



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **“APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD A LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS DE LA ESTACIÓN TAPIR A DEL BLOQUE 17 PETRORIENTAL”**

**EDGAR PATRICIO GUEVARA ÁVALOS**

**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:**

**MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

Riobamba – Ecuador

Noviembre 2016

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**CERFIFICACIÓN:**

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación y Desarrollo, titulado “Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a los grupos electrógenos de la estación Tapir A del bloque 17 PetroOriental”, de responsabilidad del Sr. Edgar Patricio Guevara Ávalos, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Ing. WILSON ZÚNIGA VINUEZA; M. Sc. \_\_\_\_\_

**PRESIDENTE**

Ing. GEOVANNY GUILLERMO NOVILLO; M. Sc. \_\_\_\_\_

**DIRECTOR**

Ing. CARLOS OSWALDO ÁLVAREZ PACHECO; M. Sc. \_\_\_\_\_

**MIEMBRO**

Dr. MARCO ANTONIO HARO MEDINA; M. Sc. \_\_\_\_\_

**MIEMBRO**

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Edgar Patricio Guevara Ávalos, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

EDGAR PATRICIO GUEVARA ÁVALOS  
C.I 060215851-1

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Edgar Patricio Guevara Ávalos; declaro que el presente proyecto de investigación, es 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 en este trabajo de Titulación de Maestría.

---

Edgar Patricio Guevara Ávalos

C.I 060215851-1

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco al Director de este trabajo Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade; M. Sc., a los Miembros del tribunal Ing. Carlos Oswaldo Álvarez Pacheco; M. Sc., y Dr. Marco Antonio Haro Medina; M. Sc., por su contribución y el tiempo dedicado en la revisión del presente trabajo.

Mi reconocimiento a la empresa PetroOriental por todo el valioso apoyo brindado al permitir obtener la información necesaria para desarrollar este trabajo investigativo.

Al personal de operaciones de la estación Tapir A, por abrirme las puertas y brindarme todo el apoyo para que se pueda concluir con este trabajo de investigación.

Patricio

## ÍNDICE

|  | Páginas                               |
|--|---------------------------------------|
| ÍNDICE GENERAL .....                               | <i>vi</i>                             |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                              | <i>xii</i>                            |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                            | <i>xiv</i>                            |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS.....                            | <i>xv</i>                             |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....                             | <i>xvi</i>                            |
| RESUMEN .....                                      | <i>xvii</i>                           |
| SUMMARY.....                                       | <i>x;Error! Marcador no definido.</i> |
| <br><b>CAPÍTULO I</b>                              |                                       |
| PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....                    | 1                                     |
| 1.1 <b>Introducción</b> .....                      | 1                                     |
| 1.2 <b>Antecedentes</b> .....                      | 7                                     |
| 1.3 <b>Problema de investigación</b> .....         | 9                                     |
| 1.3.1 <i>Planteamiento del problema</i> .....      | 9                                     |
| 1.4 <b>Sistematización del problema</b> .....      | 9                                     |
| 1.5 <b>Justificación de la investigación</b> ..... | 10                                    |
| 1.6 <b>Objetivos</b> .....                         | 11                                    |
| 1.6.1 <i>Objetivo general</i> .....                | 11                                    |
| 1.6.2 <i>Objetivos específicos</i> .....           | 11                                    |
| 1.7 <b>Hipótesis</b> .....                         | 11                                    |
| 1.8 <b>Delimitación</b> .....                      | 12                                    |
| <br><b>CAPÍTULO II</b>                             |                                       |
| MARCO TEÓRICO .....                                | 13                                    |
| 2.1 <b>Mantenimiento industrial</b> .....          | 13                                    |
| 2.1.1 <i>Objetivo del mantenimiento</i> .....      | 13                                    |
| 2.1.2 <i>Tipos de mantenimiento</i> .....          | 13                                    |
| 2.1.2.1 <i>Mantenimiento correctivo</i> .....      | 13                                    |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 2.1.2.2   | <i>Mantenimiento preventivo</i> .....                                    | 14 |
| 2.1.2.2.1 | <i>Mantenimiento periódico</i> .....                                     | 15 |
| 2.1.2.2.2 | <i>Mantenimiento programado (intervalos fijos)</i> .....                 | 15 |
| 2.1.2.2.3 | <i>Mantenimiento de mejora</i> .....                                     | 15 |
| 2.1.2.2.4 | <i>Mantenimiento autónomo</i> .....                                      | 15 |
| 2.1.2.2.5 | <i>Mantenimiento rutinario</i> .....                                     | 16 |
| 2.1.2.3   | <i>Mantenimiento predictivo</i> .....                                    | 16 |
| 2.1.2.4   | <i>Mantenimiento centrado en la Confiabilidad (MCC)</i> .....            | 16 |
| 2.1.3     | <b><i>Modos de fallo</i></b> .....                                       | 18 |
| 2.2       | <b>Grupo electrógeno</b> .....   | 19 |
| 2.2.1     | <b><i>Definición</i></b> .....   | 19 |
| 2.2.2     | <b><i>Utilidades</i></b> .....   | 19 |
| 2.2.3     | <b><i>Características generales</i></b> .....                            | 19 |
| 2.2.3.1   | <i>Motor</i> .....   | 19 |
| 2.2.3.2   | <i>Regulación del motor</i> .....  | 20 |
| 2.2.3.3   | <i>Sistema eléctrico del motor</i> .....                                 | 20 |
| 2.2.3.4   | <i>Sistema de refrigeración</i> .....                                    | 21 |
| 2.2.3.5   | <i>Alternador</i> .....  | 21 |
| 2.2.3.6   | <i>Depósito de combustible y bancada</i> .....                           | 21 |
| 2.2.3.7   | <i>Aislamiento de la vibración</i> .....                                 | 22 |
| 2.2.3.8   | <i>Silenciador y sistema de escape</i> .....                             | 22 |
| 2.2.3.9   | <i>Sistema de control</i> .....  | 22 |
| 2.2.3.10  | <i>Interruptor automático de salida</i> .....                            | 22 |
| 2.2.3.11  | <i>Otros accesorios instalables en un grupo electrógeno</i> .....        | 23 |
| 2.3       | <b>Motores Waukesha</b> .....  | 23 |
| 2.3.1     | <b><i>Características de los equipos instalados (VHP 7100)</i></b> ..... | 24 |
| 2.3.1.1   | <i>Cabeza del cilindro y válvulas</i> .....                              | 24 |
| 2.3.1.2   | <i>Cárter</i> .....  | 25 |
| 2.3.1.3   | <i>Cigüeñal</i> .....  | 25 |
| 2.3.1.4   | <i>Colectores de entrada</i> .....                                       | 25 |
| 2.3.1.5   | <i>Colectores de salida</i> .....  | 25 |
| 2.3.1.6   | <i>Bielas conectoras</i> .....   | 25 |
| 2.3.1.7   | <i>Turbocompresores</i> .....  | 25 |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 2.3.1.8  | <i>Pistones</i> .....  | 26 |
| 2.3.1.9  | <i>Árboles de levas</i> .....  | 26 |
| 2.3.1.10   | <i>Carburadores</i> .....  | 26 |
| 2.3.1.11   | <i>Intercambiadores</i> .....  | 26 |
| 2.3.1.12   | <i>Gestor del sistema del motor (ESM) waukesha</i> .....             | 27 |
| 2.3.1.12.1   | <i>Detección de detonación</i> .....                                 | 27 |
| 2.3.1.12.2   | <i>Sistema de arranque</i> .....                                     | 27 |
| 1.2.3  | <b><i>Control de proporción aire / combustible</i></b> .....         | 27 |
| 2.3.2  | <b><i>Sistema gobernador de velocidad</i></b> .....                  | 28 |
| 2.3.2.1  | <i>Descripción del sistema gobernador de velocidad</i> .....         | 28 |
| 2.3.2.2  | <i>Descripción del sistema de combustible</i> .....                  | 28 |
| 2.3.2.3  | <i>Descripción del sistema de arranque</i> .....                     | 28 |
| 2.3.2.4  | <i>Descripción del sistema de entrada de aire</i> .....              | 29 |
| 2.3.2.5  | <i>Descripción del sistema de refrigeración</i> .....                | 29 |
| 2.3.2.6  | <i>Descripción del sistema de lubricación</i> .....                  | 29 |
| 2.3.2.7  | <i>Descripción del sistema de salida</i> .....                       | 29 |
| 2.3.2.8  | <i>Descripción del sistema de respiradero del cárter</i> .....       | 29 |
| <br><b>CAPÍTULO III</b>                              |  |    |
| DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO..... |  | 31 |
| 3.1  | <b>Adquisición de datos los grupos electrógenos de Tapir A</b> ..... | 31 |
| 3.1.1  | <i>Descripción de equipos</i> .....                                  | 31 |
| 3.1.2  | <i>Eventos ocurridos en 2015</i> .....                               | 31 |
| 3.2  | <b>Análisis de datos los grupos electrógenos de Tapir A</b> .....    | 35 |
| 3.2.1  | <i>Fallos por sistema</i> .....                                      | 35 |
| 3.2.2  | <i>Fallos por elemento</i> .....                                     | 36 |
| <br><b>CAPÍTULO IV</b>                               |  |    |
| PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.....                      |  | 39 |
| 4.1  | <b>Listado de elementos y códigos</b> .....                          | 39 |
| 4.2  | <b>Funciones de los sistemas del generador</b> .....                 | 40 |
| 4.2.1  | <b><i>Función del sistema de instrumentación</i></b> .....           | 40 |
| 4.2.1.1  | <i>Función de la termocupla</i> .....                                | 40 |



