación de los tanques, de igual manera la ubicación e inicio de funcionamiento.

***Etapas 2.-*** En la codificación de los equipos de los tanques se determinó los sistemas de un tanque tanto estructural como de accesorios, mencionando los elementos y su respectiva codificación de acuerdo a las primeras iniciales de cada sistema y elemento. También los conceptos de cada elemento.

***Etapas 3.-*** Para el listado de funciones y sus especificaciones se analizó pesos y tipo de materiales de cada elemento y su respectiva función que cumple al momento que ingresa a ser parte del proceso de producción de petróleo.

***Etapas 4.-*** Para la determinación de los fallos fue necesario obtener las funciones de cada elemento que conforma un tanque, los fallos fueron determinados por sistema y elemento.

***Etapas 5.-*** Se determinó los fallos de los elementos de un tanque para luego poder tener una visión más concreta de los modos de fallos que acompañan a cada elemento dentro del sistema estructural y de accesorios, dando como resultados que las horas y número de fallos influyen más en los anillos con 384 horas. También la cantidad de fallos que se tiene en los sumideros 19, los mismos que se encuentran relacionados con las fisuras en las soldaduras, pérdida de espesores, fisuras en las paredes, falta de drenaje de los sumideros, accesorios desgastados, pérdida de recubrimiento.

**Etapa 6.-** Para esta etapa se realizó los estudios de las consecuencias de los fallos para determinar la criticidad dando como resultados calificaciones críticas, importantes y tolerables para la Seguridad, Medio Ambiente, Producción y Mantenimiento, en donde de acuerdo a los sistemas estructural y de accesorios se determinó los modos de fallos y su respectiva codificación.

**Etapa 7.-** Para el establecimiento jerárquico de los fallos ocurridos en función de la criticidad en los ámbitos de Seguridad, Medio Ambiente, Producción y Mantenimiento las valoraciones altas encontradas son:

- **Seguridad.-** Fisura en las paredes, la calificación es de 6 siendo importante con la consecuencia que el accidente sea grave muy poco probable.
- **Ambiente.-** Pérdida de espesores, fisura de las paredes, accesorios de sumideros y pérdida de recubrimiento, la calificación obtenida es de 3 siendo tolerable con la consecuencia que el accidente sea grave muy poco probable
- **Producción.-** Pérdida de espesores, fisura de las paredes, rotura de cables, accesorios de sumideros y pérdida de recubrimiento, su calificación encontrada es de 3 siendo tolerable no afectando a la producción.
- **Mantenimiento.-** Pérdida de espesores y fisura en las paredes, la calificación obtenida es de 6 siendo que implica los costos medios de reparación con una calificación importante la cual afecta al rendimiento de los equipos pero no influye en la producción.

**Etapa 8.-** Los valores obtenidos en los años 2014-2015 no se acercan a UNO para que sea ideal y no se tenga pérdidas, para que estos valores cambien y se acerquen a UNO es necesario realizar un plan de mantenimiento para que los tiempos medios entre falla sean más largos.

**Etapa 9.-** Para la determinación de las medidas preventivas y de acuerdo a lo obtenido en las etapas de mantenimiento basadas en fiabilidad, se encuentra que la empresa Petroriental S.A en la actualidad no maneja ningún tipo de mantenimiento con lo que se refiere a mantenimiento de tanques de Diésel, y lo único que realizan son mantenimientos correctivos.

De acuerdo a las etapas de mantenimiento basadas en fiabilidad el autor recomienda realizar una propuesta un plan de mantenimiento aplicando ingeniería de fiabilidad el mismo que contiene todos los elementos bajos las normas establecidas que se presenta a continuación.

#### **4.1. Plan de mantenimiento aplicando ingeniería de la fiabilidad en los tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en la empresa Petroriental S.A.**

De acuerdo al análisis realizado de las diferentes fases del mantenimiento basado en fiabilidad, definición y función de los elementos, codificación, determinación de los fallos, determinación

de los modos de fallos, criticidad de los fallos, tiempo medio entre fallos, se puede dar inicio a una propuesta de mantenimiento para dar solución a lo mencionado anteriormente.

#### 4.1.1. Inspecciones.

Las inspecciones de los elementos que conforman un tanque de almacenamiento de Diésel se lo hará al 50 % de los tiempos medios entre fallas para poder advertir cualquier anomalía que se pueda presentar en los componentes, para esto se llevara un control electrónico y físico del número de horas que se encuentra prestando servicio.

Para este trabajo se tomaran criterios de inspección de la normativa API 650, que entre otras cosas menciona lo establecido en la Tabla 17-4.

**Tabla 17-4:** Frecuencias de inspección para tanques.

SISTEMA	QUE INSPECCIONAR	QUE BUSCAR	FRECUENCIA (horas)	CONFORME (SI/ NO)	OBSERVACIONES
ESTRUCTURAL	ANILLO	Fisura en las soldaduras	2178,0		
	ANILLO	Perdida de espesores	1448,0		
	ANILLO	Fisuras de las paredes	1448,0		
	BASES	Fisura en las soldaduras	2908,0		
	BASES	Perdida de espesores	4368,0		
	BASES	Fisuras en las bases	2908,0		
	SOPORTES	Fisura en las soldaduras	4374,0		
	SOPORTES	Perdida de espesores	4374,0		
	SOPORTES	Fisuras en los soportes	2184,0		
	TECHO	Fisura en las soldaduras	4368,0		
	TECHO	Perdida de espesores	4374,0		
	TECHO	Fisuras en las placas	4374,0		
ACCESORIOS	ESCALERA	Fisura en las soldaduras	2189,0		
	ESCALERA	Deformación de material	1751,0		
	ESCALERA	Perdida de recubrimiento	4379,0		
	MANHOLE	Fisura en la Tapa	4374,0		
	MANHOLE	Perdida de espesores	4374,0		
	MANHOLE	Perdida de recubrimiento	4374,0		
	FLOTADOR	Clip tipo U desgastados	2184,0		
	FLOTADOR	Deformación de material	1749,0		
	FLOTADOR	Rotura de cables	1092,0		

	SUMIDERO	Falta de drenaje de los sumideros	1748,0		
	SUMIDERO	accesorios de sumideros desgastados	1457,0		
	SUMIDERO	Perdida de recubrimiento	1091,0		

Fuente: Petrooriental. Realizado por Byron Bautista.