|         |  |    |
|---------|--|----|
| 4.2.1.2 | <i>Función del sensor de flama</i> .....                     | 41 |
| 4.2.2   | <b>Función del sistema eléctrico</b> .....                   | 41 |
| 4.2.2.1 | <i>Función del breaker</i> .....                             | 42 |
| 4.2.2.2 | <i>Función de la bujía</i> .....                             | 42 |
| 4.2.2.3 | <i>Función del fusible</i> .....                             | 43 |
| 4.2.2.4 | <i>Función del transformador</i> .....                       | 43 |
| 4.2.3   | <b>Función del sistema mecánico</b> .....                    | 44 |
| 4.2.3.1 | <i>Función del radiador</i> .....                            | 44 |
| 4.2.3.2 | <i>Función del turbocompresor</i> .....                      | 44 |
| 4.3     | <b>Fallos de los sistemas del generador</b> .....            | 45 |
| 4.3.1   | <b>Fallos en sistema de instrumentación</b> .....            | 45 |
| 4.3.1.1 | <i>Fallos en termocupla</i> .....                            | 45 |
| 4.3.1.2 | <i>Fallos en sensor flama</i> .....                          | 45 |
| 4.3.2   | <b>Fallos en sistema eléctrico</b> .....                     | 45 |
| 4.3.2.1 | <i>Fallos en breaker</i> .....                               | 46 |
| 4.3.2.2 | <i>Fallos en bujía</i> .....                                 | 46 |
| 4.3.2.3 | <i>Fallos en fusible</i> .....                               | 46 |
| 4.3.2.4 | <i>Fallos en transformador</i> .....                         | 46 |
| 4.3.3   | <b>Fallos en sistema mecánico</b> .....                      | 46 |
| 4.3.3.1 | <i>Fallos en radiador</i> .....                              | 47 |
| 4.3.3.2 | <i>Fallos en turbocompresor</i> .....                        | 47 |
| 4.4     | <b>Determinación del modo de fallo de los sistemas</b> ..... | 47 |
| 4.4.1   | <b>Modo de fallo sistema instrumentación</b> .....           | 47 |
| 4.4.1.1 | <i>Modo de fallo en termocupla</i> .....                     | 47 |
| 4.4.1.2 | <i>Modo de fallo en sensor de flama</i> .....                | 47 |
| 4.4.2   | <b>Modo de fallo sistema eléctrico</b> .....                 | 48 |
| 4.4.2.1 | <i>Modo de fallo en breaker</i> .....                        | 48 |
| 4.4.2.2 | <i>Modo de fallo en la bujía</i> .....                       | 48 |
| 4.4.2.3 | <i>Modo de fallo en fusible</i> .....                        | 48 |
| 4.4.2.4 | <i>Modo de fallo en transformador</i> .....                  | 48 |
| 4.4.3   | <b>Modo de fallo sistema mecánico</b> .....                  | 48 |
| 4.4.3.1 | <i>Modo de fallo en turbocompresor</i> .....                 | 48 |
| 4.4.3.2 | <i>Modo de fallo en radiador</i> .....                       | 49 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 4.5     | <b>Consecuencias de los fallos</b> .....  | 49 |
| 4.5.1   | <i>Consecuencias de los fallos en el sistema de instrumentación</i> .....                   | 49 |
| 4.5.1.1 | <i>Consecuencias de fallos en termocupla</i> .....  | 49 |
| 4.5.1.2 | <i>Consecuencias de fallos en sensor de flama</i> .....                                     | 49 |
| 4.5.2   | <b>Consecuencias de los fallos en el sistema eléctrico</b> .....                            | 50 |
| 4.5.2.1 | <i>Consecuencia de fallo en breaker</i> .....   | 50 |
| 4.5.2.2 | <i>Consecuencias de los fallos en las bujías</i> .....                                      | 50 |
| 4.5.2.3 | <i>Consecuencias de los fallos en fusibles</i> .....  | 51 |
| 4.5.2.4 | <i>Consecuencias de los fallos en transformador</i> .....                                   | 51 |
| 4.5.3   | <b>Consecuencias de los fallos en el sistema de mecánico</b> .....                          | 51 |
| 4.5.3.1 | <i>Consecuencias de los fallos en el radiador</i> .....                                     | 51 |
| 4.5.3.2 | <i>Consecuencias de los fallos en el turbocompresor</i> .....                               | 52 |
| 4.6     | <b>Criticidad de los fallos</b> .....   | 52 |
| 4.6.1   | <i>Valoración de tiempo de fallo</i> .....  | 52 |
| 4.6.2   | <i>Valoración de costo de fallo</i> .....   | 53 |
| 4.6.3   | <i>Calificación de acuerdo a las horas de fallo de los sistemas</i> .....                   | 53 |
| 4.6.4   | <i>Calificación de acuerdo a los costos de fallos de los sistemas</i> .....                 | 54 |
| 4.6.5   | <i>Valoración de criticidad en los sistemas de los generadores</i> .....                    | 55 |
| 4.7     | <b>Medidas preventivas</b> .....  | 56 |
| 4.7.1   | <i>Determinar tiempos medios entre fallos</i> .....   | 56 |
| 4.7.2   | <i>Establecer plan de inspecciones de los sistemas y elementos en base a los TMEF</i> ..... | 58 |
| 4.7.3   | <i>Tareas de mantenimiento preventivo</i> .....   | 60 |
| 4.7.4   | <i>Mejora en la calidad de los materiales</i> .....   | 61 |
| 4.7.5   | <i>Rediseño de elementos</i> .....  | 62 |
| 4.8     | <b>Diagnóstico de fallos 2016</b> .....   | 63 |
| 4.8.1   | <i>Acciones tomadas en breaker</i> .....  | 63 |
| 4.8.2   | <i>Acciones tomadas en bujía</i> .....  | 64 |
| 4.8.3   | <i>Acciones tomadas en fusible</i> .....  | 64 |
| 4.8.4   | <i>Acciones tomadas en radiador</i> .....   | 65 |
| 4.8.5   | <i>Acciones tomadas en sensor</i> .....   | 65 |
| 4.8.6   | <i>Acciones tomadas en termocupla</i> .....   | 66 |
| 4.8.7   | <i>Acciones tomadas en transformador</i> .....  | 67 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.8.8 | <i>Acciones tomadas en turbocompresor</i> .....   | 68 |
| 4.9   | <b>Análisis de fallos ocurridos después de la aplicación del MCC</b> .....                          | 68 |
| 4.10  | <b>Horas de inspección y mantenimiento preventivo y correctivo con MCC-</b><br>.....                | 71 |
| 4.11  | <b>Comparación de fallos ocurridos con y sin la aplicación del MCC</b> .....                        | 72 |
| 4.12  | <b>Comparación de las horas de fallos ocurridos con y sin la aplicación del<br/>MCC</b> .....       | 73 |
| 4.13  | <b>Reducción de las horas de mantenimiento</b> .....  | 74 |
| 4.14  | <b>Horas de trabajo esperadas versus horas de trabajo reales 2015-2016</b> ...                      | 75 |
| 4.15  | <b>Disponibilidad de equipos de generación en los períodos de los dos años<br/>analizados</b> ..... | 75 |
| 4.16  | <b>Comparación de pérdidas de producción 2015 / 2016</b> .....                                      | 76 |
| 4.17  | <b>Plan de mantenimiento actual y propuesto</b> .....   | 78 |
| 4.18  | <b>Proyección de horas de fallos en 2016 sin aplicación de MCC</b> .....                            | 79 |
|       | <b>CONCLUSIONES</b> .....   | 81 |
|       | <b>RECOMENDACIONES</b> .....  | 82 |
|       | <b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....   | 83 |
|       | <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....   | 85 |
|       | <b>ANEXOS</b> .....   | 86 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tabla 1-1  | Datos técnicos de los generadores Caterpillar.....                                  | 7  |
| Tabla 2-1  | Datos técnicos de los generadores waukesha .....                                    | 7  |
| Tabla 3-1  | Fallos del sistema de generación en segundo semestre de 2015 .....                  | 8  |
| Tabla 4-1  | VARIABLES de la investigación.....  | 11 |
| Tabla 1-2  | Especificaciones generales de los generadores waukesha VHP7100 .....                | 24 |
| Tabla 1-3  | Datos técnicos de los generadores de tapir A.....                                   | 31 |
| Tabla 2-3  | Fallas de los grupos electrógenos en tapir A en el 2015 .....                       | 32 |
| Tabla 3-3  | Pozos apagados por fallas del sistema generación .....                              | 33 |
| Tabla 4-3  | Pérdidas de producción y económicas.....  | 34 |
| Tabla 5-3  | Número de fallas por sistema de los generadores en el 2015.....                     | 36 |
| Tabla 6-3  | Número de fallos por elemento en el 2015.....                                       | 37 |
| Tabla 1-4  | Secuencia de análisis de confiabilidad .....  | 39 |
| Tabla 2-4  | Codificación de elementos .....   | 40 |
| Tabla 3-4  | Matriz de calificación de criticidad .....  | 53 |
| Tabla 4-4  | Calificación de acuerdo a las horas de fallo .....                                  | 54 |
| Tabla 5-4  | Calificación de acuerdo al costo.....   | 55 |
| Tabla 6-4  | Valoración de criticidad de los fallos en los sistemas .....                        | 55 |
| Tabla 7-4  | Tiempo medio entre fallos.....  | 57 |
| Tabla 8-4  | Frecuencia de inspección basada en el TMEF .....                                    | 59 |
| Tabla 9-4  | Frecuencia de mantenimiento basado en los tiempos medios entre fallos .             | 61 |
| Tabla 10-4 | Detalle de inspecciones – mantenimiento preventivos y correctivos del breaker ..... | 63 |
| Tabla 11-4 | Detalle de inspecciones – mantenimiento preventivos y correctivos de la bujía ..... | 64 |
| Tabla 12-4 | Detalle de inspecciones – mantenimiento preventivos y correctivos del fusible ..... | 64 |
| Tabla 13-4 | Detalle de inspecciones – mantenimiento preventivos y correctivos del radiador..... | 65 |
| Tabla 14-4 | Detalle de inspecciones – mantenimiento preventivos y correctivos del sensor.....   | 66 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabla 15-4 | Detalle de inspecciones – mantenimiento preventivos y correctivos termocupla .....         | 67 |
| Tabla 16-4 | Detalle de inspecciones – mantenimiento preventivos y correctivos del transformador.....   | 67 |
| Tabla 17-4 | Detalle de inspecciones – mantenimiento preventivos y correctivos del turbocompresor ..... | 68 |
| Tabla 18-4 | Inspecciones y mantenimiento preventivos y correctivos con MCC .....                       | 69 |
| Tabla 19-4 | Horas de inspección y mantenimiento preventivo y correctivo con MCC.                       | 71 |
| Tabla 20-4 | Comparación de fallos 2015 / 2016.....   | 72 |
| Tabla 21-4 | Horas de fallos 2015-2016 .....  | 73 |
| Tabla 22-4 | Pérdidas de producción 2015-2016 .....   | 77 |
| Tabla 23-4 | Plan de mantenimiento actual y propuesto.....  | 78 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figura 1-1  | Ubicación de estaciones y pozos del bloque 14 y 17 de PetroOriental..... | 2  |
| Figura 2-1  | Estación de tratamiento de crudo y generación de Tapir A .....           | 3  |
| Figura 3-1  | Diagrama de flujo de la planta de procesos y generación Tapir A .....    | 4  |
| Figura 4-1  | Proceso de generación eléctrica a gas de los generadores Waukesha.....   | 6  |
| Figura 1-2  | Pasos para el análisis de la confiabilidad. ....                         | 18 |
| Figura 2-2  | Grupos electrógenos del campo tapir A.....                               | 20 |
| Figura 1-4  | Sensor de temperatura utilizado en los generadores waukesha. ....        | 41 |
| Figura 2-4  | Sensor de flama.....   | 41 |
| Figura 3-4  | Breaker del cuarto de control .....                                      | 42 |
| Figura 4-4  | Bujía utilizada en motores Waukesha .....                                | 42 |
| Figura 5-4  | Fusible industrial.....  | 43 |
| Figura 6-4  | Transformador.....   | 43 |
| Figura 7-4  | Radiador del motor caterpillar .....                                     | 44 |
| Figura 8-4  | Turbocompresor de motor Waukesha .....                                   | 44 |
| Figura 9-4  | Aislamiento del sensor de flama. ....                                    | 62 |
| Figura 10-4 | Puesta a tierra de generadores .....                                     | 63 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Gráfico 1-3  | Gráfica de pérdidas de producción por fallos en 2015.....          | 35 |
| Gráfico 2-3  | Fallos por sistema en el 2015 .....                                | 36 |
| Gráfico 3-3  | Porcentaje de fallos por sistema en el 2015 .....                  | 36 |
| Gráfico 4-3  | Fallos por elemento en el 2015 .....                               | 37 |
| Gráfico 5-3  | Porcentaje de fallos por elemento en el 2015.....                  | 38 |
| Gráfico 1-4  | Tiempo medio entre fallos.....                                     | 57 |
| Gráfico 2-4  | Diagrama de barras del tiempo medio entre fallos.....              | 58 |
| Gráfico 3-4  | Programa de inspecciones .....                                     | 60 |
| Gráfico 4-4  | Programa de mantenimiento basado en TMEF.....                      | 61 |
| Gráfico 5-4  | Gráfica tareas de inspecciones y mantenimientos.....               | 69 |
| Gráfico 6-4  | Porcentaje de tareas de inspección por elemento.....               | 70 |
| Gráfico 7-4  | Porcentaje de tareas de mantenimiento preventivo por elemento..... | 70 |
| Gráfico 8-4  | Porcentaje de tareas de mantenimiento correctivo por elemento..... | 71 |
| Gráfico 9-4  | Gráfica horas de inspección y mantenimiento con MCC.....           | 72 |
| Gráfico 10-4 | Gráfica de fallos 2015-2016.....                                   | 73 |
| Gráfico 11-4 | Gráfica de horas de fallo 2015-2016.....                           | 74 |
| Gráfico 12-4 | Gráfica de horas de mantenimiento 2015-2016 .....                  | 74 |
| Gráfico 13-4 | Comparación gráfica de mantenimiento 2015-2016 .....               | 75 |
| Gráfico 14-4 | Gráfica de horas de trabajo reales versus esperadas.....           | 75 |
| Gráfico 15-4 | Disponibilidad 2015-2016.....                                      | 76 |
| Gráfico 16-4 | Gráfica de pérdidas de producción.....                             | 77 |
| Gráfico 17-4 | Pérdidas económicas 2015-2016.....                                 | 77 |
| Gráfico 18-4 | Proyección de horas de fallo 2015-2016.....                        | 80 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |    |
|---|----|
| ANEXO A: COSTO DE CAMBIO TURBO COMPRESOR..... | 86 |
| ANEXO B: EVENTOS OCURRIDOS EN TAPIR A .....   | 87 |
| ANEXO C: ANÁLISIS DE FIABILIDAD .....         | 88 |
| ANEXO D: CROMATOGRAFÍA DE GASES.....          | 90 |



## RESUMEN

Se aplicó el mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) a los grupos electrógenos de la Estación Tapir A del bloque 17 en la Empresa PetroOriental, debido a un número considerable de paradas de los generadores waukesha producto de la falla de algunos elementos mecánicos, eléctricos y de instrumentación que afectaban directamente en la continuidad de operaciones, la seguridad y la disponibilidad de los equipos. Se recopiló todas las fallas ocurridas en el segundo semestre del año 2015, se tabularon los datos, y con un análisis exhaustivo mediante la aplicación del MCC, se determinó los sistemas y elementos más críticos para la operación de los generadores, lo que permitió establecer un nuevo plan de mantenimiento que se aplicó desde el primer semestre del año 2016. El análisis de fallas realizado al período Enero – Junio de 2016, permitió establecer que el nuevo plan basado en MCC, redujo las paradas de los equipos en un 31% y se incrementó la disponibilidad de los generadores de un 93.3% a un 95.5%. El incremento de la disponibilidad en los equipos involucrados en este estudio se refleja directamente en la rentabilidad de la empresa ya que se redujo los mantenimientos en un 32% comparados entre el segundo semestre del año 2015 y el primer semestre del año 2016. Otra ventaja comparativa es el incremento de producción de 6964 barriles en el primer semestre 2016, lo que representó un ingreso de aproximadamente 278560 dólares a un precio promedio de 40 dólares el barril. La metodología aplicada a los grupos electrógenos puede ser usada en otros equipos de la estación o de la empresa para mejorar su disponibilidad y con ello incrementar la rentabilidad de la empresa.

**Palabras claves:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO>, <INGENIERÍA INDUSTRIAL>, <ESTACIÓN TAPIR A BLOQUE 17>, <EMPRESA PETROORIENTAL>, <GENERADORES WAUKESHA>, <APAGADO DE POZOS DE PETRÓLEO>, <INCREMENTO DE PRODUCCIÓN>.

## SUMMARY

The Reliability centered Maintenance (RCM) was applied to the power generators of Tapir Station A on block 17 at PetroOriental Company, due to a significant number of Waukesha stops of generators product of the fault of some mechanical, electrical and instrumentation elements that affected directly in the continuity of operations, the security and the equipment availability. All faults occurred in the second half of the year 2015 were collected, in addition to the data which were tabulated, and the most critical systems and elements for the operation of the generators were determining with a thorough analysis by applying the (RCM), which allowed to establish a new maintenance plan that has been applied since the first half of the year 2016. Fault analysis performed for the period January- June 2016, established that the new plan based on RCM, reduced the equipment stops by 31% and the availability of generators was increased from 93.3% to 95.5 %.The increase of the availability in the equipments involved in this study is directly reflected in the profitability of the company since the maintenances were reduced by 32% compared between the second half of the year 2015 and the first half of the year 2016. Another comparative advantage is the increased production of 6964 barrels in the first half of 2016, representing an income of approximately \$ 278,560 with an average price of \$ 40 per barrel. The methodology applied to power generators can be used in other station equipment or the company to improve its availability and consequently increase the profitability of the company.

**Key words:** TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <MAINTENANCE ENGINEERING >, < INDUSTRIAL ENGINEERING^ < TAPIR STATION A ON BLOCK 17 >, < PETROORIENTAL COMPANY>,< WAUKESHA GENERATORS>, < SHUTDOWN OF OIU WELLS >, < PRODUCTION INCREASE>



# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Introducción

PetroOriental S.A., opera en el Ecuador desde el 2006, esta empresa ha sido formada con el aporte de los accionistas de las empresas estatales de la República Popular China como son: China National Petroleum Corporation (CNPC) con el 55% y China Petrochemical Corporation (SINOPEC), con el 45%.

La producción actual promedio diaria de crudo de los bloques 14 y 17 está 12.000 bopd. El bloque Tarapoa es operado por una empresa china denominada Andes Petroleum y también las accionistas de las empresas chinas tienen una producción promedio de 35.000 bopd.

La empresa opera en la provincia de Orellana en el Bloque 14 y 17. Los hidrocarburos explotados por la empresa se localizan a lo largo de la "Cuenca Oriente Ecuatoriana", en trampas estratigráficas y estructurales ubicadas en las formaciones Tena, Napo y Hollín.

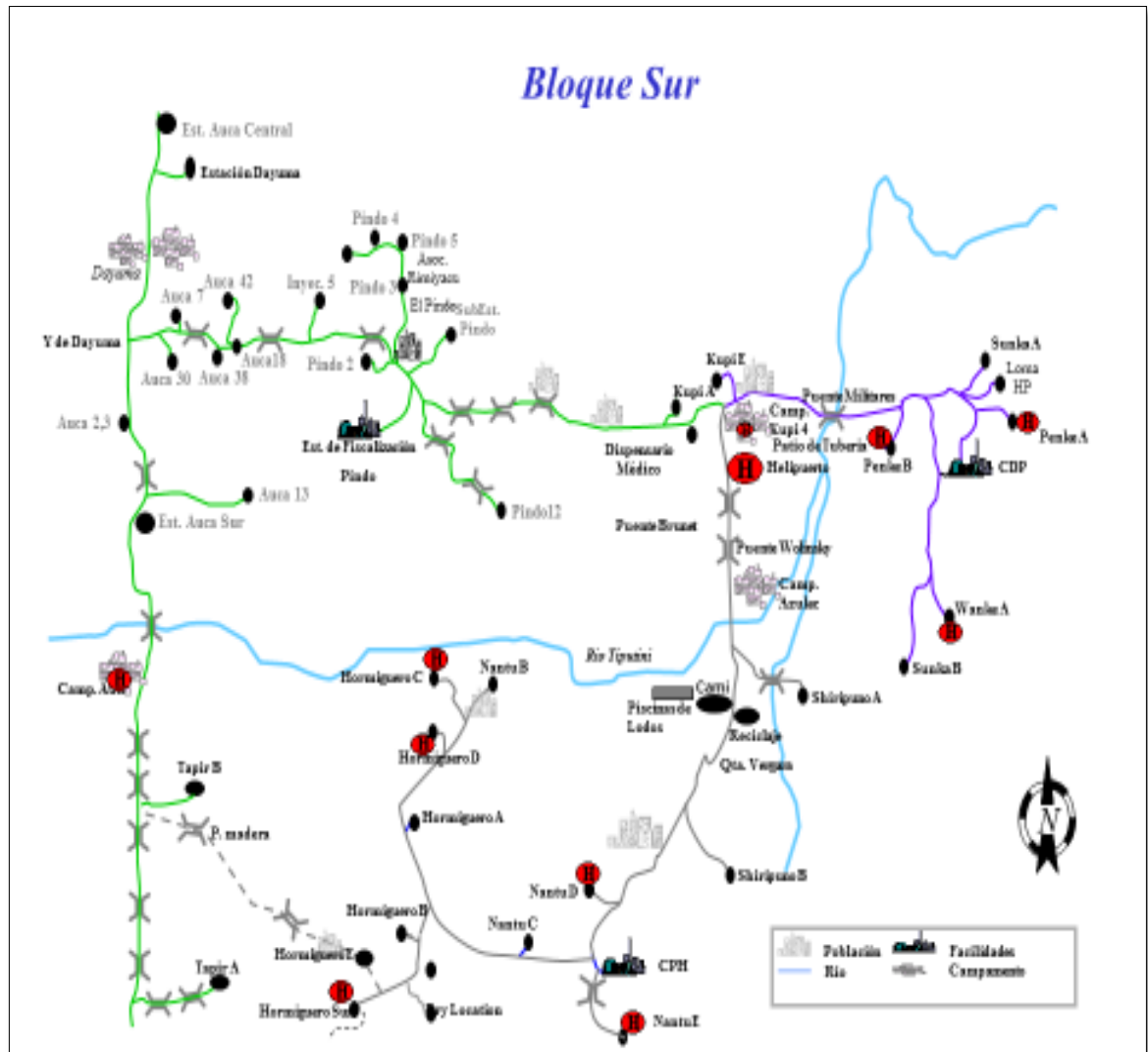
La plataforma Tapir B está conformada por pozos productores (agua, crudo y gas), colector de producción (manifold), dos trampas de envío de limpiadores de tuberías y un paquete de inyección de químicos.

Los pozos productores son de levantamiento artificial (bombeo electro sumergible) y sistema de bombeo hidráulico.

La plataforma Tapir A está conformada por pozos productores, un manifold de producción, dos trampas de recepción de limpiadores de tubería provenientes de Tapir B y una planta para el procesamiento del crudo proveniente de plataformas Tapir A y Tapir B.

La figura 1-1 muestra la ubicación de las plataformas, estaciones de proceso y pozos del bloque 14 y 17 operado por PetroOriental.

Figura 1-1. Ubicación de estaciones y pozos del bloque 14 y 17 de PetroOriental



En la figura 2-1 se muestra la planta de tratamiento de crudo y de generación a gas en Tapir A perteneciente al bloque 17.

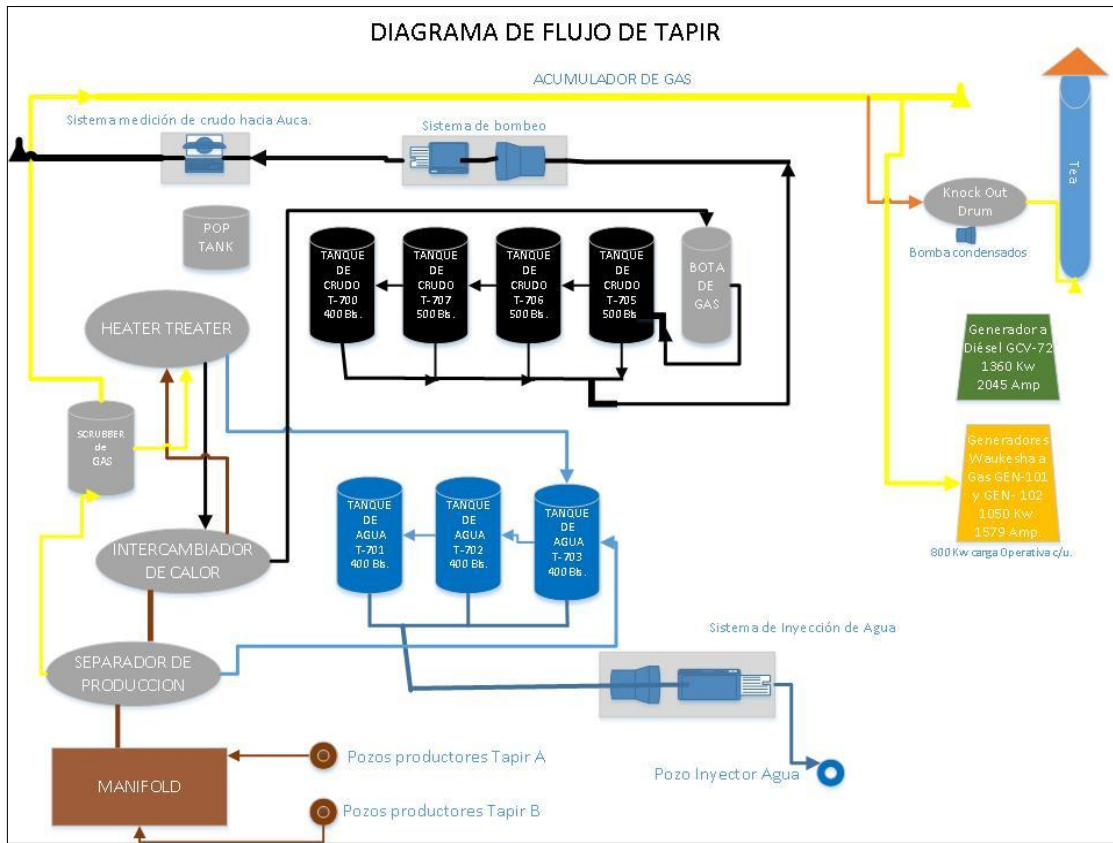
Figura 2-1. Estación de tratamiento de crudo y generación Tapir A



Desde cada pozo productor de Tapir A, la producción (agua, crudo y gas) es enviada hacia un manifold de producción (6") y un cabezal de prueba (4"); por otro lado, la producción proveniente desde la plataforma de Tapar B se une a la producción de Tapir A en el mismo manifold.