Como se lo puede apreciar en la Tabla 17-4, se tiene un referencial de los tiempos medios entre fallas que ayudara a que los mantenimientos se puedan desarrollar antes de que ocurra la falla.

#### **4.1.2. Base de datos**

La empresa no cuenta al momento con un software que pueda ayudar en la gestión del mantenimiento de los Tanques de almacenamiento de combustible, por lo que este estudio tendrá el manejo de datos en el programa Excel que resulta una herramienta de gran ayuda para gestionar de manera adecuada el mantenimiento de los equipos que estén a cargo de la empresa.

En esta base de datos se registrará:

- Bloque a donde pertenece el tanque
- Nombre de la locación o plataforma
- Código o Tag.
- Capacidad.
- Datos de operación (presión, temperatura, sistemas)
- Datos de reparación (registros de pruebas, QA/QC)
- Datos de inspección (registros de ensayos no destructivos)
- Datos de mantenimiento (Hodómetro que marca el día del trabajo realizado, reporte del trabajo ejecutado, fecha del último mantenimiento, frecuencia que se realiza el mantenimiento, próximo mantenimiento, hallazgos, ejecutores y observaciones.)

Los elementos anteriores se los puede apreciar en la Tabla 18-4.



La base de datos será llenada con la ayuda de una hoja de verificación en campo que será el complemento de las inspecciones y que buscará los modos de fallo que se analizaron anteriormente, para que estos sean trasladados hacia la base de datos, y en esta se tendrá una retroalimentación con los nuevos valores de la ocurrencia de los fallos como de los mantenimientos realizados.

En esta hoja de verificación se tendrá que buscar los modos de fallo que se estudiaron en el capítulo anterior, pero por sobre todo aquellos que han existido a lo largo del período 2014-2015, debido a que en el análisis también se hizo constar los posibles modos de fallo que podrían ocurrir. Se deberá tomar muy en cuenta el tiempo medio entre fallos, para que los tiempos de inspección no lleguen de manera tardía, estos tiempos de inspección han sido colocados de manera automatizada en la hoja de Excel de este estudio.

Se tendrá como elemento principal de entrada de datos, el valor numérico que marque el hodómetro que tiene cada equipo, esto se lo hará de manera diaria, tal como se lo ve en la Tabla 19-4.

**Tabla 19-4:** Tabla de registro de datos en función hodómetro.

SISTEMA TANQUE		TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS ( MODO DE FALLO)	TRANSCURSO DE DIAS (2016- 2017)					2017-12-31
			2016-06-01	2016-06-02	2016-06-03	2016-06-04	2016-06-05	
			VALORES ESPERADOS DEL HODOMETRO					
SISTEMA ESTRUCTURAL	ANILLOS	Mantenimiento para Fisuras en las soldaduras	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Perdida de espesores	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Fisuras de las paredes	21240	21264	21288	21312	21336	35112
	BASES	Mantenimiento para Fisura en las soldaduras	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Perdida de espesores	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Fisuras en las bases	21240	21264	21288	21312	21336	35112
	SOPORTES	Mantenimiento para Fisura en las soldaduras	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Perdida de espesores	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Fisuras en los soportes	21240	21264	21288	21312	21336	35112
	TECHOS	Fisura en las soldaduras	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Perdida de espesores	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Fisuras en las placas	21240	21264	21288	21312	21336	35112

SISTEMA DE ACCESORIOS	ESCALERA	Mantenimiento para Fisura en las soldaduras	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Deformación de material	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Perdida de recubrimiento	21240	21264	21288	21312	21336	35112
	MANHOLE	Mantenimiento para Fisura en la Tapa	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Perdida de espesores	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Perdida de recubrimiento	21240	21264	21288	21312	21336	35112
	FLOTADOR	Mantenimiento para Clip tipo U desgastados	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Deformación de material	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Rotura de cables	21240	21264	21288	21312	21336	35112
	SUMIDERO	Mantenimiento para Falta de drenaje de los sumideros	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para accesorios de sumideros desgastados	21240	21264	21288	21312	21336	35112
		Mantenimiento para Perdida de recubrimiento	21240	21264	21288	21312	21336	35112

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista

De acuerdo a la Tabla 19-4, se tendrá un registro diario de las horas que lleva de vida el equipo, con esto se podrá gestionar las tareas de mantenimiento.

#### ***4.1.3. Mantenimientos con acciones preventivas.***

Se conoce los tiempos medios entre fallas, estos valores son los que ayudan a establecer el tiempo para realizar mantenimiento preventivo, es decir antes de que ocurra la falla.

La inspección de los elementos del tanque de combustible se lo hará con un porcentaje de holgura de acuerdo a la Tabla 20-4.