La figura 3-1 indica un diagrama de flujo de la estación tapir A con sus equipos para el proceso de tratamiento de crudo y el sistema de generación a gas.

Figura 3-1. Diagrama de flujo de la planta de procesos y generación Tapir A



La producción que llega al manifold de todos los pozos productores se direcciona hacia el separador de producción, intercambiador de calor, tratador térmico y demás equipos que cumplen su función específica dentro de la planta. Los equipos que comprenden la planta de tratamiento de crudo son:

- Colector de producción (manifold).
- Medidor multifasico Haimo
- Separador de producción
- Intercambiador de calor
- Tratador térmico
- Schubert de gas
- Tanques de almacenamiento de crudo
- Tanques de almacenamiento de agua
- Bombas booster & bombas de inyección de agua
- Bombas booster & bombas de transferencia de crudo
- Unidad de custodia y transferencia automática de crudo (LACT)
- Tea de fuego (flare)

- Bota de gas
- Tanque de crudo fuera especificaciones (Pop tank)
- Sistema de generación

La emulsión (fluido) de agua, crudo y gas pasa a través del separador de producción, intercambiador de calor y tratador térmico para tener un crudo bajo especificación con un BSW menor al 1%, el crudo que pasa por estos equipos es tratado y deshidratado para luego ser almacenado y bombeado por el oleoducto secundario de 6" hacia el oleoducto principal de 12" Cononaco – Auca de Petroamazonas, el agua producida es inyectada en el pozo Tapir 1 ubicada en la plataforma Tapir A y el gas producido es utilizado como combustible para el sistema de generación eléctrica.

La generación eléctrica generada en la planta Tapir A suministrar de energía a las dos plataformas, una pequeña parte del gas es utilizada para el calentamiento del crudo producido. La empresa PetroOriental cuenta con 55 pozos de producción, de los cuales el 50% de energía requerida son abastecidos por los generadores Waukesha a gas, mientras que la energía restante es abastecida por generadores Caterpillar a diésel. La estación de procesos Tapir A actualmente procesa la producción de las plataformas Tapir A (7 pozos) y Tapir B (7 pozos), esto es un promedio de 3200 bfpd (2400 bopd y 800 bwpd) y 425 mscfd.

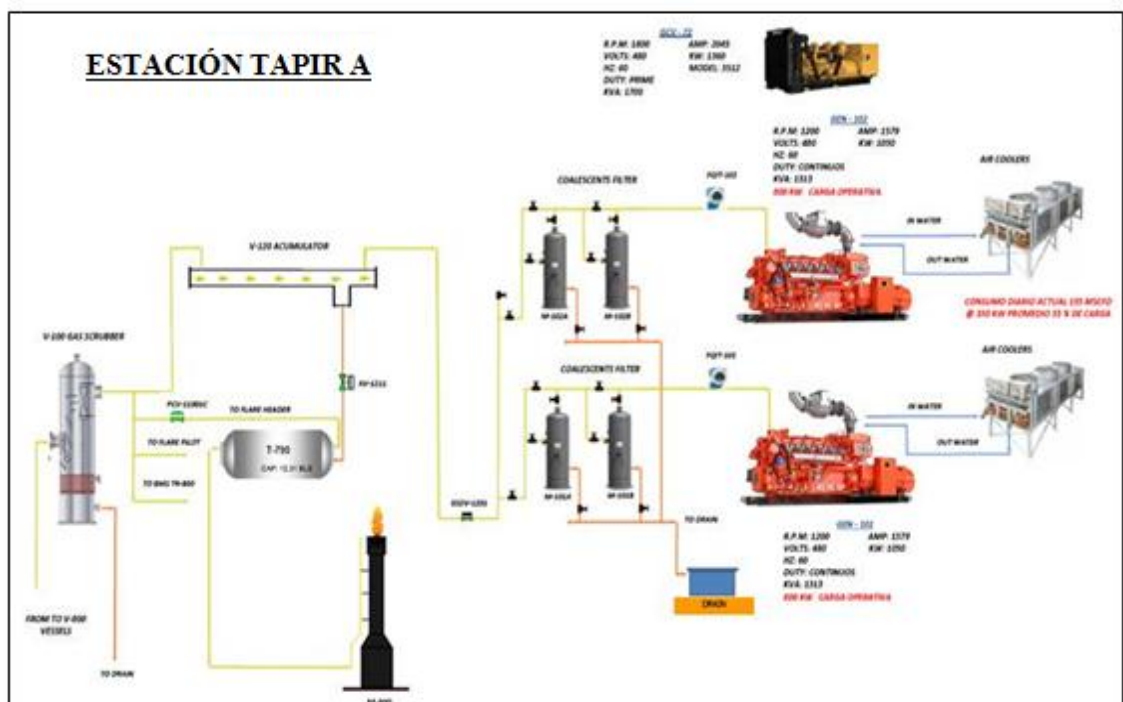
La filosofía operativa de la central de generación fue diseñada para tener un generador disponible en reserva, pero debido a la demanda de energía normalmente trabajan los dos generadores waukesha GEN 101 y GEN 102.

Los motores-generadores waukesha utilizan gas como combustible para entregar energía para la operación de los equipos de la planta y para los motores de los pozos. Los generadores entregan energía al switchgear de 6000 Amps., a 480 voltios, por medio de los breakers de potencia, en cada celda se encuentran los elementos de protección y control que permite el ingreso de los generadores cuando se encuentran sincronizados con el voltaje de la barra o sea esta se halla sin voltaje (barra muerta). Para la entrega de energía hacia las diferentes cargas del sistema eléctrico del campo Tapir, el switchgear tiene celdas de salida, las cuales tienen un breaker de protección de baja tensión con relé.

Los grupos electrógenos waukesha de la empresa PetroOriental funcionan con combustible a gas, que viene del proceso de separación de agua, crudo y gas. En la figura 4.1 se puede observar el sistema de generación a gas a partir del proceso de tratamiento de crudo, donde el gas que sale del separador de producción y el tratador térmico llega al Scrubert de gas y desde este equipo (scrubert), el gas sale al acumulador de gas y desde este acumulador gas fluye hacia los filtros coalescentes y finalmente llega a los generadores waukesha

Dentro del grupo de generación está incluido un generador de respaldo GCV-72 a diésel el cual es utilizado cuando uno de los generadores a gas sufre una avería considerable o que su reparación tarde más de dos días para volver a poner en operación el equipo.

Figura 4-1. Proceso de generación eléctrica a gas de los generadores Waukesha



Esto marca un antes y un después, donde la energía eléctrica que utilizada para extraer el petróleo se generaba básicamente con diésel, del cual el país es deficitario. Ahora se usará el mismo gas asociado. Para la operación inicial de las plataformas Tapir A y Tapir B, se utilizaron dos generadores caterpillar a diésel como se ve en la tabla 1-1. El consumo promedio diario de diésel utilizado en la generación de energía con dos generadores caterpillar y tener operativo los equipos de la planta y operación de los pozos antes de ser instalada la planta de generación a gas fue de 1500 gpd.



Tabla 1-1. Datos técnicos de los generadores Caterpillar

| GENERADOR     | INICIO OPERACIÓN | CAPACIDAD AMP | CAPACIDAD KW | MOTOR | CONSUMO DIÉSEL GPD |
|---------------|------------------|---------------|--------------|-------|--------------------|
| <b>GCV-72</b> | 20 Marzo 2015    | 2045          | 1359         | 3512  | <b>800</b>         |
| <b>GCV-66</b> | 20 Marzo 2015    | 2045          | 1359         | 3512  | <b>700</b>         |

La producción promedio de gas producida en el campo Tapir A es de alrededor de 425 mscfd y para ahorrar el consumo de diésel se instaló la plata de generación a gas con generadores waukesha, el consumo de cada generador waukesha a su máxima carga es de 200 mscfd como se ve en la tabla 2-1.

Tabla 2-1. Datos técnicos de los generadores waukesha

| GENERADOR      | INICIO OPERACIÓN | CAPACIDAD AMP | CAPACIDAD KW | MOTOR   | CONSUMO DE GAS MSCSD |
|----------------|------------------|---------------|--------------|---------|----------------------|
| <b>GEN-101</b> | 24 Junio 2015    | 1579          | 1050         | VHP7100 | 400                  |
| <b>GEN-102</b> | 24 Junio 2015    | 1579          | 1050         | VHP7100 |                      |

## 1.2 Antecedentes

El sistema de generación a gas y principalmente los generadores waukesha son equipos importantes y relevantes para la operación de la empresa y en particular de la estación Tapir A y la plataforma Tapir B, estos equipos son susceptibles a fallos por lo tanto es necesario implementar un MCC (mantenimiento basado en la confiabilidad) para optimizar la disponibilidad de los generadores de la estación Tapir A de PetroOriental.

En la tabla 3-1 se evidencia un número determinado de paradas (shutdown) de los generadores waukesha por diferentes fallas en los elementos o sistema que componente el generador.

Los fallos que se muestran en la tabla 3-1, registran una disminución de la energía disponible y por consiguiente en la baja de producción debido a que estamos aplicando únicamente el mantenimiento correctivo.

Tabla 3-1. Fallos del sistema de generación en segundo semestre de 2015

| <b>FECHA DE APAGADO<br/>( shutdown)</b> | <b>FALLA DE<br/>GENERADORES</b> | <b>ELEMENTO<br/>CON FALLA</b> |
|---|---------------------------------|-------------------------------|
| 26 de Junio de 2015                     | GEN-102                         | termocupla                    |
| 1 de Julio de 2015                      | GEN-101                         | fusible                       |
| 6 de Julio de 2015                      | GEN-102                         | sensor                        |
| 11 de Julio de 2015                     | GCV-72                          | radiador                      |
| 12 de Julio de 2015                     | GEN-101                         | turbo                         |
| 21 de Julio de 2015                     | GEN-102                         | sensor                        |
| 26 de Julio de 2015                     | GCV-72                          | radiador                      |
| 2 de Agosto de 2015                     | GEN-101                         | turbo                         |
| 9 de Agosto de 2015                     | GEN-102                         | breaker                       |
| 10 de Agosto de 2015                    | GEN-102                         | turbo                         |
| 23 de Agosto de 2015                    | GEN-102                         | sensor                        |
| 30 de Agosto de 2015                    | GEN-101                         | bujía                         |
| 6 de Septiembre de 2015                 | GCV-72                          | radiador                      |
| 13 de septiembre de 2015                | GCV-72                          | radiador                      |
| 14 de Septiembre de 2015                | GEN-102                         | termocupla                    |
| 20 de Septiembre de 2015                | GEN-101                         | fusible                       |
| 26 de Septiembre de 2015                | GEN-101                         | breaker                       |
| 2 de Octubre de 2015                    | GEN-101                         | breaker                       |
| 8 de Octubre de 2015                    | GEN-102                         | sensor                        |
| 9 de Octubre de 2015                    | GCV-72                          | radiador                      |
| 18 de Octubre de 2015                   | GEN-101                         | sensor                        |
| 23 de Octubre de 2015                   | GEN-102                         | turbo                         |
| 1 de Noviembre de 2015                  | GEN-101                         | turbo                         |
| 7 de Noviembre de 2015                  | GEN-101                         | sensor                        |
| 8 de Noviembre de 2015                  | GEN-101                         | sensor                        |
| 15 de Noviembre de 2015                 | GCV-72                          | radiador                      |
| 21 de Noviembre de 2015                 | GEN-101                         | fusible                       |
| 22 de Noviembre de 2015                 | GEN-101                         | transformador                 |
| 28 de Noviembre de 2015                 | GEN-101                         | sensor                        |
| 30 de Noviembre de 2015                 | GEN-101                         | turbo                         |
| 4 de Diciembre de 2015                  | GEN-101                         | sensor                        |
| 5 de Diciembre de 2015                  | GEN-102                         | sensor                        |
| 11 de Diciembre de 2015                 | GEN-101                         | sensor                        |
| 14 de Diciembre de 2015                 | GCV-72                          | radiador                      |
| 18 de Diciembre de 2015                 | GEN-102                         | turbo                         |
| 19 de Diciembre de 2015                 | GEN – 101                       | Transformador                 |
| 27 de Diciembre de 2015                 | GEN – 101                       | sensor                        |

### **1.3 Problema de investigación**

#### ***1.3.1 Planteamiento del problema***

El número considerable de parada de los grupos electrógenos de la estación Tapir A, ha impactado considerablemente en la disminución de producción, trae consigo problemas de abastecimiento de crudo al sistema nacional, pues la empresa debe entregar una cuota mínima por día para no recibir sanciones gubernamentales.

El incremento de los costos de mantenimiento y en general las pérdidas de producción se reducen los ingresos económicos tanto para la empresa como para el estado.

### **1.4 Sistematización del problema**

Para dar solución al problema de apagado de los grupos electrógenos o generadores (Waukesha) por las consecuencias operacionales de la indisponibilidad, surgen las siguientes preguntas claves del MCC, las cuales se basa en la puesta de manifiesto de todos los fallos potenciales que puede tener una instalación, en la identificación de las causas que los provocan y en la determinación de una serie de medidas preventivas que eviten esos fallos, acorde con la importancia de cada uno de ellos. (García Garrido Santiago. 2013, p. 6-8)

A lo largo del proceso se plantean una serie de preguntas clave que deben quedar resueltas:

- ¿Cuáles son las funciones de cada elemento?
- ¿Cómo falló cada equipo?
- ¿Cuál es la causa de cada fallo?
- ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
- ¿Cómo puede evitarse cada fallo?
- ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

Por tal motivo es necesario implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) para los generadores waukesha considerados equipos importantes en la planta Tapir A, ya que son equipos muy prioritarios para el trabajo requerido en la empresa.

Este requerimiento realizará un estudio de impacto sobre los factores que determinarán el desempeño del activo como son: contexto operacional, confiabilidad inherente y el plan de mantenimiento.

Con la implementación del MCC se alcanzará una disminución de las paradas de los generadores, reducción de las pérdidas de producción, mejora de los tiempos de mantenimiento preventivo, reducción de costo de mantenimiento correctivo, reducción de repuestos averiados, mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

### **1.5 Justificación de la investigación**

En este apartado sobre el mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) que es una tecnología orientada a la determinación del mantenimiento de los activos físicos y sus requerimientos.

El MCC es un proceso específico utilizado para identificar las causas de las fallas, reducir los tiempos de fallos, mejorar el mantenimiento preventivo y aplicar el método de disponibilidad de equipos para la operación de los generadores Waukesha.

Esta investigación busca a través del mantenimiento centrado en confiabilidad tener operativos los dos generadores waukesha para proporcionar de energía a todos los equipos de la planta Tapir A y los pozos de las dos plataformas.

El MCC está enfocada en reducir las paradas repentinas de los generadores waukesha que tiene relación directa con la reducción de: pérdidas de producción, costos de repuestos, costos de mano de obra, costo del consumo de diésel.

Las repetidas apagadas de los generadores afectan directamente a los pozos que pueden sufrir un corto circuito y el pozo quedará en espera de un reacondicionamiento (work over).

## 1.6 Objetivos

### 1.6.1 Objetivo general

Mejorar la disponibilidad de los grupos electrógenos de la estación tapir A PetroOriental, aplicando el mantenimiento centrado en la confiabilidad.

### 1.6.2 Objetivos específicos

Para el presente trabajo se aplicarán los siguientes objetivos específicos:

- Analizar con los datos disponibles, las causas de apagado de los grupos electrógenos de la estación Tapir A
- Integrar los resultados del MCC al plan y programa de mantenimiento actual
- Comparar los valores de disponibilidad con y sin el mantenimiento centrado en confiabilidad

## 1.7 Hipótesis

La aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los grupos electrógenos de la planta Tapir A, incrementa la disponibilidad de equipos, reduciendo con esto las paradas involuntarias (mantenimientos correctivos) de los generadores, la pérdida de producción de petróleo.

Tabla 4-1. Variables de la investigación

| NOMBRE                    | TIPO DE VARIABLE | DESCRIPCIÓN   | UNIDADES |
|---------------------------|------------------|---|----------|
| Disponibilidad            | Dependiente      | Relación entre el tiempo de operación de una máquina y el tiempo esperado de funcionamiento de la máquina | %        |
| Tiempo total de operación | Independiente    | Sumatoria de todos los tiempos de operación entre fallos.   | Horas    |
| Tiempo medio entre fallos | Independiente    | Promedio de ocurrencia entre un fallo y otro en un periodo determinado de tiempo                          | Horas    |

## **1.8 Delimitación**

La investigación se desarrolla en la provincia de Orellana, tomando como caso el estudio centrado en la confiabilidad a los grupos electrógenos en la estación Tapir A bloque 17 PetroOriental, como corresponde al objetivo del presente trabajo de investigación. Los planes de mantenimiento a utilizar para el desarrollo de este trabajo serán los que se encuentren en la estación Tapir A, tomado como caso de estudio para determinar las causas básicas de las paradas de los grupos electrógenos.

El desarrollo del modelo, se enfoca en el proceso de planificación del mantenimiento, como corresponde a los objetivos del presente trabajo de investigación. De la misma manera, para la validación del modelo para la planificación, se aplicará la metodología específicamente a los grupos electrógenos de la estación Tapir A de la empresa PetroOriental.

El plan de mantenimiento que se planteará, será el resultado de la aplicación del modelo para la planificación propuesto. El plan de mantenimiento contendrá la descripción de las actividades de mantenimiento con las frecuencias de ejecución, así como el especialista responsable de la ejecución de la actividad propuesta.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial que en adelante se citará únicamente como mantenimiento se define como “un conjunto de actividades desarrolladas con el fin de asegurar que cualquier activo continúe desempeñando las funciones deseadas o de diseño” (Salazar, B., 2011)

##### *2.1.1 Objetivo del mantenimiento*

Según Salazar (2011):

El objetivo del mantenimiento es asegurar la disponibilidad y confiabilidad prevista de las operaciones con respecto de la función deseada, dando cumplimiento además a todos los requisitos del sistema de gestión de calidad, así como con las normas de seguridad y medio ambiente, buscado el máximo beneficio global (Salazar, B., 2011).

Por tanto, el propósito del mantenimiento es mantener en funcionamiento el equipo con eficiencia y eficacia, en aras de obtener una mayor productividad.

##### *2.1.2 Tipos de mantenimiento*

Existen tres tipos de mantenimiento: correctivo, preventivo y predictivo.

###### *2.1.2.1 Mantenimiento correctivo*

Según Gómez de León (2008), en el tipo de mantenimiento correctivo “solo se interviene en los equipos cuando el fallo se ha producido” (Gómez de León, 2008). Por ende, se puede plantear, que el objetivo de dicho mantenimiento es poner en marcha el equipo luego de una falla o avería, con el menor costo y tiempo posible. Entre las principales características que tiene este tipo de mantenimiento se encuentran las siguientes:

- No requiere de una planificación periódica
- Se aplica con gran frecuencia en pequeñas empresas
- Requiere gran uso de la fuerza de trabajo, lo que representa altos costos por este concepto
- Gran cantidad de piezas y repuestos en inventario
- Se lleva a cabo en todas las empresas productivas, dado a que, aunque se puede minimizar la frecuencia de ocurrencia de fallas, es imposible erradicarlas totalmente

Dadas las características de este tipo de mantenimiento se pueden plantear como desventajas:

- Altos costos de mano de obra
- Ocurrencia de paradas productivas
- Es muy usual que el repuesto requerido en un mantenimiento correctivo no se encuentre disponible en el almacén, esto debido a los altos costos en que se incurre al pretender tener una disponibilidad de todas las partes susceptibles de falla.
- Afectaciones a la calidad de los productos originado por el desgaste de los equipos.

#### *2.1.2.2 Mantenimiento preventivo*

El mantenimiento preventivo, “pretende disminuir o evitar en cierta medida la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos deteriorados” (Souris, 2006).

El éxito del mantenimiento preventivo consiste en la correcta planificación del periodo de inspección y de su cumplimiento estricto.

Existen varios tipos de mantenimiento preventivo: periódico, programado, de mejora, autónomo y rutinario, los cuales se describirán a continuación.



#### *2.1.2.2.1 Mantenimiento periódico*

Este mantenimiento consiste en efectuar grandes paradas en las que se realizan reparaciones totales. Se efectúa luego de un intervalo de tiempo de alrededor de 6 y 12 meses. Esto implica una coordinación con el departamento de planeación de la producción, el cual deberá abastecerse de forma suficiente para suplir el mercado durante los tiempos de parada.

Así mismo, deberá existir un inventario detallado de repuestos que se requerirán, con el objetivo de evitar sobrecostos derivados de las compras urgentes o desabastecimiento de los mismos.

#### *2.1.2.2.2 Mantenimiento programado (intervalos fijos).*

Este mantenimiento “es aquel mantenimiento preventivo efectuado de acuerdo con un plan estratégico, según el tiempo o el número de unidades fabricadas” (Organización Nacional Francesa para la Estandarización, 1993). Por ello, este mantenimiento se refiere a un trabajo programado que se realiza en un intervalo de tiempo específico para evitar el tiempo de inactividad no programado o averías en el futuro. Entre las desventajas de este mantenimiento se puede plantear el despilfarro de los recursos puesto que se queden determinadas partes en buen estado.

#### *2.1.2.2.3 Mantenimiento de mejora*

El mantenimiento de mejora “Es el mantenimiento que se hace con el propósito de implementar mejoras en los procesos” (Holloway & Nwaoha, 2013). Este mantenimiento no se ejecuta con cierta frecuencia, sino que se realizan modificación a los equipos con el objetivo de optimizar el proceso.

#### *2.1.2.2.4 Mantenimiento autónomo*

“Está enfocado al operario ya que es el que más interactúa con el equipo, propone alargar la vida útil de la maquina o línea de producción” (Quirós, 2013, pág. 98). Los

principales objetivos que persiguen son la prevención de la contaminación por agentes externos, rupturas de ciertas piezas, desplazamientos y errores en la manipulación.

#### *2.1.2.2.5 Mantenimiento rutinario*

El mantenimiento rutinario “es una actividad diaria con el objetivo de mantener la limpieza, la lubricación y relevar las novedades observadas en los equipos, máquinas e instalaciones en servicio” (Calloni, 2007)

Es un mantenimiento basado en rutinas, usualmente sugeridas por los manuales, por la experiencia de los operadores y del personal de mantenimiento. Además, es un mantenimiento que tiene en cuenta el contexto operacional del equipo.

#### *2.1.2.3 Mantenimiento predictivo*

“El mantenimiento predictivo es una modalidad que se encuentra en un nivel superior a las dos anteriores, supone una inversión considerable en tecnología que permite conocer el estado de funcionamiento de máquinas y equipos en operación, mediante mediciones no destructivas” (Salazar, B., 2011). Este mantenimiento trata de anticiparse al fallo antes de ocurrir mediante la supervisión directa de la máquina o equipo durante su funcionamiento normal.

#### *2.1.2.4 Mantenimiento centrado en la Confiabilidad (MCC)*

“RCM o Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento centrado en la confiabilidad, MCC) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas” (Santiago, 2013).