**Tabla 20-4: Tiempo de inspección de los elementos de un tanque de combustible.**

SISTEMA TANQUE	HODOMETRO ACTUAL TMEF-HOLGUERA	21240	TIEMPO MEJOR ENTRE FALLAS	TMEF (2014-2015)	ORDEN DE MANTENIMIENTO AL 10% TMEF	MAXIMO PLAZO PARA LANZAR ORDEN DE MANTENIMIENTO TMEF 3%	PARAR ANTES DEL FALLO 1% TMEF	TMEF	2016-06-01	2016-06-02	2017-04-28	2017-04-29	2017-04-30	2017-05-01	2017-05-02	2017-05-03	2017-05-04	2017-05-05	2017-05-06	2017-05-07	2017-05-08	2017-05-09	2017-05-10	2017-05-11	2017-05-12	2017-05-13	2017-05-14	2017-05-15	2017-05-16	2017-05-17	2017-05-18	2017-05-19	2017-05-20	2017-05-21	2017-05-22	2017-05-23	2017-05-24	2017-05-25	2017-05-26	2017-05-27	2017-05-28	2017-05-29	2017-05-30	2017-05-31	2017-06-01	2017-12-31
									SISTEMA ESCURCUTURRAL	ANILLOS	Mantenimiento para Fisuras en las soldaduras	4356	3960,00	4229,13	4312,87	25996	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832
Mantenimiento para Pérdida de espesores	2896	2632,73	2811,65	2867,33	24136	21240	21264	29184			29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112	
Mantenimiento para Fisuras de las paredes	2896	2632,73	2811,65	2867,33	24136	21240	21264	29184			29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112	
BASES	Mantenimiento para Fisura en las soldaduras	5816	5287,27	5646,60	5758,42	27056	21240	21264		29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112	
	Mantenimiento para Pérdida de espesores	8736	7941,82	8481,55	8649,50	29976	21240	21264		29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112	
	Mantenimiento para Fisuras en las bases	5816	5287,27	5646,60	5758,42	27056	21240	21264		29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112	
SOPORTES	Mantenimiento para Fisura en las soldaduras	8748	7952,73	8493,20	8661,39	29988	21240	21264		29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112	
	Mantenimiento para Pérdida de espesores	8748	7952,73	8493,20	8661,39	29988	21240	21264		29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112	
	Mantenimiento para Fisuras en los soportes	4368	3970,91	4240,78	4324,75	25608	21240	21264		29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112	
TECHOS	Fisura en las soldaduras	8736	7941,82	8481,55	8649,50	29976	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
	Mantenimiento para Pérdida de espesores	8748	7952,73	8493,20	8661,39	29988	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
	Mantenimiento para Fisuras en las placas	8748	7952,73	8493,20	8661,39	29988	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
ESCALERA	Mantenimiento para Fisura en las soldaduras	4379	3989,91	4251,46	4335,64	25619	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
	Mantenimiento para Deformación de material	3503	3184,55	3400,97	3468,32	24743	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
	Pérdida de recubrimiento	4379	3989,91	4251,46	4335,64	25619	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
MANHOLE	Mantenimiento para Fisura en la Tapa	8748	7952,73	8493,20	8661,39	29988	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
	Mantenimiento para Pérdida de espesores	8748	7952,73	8493,20	8661,39	29988	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
	Mantenimiento para Pérdida de recubrimiento	8748	7952,73	8493,20	8661,39	29988	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
ACCESORIOS	Mantenimiento para Clip tipo U desgastados	4368	3970,91	4240,78	4324,75	25608	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
	Deformación de material	3498	3180,00	3396,12	3463,37	24738	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
	Mantenimiento para Rotura de cables	2184	1985,45	2120,39	2162,38	23424	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
SUMIDERO	Mantenimiento para Fuga de drenaje de los sumideros	3496	3178,18	3394,17	3461,39	24736	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760	29784	29808	29832	29856	29880	29904	29928	29952	29976	30000	35112		
	Mantenimiento para accesorios de sumideros desgastados	2914	2649,09	2829,13	2885,15	24154	21240	21264	29184	29208	29232	29256	29280	29304	29328	29352	29376	29400	29424	29448	29472	29496	29520	29544	29568	29592	29616	29640	29664	29688	29712	29736	29760</													

Como se puede observar en la tabla 20 se tendrá un periodo de aviso para realizar el mantenimiento, los mismo que estarán incluidos porcentajes; de 10% con color verde, 3% color amarillo y 1% con color rojo para la alerta máxima para mantenimientos.

En el software creado se detalla todas las alertas de los mantenimientos por sistemas basados en TMEF.

#### ***4.1.4. Ordenes de trabajo.***

Las ordenes de mantenimiento preventivo se las dará con tiempo previo a que ocurra el fallo, tal como se lo vio en la tabla 20, los cuales irán apareciendo de manera automática en función de los datos de hodómetro que se lo ingresara de manera diaria.

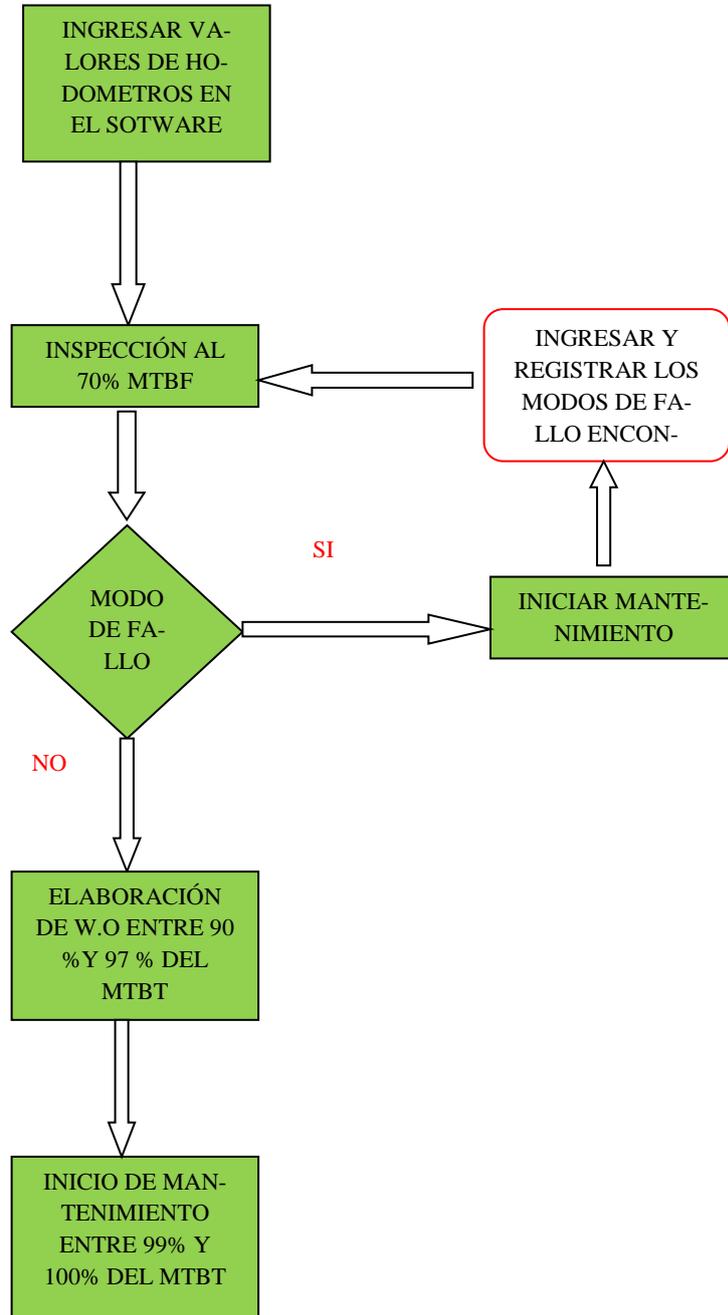
En la empresa Petroriental S.A se trabaja con el programa JD Edwards el mismos se encarga del mantenimiento de generación de órdenes de trabajo, ordenes de servicio, costos, retiro de materiales, históricos de todos los equipos, compras.