Según Campos (2013), el MCC fue desarrollado inicialmente para el sector de aviación, donde no se obtenían los resultados más adecuados para la seguridad de la navegación aérea. Posteriormente fue trasladada al campo militar y mucho después al industrial, tras comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

El MCC proporciona un marco estructurado para el análisis de las funciones y los posibles fallos de un activo físico (como un avión, una línea de producción de fabricación, etc.) con un enfoque en la preservación de las funciones del sistema, en lugar de equipos de preservación. MCC se utiliza para desarrollar planes de mantenimiento programados que proporcionarán un nivel aceptable de operatividad, con un nivel aceptable de riesgo, de una manera eficiente y rentable. En tal sentido tiene como propósito, incrementar la fiabilidad de la instalación, disminuyendo los tiempos de paradas por concepto de fallas o averías imprevistas que imposibiliten el cumplimiento de los planes de producción. Además, de propiciar el incremento del tiempo disponible de la fábrica para producir, y con ello, disminuir los costos por concepto de mantenimiento.

En una instalación industrial, el análisis de los fallos potenciales proporciona:

- Mejoras en el funcionamiento de los equipos
- Desarrollo de mecanismos que tratan de evitar las fallas de un sistema
- Establecimiento diferentes tipos de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta, entre las que se encuentran, mejoras y modificaciones en la organización, cálculo del stock de repuesto necesario en la empresa, y la elaboración de planes de formación entre otras.

Uno de los principios primarios del enfoque del MCC es que las actividades de mantenimiento se deben centrar hacia la preservación de funcionalidad del equipo. Por lo tanto, se deduce que el primer paso en el análisis de una pieza particular del equipo es identificar la función (s) que se pretende llevar a cabo.

Muchas referencias MCC recomiendan incluir los requisitos específicos de rendimiento en las descripciones de funciones, lo que ayuda identificar específicamente los fallos funcionales.

Las fallas funcionales describen las formas en que el equipo puede dejar de realizar las funciones previstas. El fracaso para llevar a cabo una función puede estar dado por: el mal desempeño de una función, el exceso de realización de una función, la realización de una función no deseada, etc.

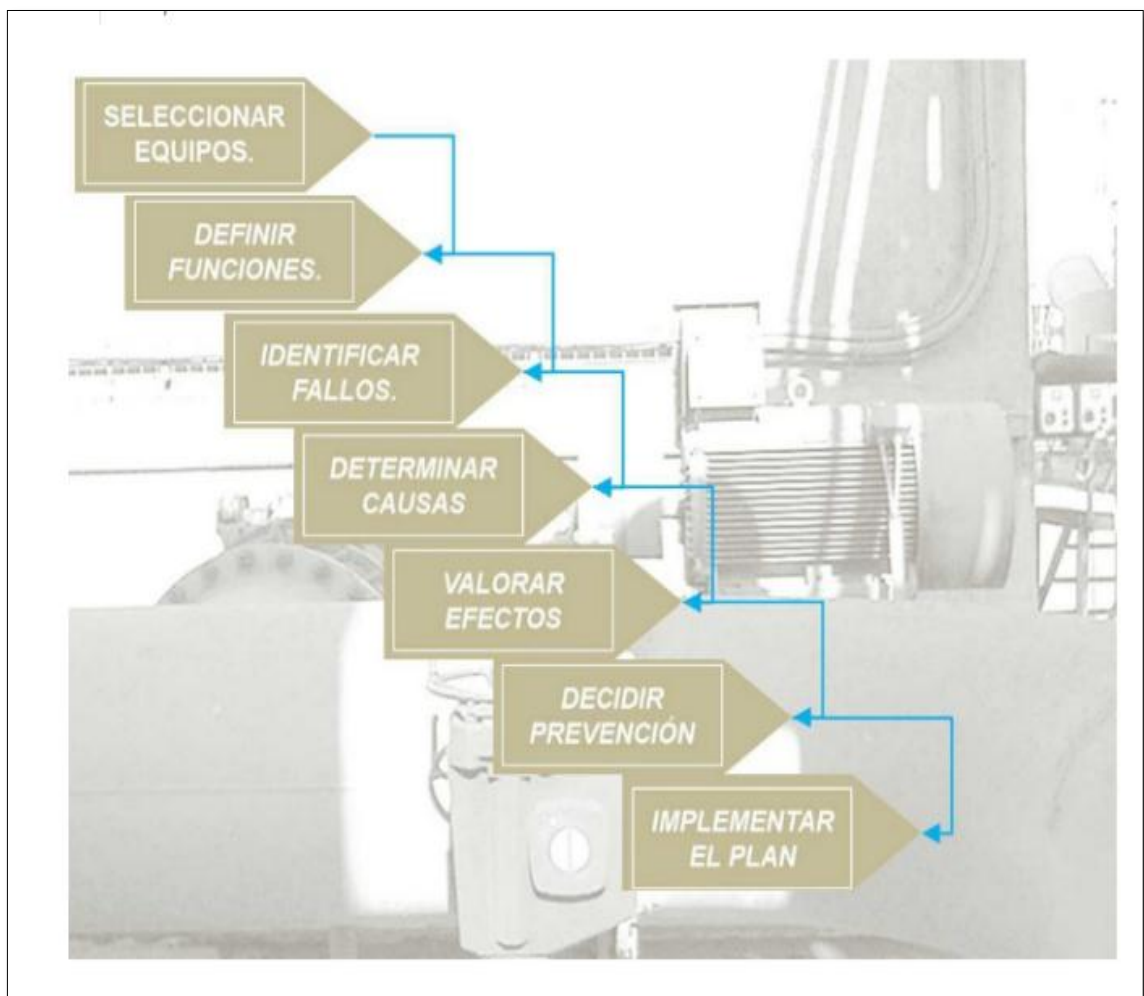
### 2.1.3 Modos de fallo

“El MCC define al modo de fallo, como la causa de cada falla funcional” (Mendoza & Lezama, 2015). Por tanto, el modo de fallo representa la causa específica del fallo funcional a nivel accionable, es decir, el nivel en el que será posible la aplicación de una estrategia de mantenimiento para hacer frente a la falta de potencial.

Es por ello que los modos de falla deben ser descritos con suficiente detalle para que sea posible seleccionar una política de manejo de fallas apropiado.

Aunque existe una gran cantidad de variación en la aplicación del MCC, la mayoría de los procedimientos incluyen los siete pasos que se muestran en la figura 1-2.

Figura 1-2. Pasos para el análisis de la confiabilidad



Fuente: Mendoza & Lezama (2015).

## **2.2 Grupo electrógeno**

### ***2.2.1 Definición***

El grupo electrógeno “es una máquina que mueve un generador de electricidad a través de un motor de combustión interna” (Inga, 2008). Son empleados generalmente cuando existe déficit de energía eléctrica en un lugar específico, o en caso de ocurrir cortes en el suministro eléctrico. En tal sentido, algunos países pueden decidir por la instalación de un grupo como en centros comerciales, centros de Salud, cárceles, etc.

### ***2.2.2 Utilidades***

Los grupos electrógenos están destinados a una gran variedad de empleos, desempeñando la función de proveedor de energía de reserva, suplementaria o de emergencia para diversas instalaciones de servicios auxiliares (esenciales y no esenciales), alumbrado de emergencia (de seguridad, de escape o de reserva), bancos, estadios deportivos, plantas industriales, hospitales, etc.; como así también en viviendas rurales aisladas de la red pública de suministro eléctrico. Son especialmente utilizados en los países del tercer mundo como complemento a la red eléctrica, la cual es a menudo poco fiables (Inga, 2008).

### ***2.2.3 Características generales***

Un grupo electrógeno consta de motor, regulación del motor, sistema eléctrico del motor, sistema de refrigeración, alternador depósito de combustible y bancada, aislamiento de la vibración, silenciador y sistema de escape, sistema de control, interruptor automático de salida, entre otros accesorios instalables. A continuación, se realiza una descripción de cada uno de estos elementos (Inga, 2008).

#### ***2.2.3.1 Motor***

Representa una fuente de energía mecánica para que el alternador gire y genere electricidad. Existe dos tipos de motores: motores de gasolina y de gas-oil (diésel). Generalmente los motores diésel son los más utilizados en los grupos electrógenos por sus prestaciones mecánicas, ecológicas y económicas (Inga, 2008).

Figura 2-2. Grupos electrógenos del campo tapir A



### 2.2.3.2 Regulación del motor

La velocidad del motor se controla mecánicamente por el regulador del motor como plantea Inga, (2008):

El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida (Inga, 2008).

El motor produce energía mecánica que se transforma en energía eléctrica por el generador. Dependiendo del tamaño de los componentes, un generador diesel puede producir en cualquier lugar de 8 kW para una aplicación el hogar hasta 2.000 kW en centros industriales (Inga, 2008).

### 2.2.3.3 Sistema eléctrico del motor

“El sistema eléctrico del motor es de 12 VCC, excepto aquellos motores los cuales son alimentados a 24 VCC, negativo a masa” (Inga, 2008, pág. 27).

Además, Calloni (2007) plantea que:

“El sistema incluye un motor de arranque eléctrico, una/s batería/s libre/s de mantenimiento (acumuladores de plomo), sin embargo, se puede instalar otros tipos de baterías específicas, y los sensores y dispositivos de alarmas de los que disponga el motor” (Calloni, 2007).

“El motor cuenta con un transmisor de temperatura, un manómetro de presión de aceite, además de un contacto en el alternador de carga del motor, permitiendo detectar las fallas de carga en la batería” (Calloni, 2007).

#### *2.2.3.4 Sistema de refrigeración*

Según Inga (2008):

El sistema de refrigeración del motor puede ser por medio de agua, aceite o aire. El sistema de refrigeración por aire consiste en un ventilador de gran capacidad que hace pasar aire frío a lo largo del motor para enfriarlo. El sistema de refrigeración por agua/aceite consta de un radiador, un ventilador interior para enfriar sus propios componentes (págs. 26-35).

#### *2.2.3.5 Alternador*

Según Inga (2008):

La energía eléctrica de salida se produce por medio de un alternador apantallado, protegido contra salpicaduras, auto excitado, autorregulado y sin escobillas acoplado con precisión al motor, aunque también se pueden acoplar alternadores con escobillas para aquellos grupos cuyo funcionamiento vaya a ser limitado y, en ninguna circunstancia, forzado a regímenes mayores (págs. 26-35).

Por tanto el alternador es el generador de la salida de la energía eléctrica.

#### *2.2.3.6 Depósito de combustible y bancada*

De acuerdo a lo planteado por Inga (2008):

“El motor y el alternador están acoplados y montados sobre una bancada de acero de gran resistencia. La bancada incluye un depósito de combustible con una capacidad mínima de 8 horas de funcionamiento a plena carga” (págs. 26-35).

Se debe aclarar que se pueden colocar depósitos de reservas, en caso del uso continuo del grupo electrógeno.

#### *2.2.3.7 Aislamiento de la vibración*

Según Inga (2008):

“El grupo electrógeno está dotado de tacos anti vibrantes diseñados para reducir las vibraciones transmitidas por el grupo motor alternador. Estos aisladores están colocados entre la base del motor, del alternador, del cuadro de mando y la bancada” (págs. 26-35).

#### *2.2.3.8 Silenciador y sistema de escape*

“El silenciador de escape va instalado en el grupo electrógeno, la función principal es reducir la emisión de ruidos producidos por el motor” (Inga, 2008, págs. 26-35).

#### *2.2.3.9 Sistema de control*

Según Inga (2008):

Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control para inspeccionar el funcionamiento y salida del grupo y para protegerlo contra posibles fallos en el funcionamiento. El manual del sistema de control proporciona información detallada del sistema que está instalado en el grupo electrógeno (págs. 26-35).

El sistema de control posibilita el seguimiento y control del grupo, para prevenir la ocurrencia de averías o fallas.

#### *2.2.3.10 Interruptor automático de salida*

Inga (2008) plantea que:



Para proteger al alternador, se suministra un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida del grupo electrógeno con control manual. Para grupos electrógenos con control automático se protege el alternador mediante contactores adecuados para el modelo adecuado y régimen de salida (págs. 26-35).

El interruptor automático de salida tiene como función resguardar al grupo electrógeno con control manual y contactores.