Y se tendrá como alerta de que el mantenimiento del ítem debe ser realizado inmediatamente cuando el tiempo medio entre falla esté entre el 99 y el 100%, tal como se lo ve en la tabla 20.

Dentro del software se podrá visualizar las alertas, cuando ya se haya llegado al tope del tiempo medio entre fallas.

#### 4.2. Algoritmo de intervención en mantenimiento preventivo de tanques de combustible.

Para realizar las tareas de mantenimiento y sus respectivas inspecciones serán con el involucramiento obligatorio de las tareas de inspección, que serán quienes alerten en caso de presentarse posibles anomalías para un modo de fallo, esto se lo puede apreciar en la Figura 38-4.



**Figura 38-4:** Algoritmo de mantenimiento de Tanques.

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

#### 4.3. Comparación de los costos de mantenimiento con y sin la ingeniería de la fiabilidad.

Para realizar la comparación de los costos fue necesario obtener la producción diaria de petróleo de los años, consumo de Diésel de los años 2014 -2015-2016-2017.

En la Tabla 21-4 se detalla la producción de petróleo de los años 2014 -2015-2016-2017.

**Tabla 21-4:** Producción de Crudo del Bloque sur de los años 2014-2015-2016-2017.

<b>Años</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Bbls/Día</b>	13500	13000	13000	13000
<b>Barril Extraído \$</b>	41,00	41,00	41,00	41,00
<b>Producción/Año \$</b>	<b>202.027.500,00</b>	<b>194.545.000,00</b>	<b>194.545.000,00</b>	<b>194.545.000,00</b>
<b>Producción /mes \$</b>	16.835.625,00	16.212.083,33	16.212.083,33	16.212.083,33
<b>Producción/día \$</b>	<b>553.500,00</b>	<b>533.000,00</b>	<b>533.000,00</b>	<b>533.000,00</b>

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista

Para los costos de diésel del Bloque sur se realizaron la parte anual, mensual y diaria.

El consumo y costo del galón de combustible entregado para los equipos electrógenos para los años: 2014 -2015-2016-2017., se muestra en la Tabla 22-4.

**Tabla 22-4:** Consumo y Costo de combustible entregado para equipos del Bloque Sur años 2014 -2015-2016-2017.

<b>Años</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Consumo total anual diésel (Galones)</b>	9672860,11	9993011	9993011	9993011
<b>Consumo diésel /mes (Galones)</b>	806071,68	832750,92	832750,92	832750,92
<b>Consumo diésel/día (Galones)</b>	26500,98	27378,11	27378,11	27378,11
<b>Costo de Galón \$</b>	2,75	2,90	2,90	2,90

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

El consumo y costos que se producen a diario con respecto a cada extracción de barril de petróleo con respecto al consumo de diésel de cada año se detallan en la siguiente Tabla 23-4.

**Tabla 23-4:** Producción de petróleo con respecto a cada tanque de combustible en los años 2014-2015-2016-2017.

Años	2014	2015	2016	2017
<b>Consumo diésel diario (Bbls)</b>	630,99	651,87	651,87	651,87
<b>Bbls/día</b>	13500	13000	13000	13000
<b>Numero de Tanques Bloque Sur</b>	23	23	23	23
<b>Bbls de diésel cada Tanque</b>	27,43	28,34	28,34	28,34
<b>Producción Crudo de cada Tanque Diario/Bbls</b>	492,09	458,68	458,68	458,68

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

El costo de mantenimiento para un tanque de combustible en los años 2014-2015 es de \$ **184.722,00**; de acuerdo las **tablas 24** y **Anexo A**, con estos parámetros se calcula la pérdida de producción que se tiene cuando el tanque tiene algún modo de fallo.

El perdida de producción con lo respecta a un tanque de combustible es de **\$907.127.37**

El costo de mantenimiento y la pérdida de producción con lo que respecta a los tanques de combustible suma la cantidad de \$ **1.091.849,37** esto durante los años 2014-2015, lo que representa **0.27%** del total de la producción esperada en el ciclo analizado.

El costo de mantenimiento y la perdida de producción de todos los tanques (23 u) en el Bloque Sur representa aproximadamente un **6.22%** de la producción de petróleo en los dos años de acuerdo como se muestra en la Tabla 24-4.

**Tabla 24-4:** Costos de mantenimiento y pérdida de producción de los años 2014-2015.

			SISTEMA ESTRUCTURAL										SISTEMA DE ACCESORIOS													
			ANILLO	ANILLO	ANILLO	BASES	BASES	BASES	SOPORTES	SOPORTES	SOPORTES	TECHO	TECHO	TECHO	ESCALERA	ESCALERA	ESCALERA	MANHOLE	MANHOLE	MANHOLE	FLOTADOR	FLOTADOR	FLOTADOR	SUMIDERO	SUMIDERO	SUMIDERO
			ANS	ANS	ANS	BAS	BAS	BAS	SOP	SOP	SOP	TEC	TEC	TEC	ESC	ESC	ESC	MAN	MAN	MAN	FLOT	FLOT	FLOT	SUM	SUM	SUM
DÍAS	FECHA	HORAS	Fisura en las soldaduras	Pérdida de espesores	Fisuras de las paredes	Fisura en las soldaduras	Pérdida de espesores	Fisuras en las bases	Fisura en las soldaduras	Pérdida de espesores	Fisuras en los soportes	Fisura en las soldaduras	Pérdida de espesores	Fisuras en las placas	Fisura en las soldaduras	Deformación de material	Pérdida de recubrimiento	Fisura en la Tapa	Pérdida de espesores	Pérdida de recubrimiento	Clip tipo U desgastados	Deformación de material	Rotura de cables	Falta de drenaje de los sumideros	accesorios de sumideros desgastados	Pérdida de recubrimiento
DÍAS ESPERADOS 2016-2017		730																								
PRODUCCION ESPERADA 2016 - 2017		17520																								
<b>HORAS DE FALLO 2014 - 2015 POR SISTEMA SIN PLAN DE MANTENIMIENTO</b>			96	144	144	72	48	72	24	24	48	48	24	24	4	5	2	24	24	24	48	30	48	40	36	64
COSTO MANTENIMIENTO		\$ 184.722,00	\$ 9.600,0	\$ 14.400,0	\$ 14.400,0	\$ 7.200,0	\$ 4.800,0	\$ 7.200,0	\$ 2.400,0	\$ 2.400,0	\$ 4.800,0	\$ 4.800,0	\$ 2.400,0	\$ 2.400,0	\$ 284,0	\$ 355,0	\$ 142,0	\$ 2.400,0	\$ 2.400,0	\$ 2.400,0	\$ 960,0	\$ 1.500,0	\$ 2.400,0	\$ 2.000,0	\$ 720,0	\$ 92.361,0
COSTO PERDIDA PRODUCCIÓN		\$ 907.127,37	\$ 77.962,6	\$ 116.943,9	\$ 116.943,9	\$ 58.472,0	\$ 38.981,3	\$ 58.472,0	\$ 19.490,7	\$ 19.490,7	\$ 38.981,3	\$ 38.981,3	\$ 19.490,7	\$ 19.490,7	\$ 3.248,4	\$ 4.060,6	\$ 1.624,2	\$ 19.490,7	\$ 19.490,7	\$ 19.490,7	\$ 38.981,3	\$ 24.363,3	\$ 38.981,3	\$ 32.484,4	\$ 29.236,0	\$ 51.975,1

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista

La empresa incurrirá en costos de mantenimiento de manera preventiva o de manera correctiva, siendo estas últimas las maneras que se quieren evitar pues tienen implicaciones directas en la producción, de esta forma se puede establecer en la Tabla 25-4 que los costos de pérdida de producción esperada en los años 2016-2017 se pueden reducir si se aplica el mantenimiento basado en fiabilidad,(Plan de Mantenimiento) es decir en el desempeño que tengan los diferentes elementos en el tiempo, para esto se dará uso primordial a los tiempos medios entre fallas (TMEF).

**Tabla 25-4:** Costos de mantenimiento y pérdida de producción con aplicación de fiabilidad de los años 2016-2017

			SISTEMA ESTRUCTURAL										SISTEMA DE ACCESORIOS													
			ANILLO	ANILLO	ANILLO	BASES	BASES	BASES	SOPORTES	SOPORTES	SOPORTES	TECHO	TECHO	TECHO	ESCALERA	ESCALERA	ESCALERA	MANHOLE	MANHOLE	MANHOLE	FLOTADOR	FLOTADOR	FLOTADOR	SUMIDERO	SUMIDERO	SUMIDERO
			ANS	ANS	ANS	BAS	BAS	BAS	SOP	SOP	SOP	TEC	TEC	TEC	ESC	ESC	ESC	MAN	MAN	MAN	FLOT	FLOT	FLOT	SUM	SUM	SUM
DÍAS	FECHA	HORAS	Fisura en las soldaduras	Pérdida de espesores	Fisuras de las paredes	Fisura en las soldaduras	Pérdida de espesores	Fisuras en las bases	Fisura en las soldaduras	Pérdida de espesores	Fisuras en los soportes	Fisura en las soldaduras	Pérdida de espesores	Fisuras en las placas	Fisura en las soldaduras	Deformación de material	Pérdida de recubrimiento	Fisura en la Tapa	Pérdida de espesores	Pérdida de recubrimiento	Clip tipo U desgastados	Deformación de material	Rotura de cables	Falta de drenaje de los sumideros	accesorios de sumideros desgastados	Pérdida de recubrimiento
DÍAS ESPERADOS 2016-2017		730																								
PRODUCCIÓN ESPERADA 2016 - 2017		17520																								
<b>HORAS DE FALLO 2016 - 2017 POR SISTEMA APLICANDO PLAN DE MANTENIMIENTO</b>			77	77	77	36	24	36	12	12	24	24	12	12	1	1	1	12	12	12	12	12	12	6	6	6
COSTO MANTENIMIENTO		\$ 95.946,00	\$ 7.700,0	\$ 7.700,0	\$ 7.700,0	\$ 3.600,0	\$ 2.400,0	\$ 3.600,0	\$ 1.200,0	\$ 1.200,0	\$ 2.400,0	\$ 2.400,0	\$ 1.200,0	\$ 1.200,0	\$ 71,0	\$ 71,0	\$ 71,0	\$ 1.200,0	\$ 1.200,0	\$ 1.200,0	\$ 240,0	\$ 600,0	\$ 600,0	\$ 300,0	\$ 120,0	\$ 47.973,0
COSTO PERDIDA PRODUCCIÓN		\$ 419.048,99	\$ 62.532,5	\$ 62.532,5	\$ 62.532,5	\$ 29.236,0	\$ 19.490,7	\$ 29.236,0	\$ 9.745,3	\$ 9.745,3	\$ 19.490,7	\$ 19.490,7	\$ 9.745,3	\$ 9.745,3	\$ 812,1	\$ 812,1	\$ 812,1	\$ 9.745,3	\$ 9.745,3	\$ 9.745,3	\$ 9.745,3	\$ 9.745,3	\$ 9.745,3	\$ 4.872,7	\$ 4.872,7	\$ 4.872,7

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista

Petroriental en los años 2016-2017 incurrirá en costos de mantenimiento para evitar paradas de producción aplicando un plan de mantenimiento descrito en el ítem 4.1.