#### *2.2.3.11 Otros accesorios instalables en un grupo electrógeno*

Existen otros accesorios que permiten controlar y mantener automáticamente, el buen funcionamiento de los grupos electrógenos como la tarjeta electrónica de control, el radiador eléctrico y microprocesadores en grupos moderno.

- La tarjeta electrónica se emplea para la regulación automática de la velocidad del motor a través de la señal de entrada "pickup" y salida del "actuador".
- El radiador eléctrico se emplea en los grupos electrógenos refrigerados por aire, con el propósito de mantener el aceite a una temperatura adecuada.
- Los microprocesadores se emplean en los grupos electrógenos modernos, para el autodiagnóstico, comunicación de datos, etc.

### **2.3 Motores Waukesha**

“Los generadores eléctricos que funcionan con gas natural cuestan aproximadamente lo mismo que los que funcionan con propano y generalmente son más baratos que el diésel” (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974, págs. 2-5).

Los motores waukesha son motores de combustión interna a gas, diseñados para funcionar de forma fiable. Se encuentran provistos de turbocompresores que hacen que el aire del ambiente de alta velocidad pase a través de los intercambiadores, carburadores y colectores de entrada antes de llegar a la cámara de combustión (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

En Tapir A se encuentran instalados dos equipos waukesha de la serie VHP 7100 con un motor modelo “L7042 GSI” con un alternador modelo “LS 661-03”, los cuales son

confiables en eficiencia, durabilidad y longevidad para poder proporcionar energía fiable para aplicaciones de potencia continua e intermitente (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

### 2.3.1 Características de los equipos instalados (VHP 7100)

Los motores del equipo waukesha de la serie VHP 7100 instalados son de cuatro tiempos de 12 cilindros en V, que trabajan en sentido anti horario vistos desde el lado del volante o parte posterior (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

Tabla 1-2. Especificaciones generales de los generadores waukesha VHP7100

| MODELO DE MOTOR  | L7042GSI                              |
|--|---------------------------------------|
| Teclee   | de 4 tiempos                          |
| Aspiración, GSI  | Turbo comprimido y con intercambiador |
| Número de cilindros  | V- 12, 4 válvulas cada cilindro       |
| Rango de velocidad   | Entre 700 y 1200 rpm                  |
| Depósito de aceite   | 152 mínimo y máximo 173 galones       |
| Presión normal de aceite   | 55+-5psi                              |
| Punto de ajuste de la alarma por presión baja de aceite                | 35psi                                 |
| Punto de ajuste del apagado por presión baja de aceite                 | 30psi                                 |
| Duración de la prelubricación  | 5 minutos                             |
| Temperatura normal de colector de aceite                               | 180°F                                 |
| Punto de ajuste de la alarma por la temperatura del colector de aceite | 195°F                                 |
| Punto de ajuste del apagado por la temperatura del colector de aceite  | 205°F                                 |
| Sistema estándar de refrigeración                                      | 180°                                  |
| Presión de bajo combustible (gas natural)                              | 6 pulgadas                            |
| Presión inicial del aire   | 150psi                                |

Fuente: (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974)

#### 2.3.1.1 Cabeza del cilindro y válvulas

Las cabezas de los cilindros son intercambiables, poseen camisas húmedas reemplazables, así como dos válvulas de entrada y dos de salida las mismas que poseen asientos reemplazables, están provistos de brazos balancines y actuadores elevados. Estos son refrigerados con agua para reducir la deformación provocada por el calor durante el proceso de combustión (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.1.2 Cáster*

“El cáster está hecho de hierro fundido gris. Los cojinetes principales son reemplazables, en cuanto a los contrapesos del cigüeñal son fabricados en acero forjado y poseen siete cojinetes principales” (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.1.3 Cigüeñal*

El cigüeñal suspendido está hecho de acero forjado de aleación baja de gran resistencia. Posee contrapesos para obtener un equilibrio casi perfecto de las fuerzas giratorias. Como una característica especial todos los motores de waukesha son equipados con un amortiguador viscoso de vibraciones. El volante está mecanizado y presenta un engranaje de anillo, diseñado para realizar varias opciones de trabajo (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.1.4 Colectores de entrada*

Según (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974) La mezcla de entrada aire/combustible pasa a través de los colectores de entrada, donde se distribuye hacia los cilindros individuales.

#### *2.3.1.5 Colectores de salida*

“El puerto de salida de la cabeza de cada cilindro está conectado a un segmento refrigerado por agua del colector de salida” (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.1.6 Bielas conectoras*

“Las bielas conectoras están fabricadas para garantizar una fuerza máxima, un equilibrio preciso y un peso consistente entre los cilindros” (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.1.7 Turbocompresores*

“Los turbocompresores de flujo radial de alto rendimiento están sujetos a la parte posterior del motor y generan los niveles de incremento necesarios del motor” (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.1.8 Pistones*

“Los pistones están fabricados en una sola pieza, de forma ovalada, los cuales se deforman de tal manera que al mantener una temperatura estable toma la forma casi totalmente redonda” (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.1.9 Árboles de levas*

El árbol de levas es altamente resistente, las bielas conectoras están hechas de acero forjado y tienen orificios de lubricación, los pistones usan pines de pistón completamente flotantes. Están diseñados de manera que minimiza el riesgo de solapamiento entre las válvulas y reduce el flujo de gases entre los puertos de entrada y salida, esto mejora la eficiencia de combustible y reduce las emisiones de salida (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.1.10 Carburadores*

“Los carburadores están formados por una válvula mariposa convencional además de válvulas de medición de gas con diafragma” (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

La válvula mariposa de la garganta del carburador controla el flujo de aire, las válvulas de medición de gas se regulan y controlan en dependencia de la cantidad de aire que ingresa a los carburadores, logrando en el sistema una proporción ideal de la mezcla aire/combustible (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.1.11 Intercambiadores*

La configuración de los capós superiores e inferiores genera un camino en forma de U que posibilita el paso del refrigerante cuatro veces a través del montaje central, antes de salir de la parte superior.

Las planchas de cierre separan el aire que pasa por la cubierta del refrigerante de los capós superiores e inferiores. El suministro refrigera continuamente a las válvulas de descarga (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

### *2.3.1.12 Gestor del sistema del motor (ESM) waukesha*

El ESM (Módulo de arranque de motor) es un componente de serie, este sistema integra el control del tiempo de ignición, la detección de la detonación, el control arranque parada, el control aire / combustible, las herramientas de diagnóstico, el sistema de fallos y la seguridad del motor.

El sistema ofrece:

- Rendimiento mejorado del motor
- Diagnóstico minucioso del sistema
- Rápida reducción de problemas del motor
- Capacidad de supervisión local y remota para revisar el rendimiento del motor
- Integración en un amplio sistema de adquisición de datos (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.1.12.1 Detección de detonación*

“El sistema detecta la detonación al supervisar la vibración de cada cilindro mediante sensores de detonación unidos al motor” (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.1.12.2 Sistema de arranque*

“Controla el tiempo de la bujía de encendido mediante un sistema de arranque capacitivo digital, utiliza el principio de descarga del condensador para proporcionar una ignición precisa y de energía variable alta, para maximizar el rendimiento del motor” (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

### *1.2.3 Control de proporción aire / combustible*

La opción de control de la proporción aire/combustible permite controlar la proporción de la mezcla rica estequiometría “waukesha”, la proporción aire/combustible del motor se utiliza para definir la cantidad de aire (en peso o masa) con respecto a una cantidad única de combustible proporcionada al motor para la combustión (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

### ***2.3.2 Sistema gobernador de velocidad***

#### *2.3.2.1 Descripción del sistema gobernador de velocidad*

El gestor de sistema del motor ESM (Módulo de arranque de motor) es un sistema de gestión completa del motor, consta de la unidad de control electrónico (ECU) del motor del ESM, además del sistema electrónico del gobernador y del software que controla el actuador.

El sistema se encarga de modificar el par motor para que el mismo alcance la velocidad deseada, para esto también se basa en una aportación y calibraciones externas. El resultado de la diferencia entre la velocidad actual y la deseada se utiliza para modificar el par motor y mantener la velocidad ideal (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974, págs. 2-5).

Existen dos formas de control que puede adoptar el sistema, la primera referida al control de velocidad ajustable, donde el gobernador controlará el motor a cierta velocidad, y la segunda se relaciona con la carga que se maneja cuando el equipo está sincronizado a una red, controlándose la velocidad y la carga del motor mediante señales emitidas por un dispositivo externo (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.2.2 Descripción del sistema de combustible*

El Sistema de combustible está conformado por reguladores de presión, control de la proporción de aire / combustible y carburadores, los cuales mantienen una proporción constante de la mezcla de aire/combustible, a través del rango de carga del motor y repartiendo la cantidad adecuada de dicha mezcla (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.2.3 Descripción del sistema de arranque*

El sistema de arranque se integra por los siguientes componentes: sistema de arranque, módulo de ignición con capacidad de diagnóstico, el gestor del sistema del motor, bujías, extensiones de la bujía, control de detección de detonación del ESM y bobinas de arranque (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.2.4 Descripción del sistema de entrada de aire*

“El Sistema de entrada de aires está integrado por: intercambiadores, carburadores, colectores de entrada, turbocompresores y sistemas de filtración del aire” (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.2.5 Descripción del sistema de refrigeración*

El sistema de refrigeración integrado por circuitos de refrigeración de la camisa, colector de salida, distribuidor de agua, tanque de almacenamiento, circuito de refrigeración auxiliar, bomba de agua auxiliar, bomba de la camisa de agua, colector de la camisa de agua / camisa de agua, dispositivo de transferencia remota de calor, intercambiadores, refrigerador de aceite, válvula auxiliar de control de temperatura del agua, dispositivo auxiliar de transferencia de calor de agua y válvula de control de la temperatura de la camisa de agua (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.2.6 Descripción del sistema de lubricación*

A través de los orificios de los asientos del cojinete principal, los conductos internos dirigen el flujo de aceite presurizado hasta los cojinetes principales. El sistema de lubricación se integra por: depósito de aceite y/o filtro, bomba de aceite, válvula de control de la temperatura, filtros de aceite de flujo pleno, válvula de alivio del filtro, válvula reguladora de presión, refrigerador de aceite, y además por el sistema de pre-lubricación, integrado a su vez por motor–bomba, válvula de pre-lubricación asistida y lubricador en línea (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.2.7 Descripción del sistema de salida*

“El sistema de salida está integrado por el turbocompresor, tubos de salida y conexiones flexibles y válvulas de descarga de salida” (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).

#### *2.3.2.8 Descripción del sistema de respiradero del cárter*

El sistema del respiradero del cárter tiene como función mantener una presión ligeramente negativa en el cárter, eliminando los gases de combustión y vapores de

agua que perjudican el cárter y evitando la formación de lodo y la contaminación del aceite.

Este sistema está integrado por la pantalla separadora del cárter, separador de aceite y válvulas de alivio de presión del cárter (Dresser Industries, inc. Waukesha engine division, 1974).



## CAPÍTULO III

### DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO

#### 3.1 Adquisición de datos los grupos electrógenos de Tapir A

##### 3.1.1 Descripción de equipos

Los generadores instalados en la estación de Tapir A para suministrar de energía para los equipos de la planta y pozos son dos unidades waukesha normalmente operativas, adicional se dispone de un generador de respaldo a diésel para las emergencias operativas de uno de los generadores a gas.

Tabla 1-3. Datos técnicos de los generadores de tapir A

| MARCA       | GENERADOR "WAUKESHA" | INICIO OPERACIÓN | CAPACIDAD AMP | CAPACIDAD KW | MOTOR   |
|-------------|----------------------|------------------|---------------|--------------|---------|
| WAUKESHA    | GEN-101              | 24 Junio 2015    | 1579          | 1050         | VHP7100 |
| WAUKESHA    | GEN-102              | 24 Junio 2015    | 1579          | 1050         | VHP7100 |
| CATERPILLAR | GCV-72               | 24 Junio 2015    | 2045          | 1359         | 3512    |

Tal como se pudo ver en la tabla 1-3, existen dos generadores a gas waukesha y un generador caterpillar.