La reducción de costos de mantenimiento es de \$ **95.946,00** y la pérdida de producción \$ **419.048,99** dando un total de \$ **514.994.99**. Lo que representa **0.13%** del total de la producción esperada en el ciclo 2016-2017.

El costo de mantenimiento y la pérdida de producción de todos los tanques (23 u) en el Bloque Sur representa aproximadamente un **3.04%** de la producción de petróleo en los dos años.

#### **4.4. Aplicación mantenimiento basado en fiabilidad 2016-2017**

Durante los años 2016-2017 se aplicara el plan de mantenimiento propuesto que tiene como base la fiabilidad de los elementos, durante los dos años no se realizara mantenimientos correctivos.

La Tabla 26-4 muestra que la diferencia que existe una vez aplicado la ingeniería de la fiabilidad durante los años 2014-2017.

**Tabla 26-4:** Comparación de costos 2014 – 2017.

<b>COSTOS</b>	<b>AÑOS 2014-2015 \$</b>	<b>AÑOS 2016-2017 \$</b>	<b>AHORRO APLICANDO FIABILIDAD \$</b>	<b>% DE AHORRO</b>
COSTOS DE MANTENIMIENTO	184.722,00 4.248.606,00	95.946,00 2.206.758,00	88.776,00 2,041,848,00	<b>48.06%</b>
COSTOS DE PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN	907.127.37 20.863.929.51	419.048,99 9.638.126,77	488,078.38 11,225,802.74,	<b>53.8%</b>

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

De acuerdo a la Tabla 26-4, la reducción es de un 48.06% con lo que respecta a costos de mantenimiento, con lo que representa la pérdida de producción es de un 53.8%, lo que también se traduce en reducción de las pérdidas económicas por mantenimientos correctivos.

#### **4.5. Comprobación de la hipótesis.**

Para la comprobación de la hipótesis en la presente investigación se emplea la prueba estadística Chi-cuadrado la cual permite comprobar la diferencia entre los datos obtenidos en el mantenimiento actual con los datos esperados.

En la Tabla 27-4 se tiene los datos observados en el estudio y los datos esperados.

**Tabla 27-4:** Datos observados y esperados.

SISTEMA TANQUE		TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	#	HORAS DE FALLO 2014 - 2015	HORAS DE FALLO 2016 - 2017	TOTAL	SIN ANALISIS	CON ANALISIS	TOTAL
SISTEMA ESTRUCTURAL	ANILLOS	Mantenimiento para Fisuras en las soldaduras	1	96	77	173	118,335	54,665	173,000
		Mantenimiento para Perdida de espesores	2	144	77	221	151,168	69,832	221,000
		Mantenimiento para Fisuras de las paredes	3	144	77	221	151,168	69,832	221,000
	BASES	Mantenimiento para Fisura en las soldaduras	4	72	36	108	73,874	34,126	108,000
		Mantenimiento para Perdida de espesores	5	48	24	72	49,249	22,751	72,000
		Mantenimiento para Fisuras en las bases	6	72	36	108	73,874	34,126	108,000
	SOPORTES	Mantenimiento para Fisura en las soldaduras	7	24	12	36	24,625	11,375	36,000
		Mantenimiento para Perdida de espesores	8	24	12	36	24,625	11,375	36,000
		Mantenimiento para Fisuras en los soportes	9	48	24	72	49,249	22,751	72,000
	TECHOS	Fisura en las soldaduras	10	48	24	72	49,249	22,751	72,000
		Mantenimiento para Perdida de espesores	11	24	12	36	24,625	11,375	36,000
		Mantenimiento para Fisuras en las placas	12	24	12	36	24,625	11,375	36,000
SISTEMA DE ACCESORIOS	ESCALERA	Mantenimiento para Fisura en las soldaduras	13	4	1	5	3,420	1,580	5,000
		Mantenimiento para Deformación de material	14	5	1	6	4,104	1,896	6,000
		Perdida de recubrimiento	15	2	1	3	2,052	0,948	3,000
	MANHOLE	Mantenimiento para Fisura en la Tapa	16	24	12	36	24,625	11,375	36,000
		Mantenimiento para Perdida de espesores	17	24	12	36	24,625	11,375	36,000
		Mantenimiento para Perdida de recubrimiento	18	24	12	36	24,625	11,375	36,000
	FLOTADOR	Mantenimiento para Clip tipo U desgastados	19	48	12	60	41,041	18,959	60,000
		Deformación de material	20	30	12	42	28,729	13,271	42,000
		Mantenimiento para Rotura de cables	21	48	12	60	41,041	18,959	60,000
	SUMIDERO	Mantenimiento para Falta de drenaje de los sumideros	22	40	6	46	31,465	14,535	46,000
		Mantenimiento para accesorios de sumideros desgastados	23	36	6	42	28,729	13,271	42,000
		Mantenimiento para Perdida de recubrimiento	24	64	6	70	47,881	22,119	70,000
				<b>1117</b>	<b>516</b>	<b>1633</b>	<b>1117,000</b>	<b>516,000</b>	<b>1633,000</b>

Fuente: Petroriental. Realizado por Byron Bautista.

Para el cálculo de Chi cuadro se utilizó la siguiente formula:

$$X^2 = \sum (F_o - F_e)^2 / F_e$$

En donde:

$X^2$  = Chi cuadrado

$\sum$  = Sumatoria

F<sub>o</sub> = Frecuencia observada de la realización de un acontecimiento observado

F<sub>e</sub> = Frecuencia esperada

**Tabla 28-4:** Cálculo de Chi cuadrado.

CALCULO DE LA FORMULA		FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ESPERADA	TOTAL
SISTEMA ESTRUCTURAL	ANILLOS	4,216	9,126	
		0,340	0,736	
		0,340	0,736	
	BASES	0,048	0,103	
		0,032	0,069	
		0,048	0,103	
	SOPORTES	0,016	0,034	
		0,016	0,034	
		0,032	0,069	
	TECHOS	0,032	0,069	
		0,016	0,034	
		0,016	0,034	
SISTEMA DE ACCESORIOS	ESCALERA	0,098	0,213	
		0,196	0,423	
		0,001	0,003	
	MANHOLE	0,016	0,034	
		0,016	0,034	
		0,016	0,034	
	FLOTADOR	1,180	2,554	
		0,056	0,122	
		1,180	2,554	
	SUMIDERO	2,315	5,012	
1,840		3,984		
5,426		11,746	<b>CHI CUADRADO</b>	
<b>TOTAL</b>		<b>17,490</b>	<b>37,860</b>	<b>55,350</b>

Fuente: Petrooriental. Realizado por Byron Bautista.

Los grados de libertad son una función del número de casillas en una tabla es decir, los grados de libertad reflejan el tamaño de la tabla 28. Los grados de libertad de la columna son el número de filas menos 1. Los grados de libertad de cada fila es igual al número de columnas menos 1, o bien, El efecto neto es que el número de grados de libertad para la tabla es el producto de (número de filas -1) por (número de columnas -1).

Por lo tanto con 2 filas y 24 columnas, los grados de libertad es  $(2 - 1) (24-1) = 23$ .

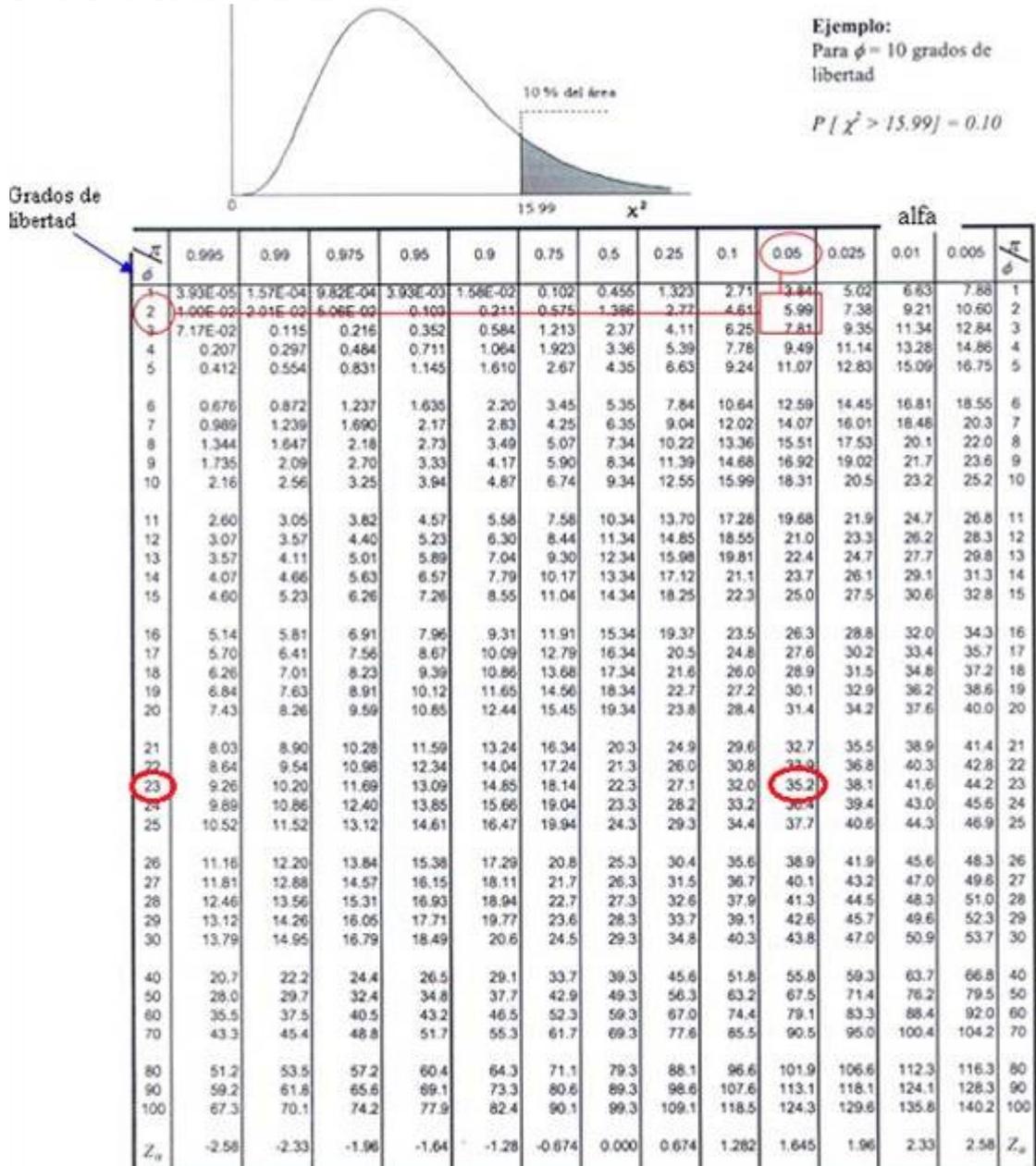
El valor de 0,05 es un valor establecido de acuerdo al nivel de confianza es decir del 95%.

Si  $p > 0,05$  el resultado no es significativo, es decir, se acepta la hipótesis nula de independencia y por lo tanto se concluye que ambas variables estudiadas son independientes, no existe una relación entre ellas. Esto significa que existe más de un 5% de probabilidad de que la hipótesis nula sea cierta en nuestra población y lo consideramos suficiente para aceptar.

La prueba chi cuadrado requiere la comparación del  $\chi^2_{prueba}$  con el  $\chi^2_{tabla}$  Si el valor estadístico de prueba es menor que el valor tabular, la hipótesis nula es aceptada, caso contrario,  $H_0$  es rechazada.

En la Tabla 29-4 se observa que para todos los grados de libertad de acuerdo a los cálculos es:

Tabla 29-4: Distribución Chi cuadrado.



Fuente: <http://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Series/MBE04/5266>.

Según la Tabla 29-4 nuestro caso chi tabulado es 35.2 y chi calculado es 55.35, como este valor es mayor se determina que la hipótesis es nula, por lo tanto nuestra hipótesis es aceptada.

## 4.6. Conclusiones y recomendaciones

### 4.6.1. Conclusiones

- Para el análisis de mantenimiento aplicando Ingeniería de la Fiabilidad en los Tanques de almacenamiento de combustible diésel utilizados para la generación de energía en los Bloques 14 y 17 en la empresa Petroriental S.A. se utilizó como herramienta principal la contribución del autor Luis Felipe Sexto que presenta un enfoque más técnico, operativo al mantenimiento de fiabilidad se determinó el siguiente estudio basándose en las siguientes 9 etapas descritas en la Tabla 30-3.

- Analizados los mantenimientos correctivos desde el año 2014 hasta el 2015 bajo la información proporcionada por la empresa Petroriental S.A se obtuvieron resultados del número de fallos y cantidad de fallos de los elementos que conforman un tanque de combustible en los cuales siendo los anillos con mayor número de horas de fallos 384 y con una cantidad de fallos de 16 como de describe en las Tablas 10-3 y 11-3.

- Se realizó la evaluación de los planes de mantenimiento aplicando el método de Fiabilidad durante los años 2014-2017 donde se encontraron los siguientes resultados:

- Las pérdidas económicas de mantenimientos durante los años 2014-2015 es de **\$4,248,606.00** y ya con la aplicación de ingeniería de la fiabilidad durante los años 2016-2017 se tiene costos de mantenimiento de **\$2,206,758.00** obteniendo una diferencia de **\$ 2,041,848.00** con un porcentaje 48.06% de ahorro.

- Las pérdidas económicas de producción durante los años 2014-2015 es de **\$20,863,929.51** y ya con la aplicación de ingeniería de la fiabilidad durante los años 2016-2017 se tiene costos de producción de **\$9,638,126.77** obteniendo una diferencia de **\$ 11,225,802.74** con un porcentaje 53.8% de ahorro.

El ahorro se realizó para todos los 23 tanques del Bloque Sur.

- Se propone un plan de mantenimiento basado en fiabilidad el mismos que contiene los siguientes pasos:

- Inspecciones
- Base de datos.- En esta base de datos se registrará
- Bloque a donde pertenece el tanque
- Nombre de la locación o plataforma
- Código o Tag.
- Capacidad.

- Datos de operación (presión, temperatura, sistemas)
- Datos de reparación (registros de pruebas, QA/QC)
- Datos de inspección (registros de ensayos no destructivos)
- Mantenimientos con acciones preventivas.
- Ordenes de trabajo
- Algoritmos de intervención en mantenimiento preventivo de tanques de combustible.

#### **4.6.2. Recomendaciones**

- a) Aplicar el Plan de Mantenimiento propuesto debido a que contienen todos elementos técnicos que exigen las normas nacionales e internacionales.
- b) Tener en cuenta el uso de los tiempos medios entre fallas ya establecidos en la investigación.
- c) Introducir todos los fallos que ocurran usando la tabla Excel de manejo de datos que se tiene en esta investigación.
- d) Ejecutar inspecciones en función de los ítems establecidos en la Tabla 17-4 y Tabla 18-4.

## BIBLIOGRAFÍA

- (AmericanPetroleumInstitute), A. s. (2001). API 650 - 07.
- Creus Solé, A. (2009). *Fiabilidad y seguridad de procesos industriales*. España: Marcombo.
- EMERSON. (2002). *Mantenimiento basado en fiabilidad*. Obtenido de [http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/BusSch-maintenance\\_102es.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/BusSch-maintenance_102es.pdf)
- INGEMAN. (25 de Noviembre de 2015). *Técnicas de Ingeniería de Fiabilidad*. Obtenido de file:///C:/Users/Froy/Downloads/documento%20(2).pdf
- INGEMAN. (26 de Noviembre de 2015). *Técnicas de Ingeniería de Fiabilidad*. Obtenido de file:///C:/Users/Froy/Downloads/documento%20(2).pdf
- Institute), A. s. (2001). API . En D. p. edición.
- INVESTIGACIÓN, T. D. (2013). *INVESTIGACIÓN*. Obtenido de <https://docs.google.com/document/d/1j0TNPsfT29RBv0gqlpRH5H-bUTYYoIBbt5UbsTmrQUQ/edit?hl=es>
- PETROLEUM, A. (2012). ANDES PETROLEUM ECUADOR LTD. *Energía y Ambiente en Armonía*, PAG.5-79.
- Petroriental. (18 de Noviembre de 2010). *Andes Petroleum Ecuador LTD*. Obtenido de <http://www.andespetro.com/es/html/terms.htm>
- Pichardo Martínez , J. (2010). *Metodología para la creación del sistema de inspección y diagnóstico de equipos estaticos* . Cuba: Instituto Superior Politécnica José Antonio Echeverría.
- Andespetroleum 2016: <http://www.andespetro.com/html/index.htm>
- Sexto, L. (2012). *Ingeniería de la fiabilidad*. Cuba: Radical Management
- API 650: (2003) (Instituto americano del petróleo): Soldadura de tanques de almacenamiento
- API 653: .(2001) (Instituto americano del Petróleo): Inspección, reparación, alteración y reconstrucción de tanques de acero
- ASME B31.4 (2002) (Sociedad americana de Ingeniería mecánica): Sistema de transportación de líquidos hidrocarburiíferos.
- NTP316 (1991).- Fiabilidad de componentes.
- Forklift Crown. Hoja de especificaciones técnicas. Recuperado el 1 de Octubre de 2015 de: [http://www.crownnederland.com/SpecSheet/RD5200\\_spec\\_GB.pdf](http://www.crownnederland.com/SpecSheet/RD5200_spec_GB.pdf)
- AEC. Concepto de fiabilidad. Recuperado el 9 de Junio de 2015. [http://www.aec.es/c/document\\_library/get\\_file?p\\_l\\_id=33948&folderId=257007&name=D LFE-11836.pdf](http://www.aec.es/c/document_library/get_file?p_l_id=33948&folderId=257007&name=D LFE-11836.pdf)

## ANEXOS