##### 3.1.2 Eventos ocurridos en 2015

Para el análisis de este trabajo se tomará como punto de partida la fecha en que los generadores waukesha iniciaron su operación que fue el 26 de junio el día 2015, desde entonces se evaluó los fallos que tuvieron los dos grupos electrógenos en la siguiente tabla 2-3.

Tabla 2-3. Fallas de los grupos electrógenos en tapir A en el 2015

| <b>FECHA DE PARADA<br/>(SHUT DOWN)</b> | <b>CÓDIGO<br/>GENERADOR</b> | <b>SISTEMA</b>  | <b>ELEMENTO</b> |
|--|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| 26 de Junio de 2015                    | GEN-102                     | instrumentación | termocupla      |
| 1 de Julio de 2015                     | GEN-101                     | eléctrico       | fusible         |
| 6 de Julio de 2015                     | GEN-102                     | instrumentación | sensor          |
| 11 de Julio de 2015                    | GCV-72                      | mecánico        | refrigerante    |
| 12 de Julio de 2015                    | GEN-101                     | mecánico        | turbo           |
| 21 de Julio de 2015                    | GEN-102                     | instrumentación | sensor          |
| 26 de Julio de 2015                    | GCV-72                      | mecánico        | refrigerante    |
| 2 de Agosto de 2015                    | GEN-101                     | mecánico        | turbo           |
| 9 de Agosto de 2015                    | GEN-102                     | eléctrico       | breaker         |
| 10 de Agosto de 2015                   | GEN-102                     | mecánico        | turbo           |
| 23 de Agosto de 2015                   | GEN-102                     | instrumentación | sensor          |
| 30 de Agosto de 2015                   | GEN-101                     | eléctrico       | bujía           |
| 6 de Septiembre de 2015                | GCV-72                      | mecánico        | refrigerante    |
| 13 de Septiembre de 2015               | GCV-72                      | mecánico        | refrigerante    |
| 14 de Septiembre de 2015               | GEN-102                     | instrumentación | termocupla      |
| 20 de Septiembre de 2015               | GEN-101                     | eléctrico       | fusible         |
| 26 de Septiembre de 2015               | GEN-101                     | eléctrico       | breaker         |
| 2 de Octubre de 2015                   | GEN-101                     | eléctrico       | breaker         |
| 8 de Octubre de 2015                   | GEN-102                     | instrumentación | sensor          |
| 9 de Octubre de 2015                   | GCV-72                      | mecánico        | refrigerante    |
| 18 de Octubre de 2015                  | GEN-101                     | instrumentación | sensor          |
| 23 de Octubre de 2015                  | GEN-102                     | mecánico        | turbo           |
| 1 de Noviembre de 2015                 | GEN-101                     | mecánico        | turbo           |
| 7 de Noviembre de 2015                 | GEN-101                     | instrumentación | sensor          |
| 8 de Noviembre de 2015                 | GEN-101                     | instrumentación | sensor          |
| 15 de Noviembre de 2015                | GCV-72                      | mecánico        | refrigerante    |
| 21 de Noviembre de 2015                | GEN-101                     | eléctrico       | fusible         |
| 22 de Noviembre de 2015                | GEN-101                     | eléctrico       | transformador   |
| 28 de Noviembre de 2015                | GEN-101                     | instrumentación | sensor          |
| 30 de Noviembre de 2015                | GEN-101                     | mecánico        | turbo           |
| 4 de Diciembre de 2015                 | GEN-101                     | instrumentación | sensor          |
| 5 de Diciembre de 2015                 | GEN-102                     | instrumentación | sensor          |
| 11 de Diciembre de 2015                | GEN-101                     | instrumentación | sensor          |
| 14 de Diciembre de 2015                | GCV-72                      | mecánico        | refrigerante    |
| 18 de Diciembre de 2015                | GEN-102                     | mecánico        | turbo           |
| 19 de Diciembre de 2015                | GEN-101                     | instrumentación | transformador   |
| 27 de Diciembre de 2015                | GEN-101                     | instrumentación | sensor          |

Con los eventos también se obtuvo información de los pozos de producción que se apagaron por falla de sistema de generación, se muestra en tabla 3-3.

Tabla 3-3. Pozos apagados por fallas del sistema generación

| FECHA DE PARADA          | CÓDIGO DE POZOS APAGADOS  | NÚMERO DE POZOS APAGADOS |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 26 de Junio de 2015      | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 1 de Julio de 2015       | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 6 de Julio de 2015       | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |
| 11 de Julio de 2015      | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 12 de Julio de 2015      | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 21 de Julio de 2015      | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 26 de Julio de 2015      | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 2 de Agosto de 2015      | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |
| 9 de Agosto de 2015      | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 10 de Agosto de 2015     | TN-2-3-4-5-6-7-8-10-16    | 9                        |
| 23 de Agosto de 2015     | TN-2-3-4-5-6-7-8-10-16    | 9                        |
| 30 de Agosto de 2015     | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |
| 6 de Septiembre de 2015  | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |
| 13 de Septiembre de 2015 | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |
| 14 de Septiembre de 2015 | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |
| 20 de Septiembre de 2015 | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 26 de Septiembre de 2015 | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 2 de Octubre de 2015     | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |
| 8 de Octubre de 2015     | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 9 de Octubre de 2015     | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 18 de Octubre de 2015    | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 23 de Octubre de 2015    | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 1 de Noviembre de 2015   | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |
| 7 de Noviembre de 2015   | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 8 de Noviembre de 2015   | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 15 de Noviembre de 2015  | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |
| 21 de Noviembre de 2015  | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 22 de Noviembre de 2015  | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 28 de Noviembre de 2015  | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 30 de Noviembre de 2015  | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 4 de Diciembre de 2015   | TN-2-3-4-5                | 4                        |
| 5 de Diciembre de 2015   | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |
| 11 de Diciembre de 2015  | TN-2-3-4-5-6-7-8-10-16    | 9                        |
| 14 de Diciembre de 2015  | TN-2-3-4-5-6-7-8-10-16    | 9                        |
| 18 de Diciembre de 2015  | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |
| 19 de Diciembre de 2015  | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |
| 27 de Diciembre de 2015  | TN-2-3-4-5-8-6-7-10-16-17 | 10                       |

En la tabla 3-3, se ve que en algunas fechas por falla del sistema de generación se apagaron 10 pozos.

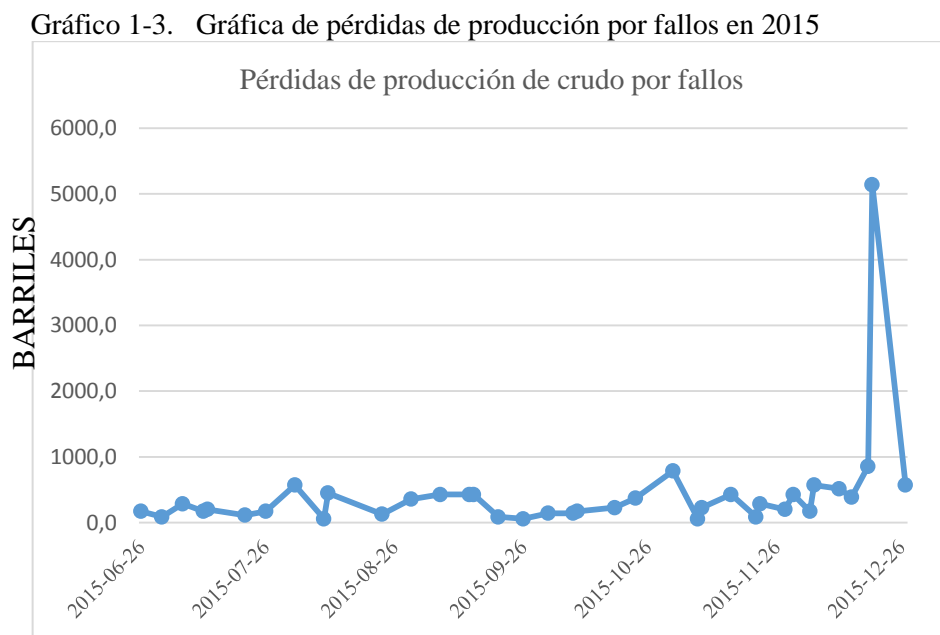
Tabla 4-3. Pérdidas de producción y económicas

| <b>FECHA DE PARADA<br/>( SHUT DOWN)</b> | <b>APAGADAS<br/>HORAS</b> | <b>PÉRDIDA DE<br/>PRODUCCIÓN<br/>(BOPD)</b> | <b>PÉRDIDA<br/>ECONÓMICAS<br/>(DÓLARES)</b> |
|---|---------------------------|---|---|
| 26 de junio del 2015                    | 6                         | 171,4                                       | 7028,6                                      |
| 1 de Julio de 2015                      | 3                         | 85,7  | 3514,3                                      |
| 6 de Julio de 2015                      | 4                         | 285,7                                       | 11714,3                                     |
| 11 de Julio de 2015                     | 6                         | 171,4                                       | 7028,6                                      |
| 12 de Julio de 2015                     | 7                         | 200   | 8200  |
| 21 de Julio de 2015                     | 4                         | 114,3                                       | 4685,7                                      |
| 26 de Julio de 2015                     | 6                         | 171,4                                       | 7028,6                                      |
| 2 de Agosto de 2015                     | 8                         | 571,4                                       | 23428,6                                     |
| 9 de Agosto de 2015                     | 2                         | 57,1  | 2342,9                                      |
| 10 de Agosto de 2015                    | 7                         | 450   | 18450                                       |
| 23 de Agosto de 2015                    | 2                         | 128,6                                       | 5271,4                                      |
| 30 de Agosto de 2015                    | 5                         | 357,1                                       | 14642,9                                     |
| 6 de Septiembre de 2015                 | 6                         | 428,6                                       | 17571,4                                     |
| 13 de Septiembre de 2015                | 6                         | 428,6                                       | 17571,4                                     |
| 14 de Septiembre de 2015                | 6                         | 428,6                                       | 17571,4                                     |
| 20 de Septiembre de 2015                | 3                         | 85,7  | 3514,3                                      |
| 26 de Septiembre de 2015                | 2                         | 57,1  | 2342,9                                      |
| 2 de Octubre de 2015                    | 2                         | 142,9                                       | 5857,1                                      |
| 8 de Octubre de 2015                    | 5                         | 142,9                                       | 5857,1                                      |
| 9 de Octubre de 2015                    | 6                         | 171,4                                       | 7028,6                                      |
| 18 de Octubre de 2015                   | 8                         | 228,6                                       | 9371,4                                      |
| 23 de Octubre de 2015                   | 13                        | 371,4                                       | 15228,6                                     |
| 1 de Noviembre de 2015                  | 11                        | 785,7                                       | 32214,3                                     |
| 7 de Noviembre de 2015                  | 2                         | 57,1  | 2342,9                                      |
| 8 de Noviembre de 2015                  | 8                         | 228,6                                       | 9371,4                                      |
| 15 de Noviembre de 2015                 | 6                         | 428,6                                       | 17571,4                                     |
| 21 de Noviembre de 2015                 | 3                         | 85,7  | 3514,3                                      |
| 22 de Noviembre de 2015                 | 10                        | 285,7                                       | 11714,3                                     |
| 28 de Noviembre de 2015                 | 7                         | 200   | 8200  |
| 30 de Noviembre de 2015                 | 15                        | 428,6                                       | 17571,4                                     |
| 4 de Diciembre de 2015                  | 6                         | 171,4                                       | 7028,6                                      |
| 5 de Diciembre de 2015                  | 8                         | 571,4                                       | 23428,6                                     |
| 11 de Diciembre de 2015                 | 8                         | 514,3                                       | 21085,7                                     |
| 14 de Diciembre de 2015                 | 6                         | 385,7                                       | 15814,3                                     |
| 18 de Diciembre de 2015                 | 12                        | 857,1                                       | 35142,9                                     |
| 19 de Diciembre de 2015                 | 72                        | 5142,9                                      | 210857,1                                    |
| 27 de Diciembre de 2015                 | 8                         | 571,4                                       | 23428,6                                     |
| <b>TOTAL</b>                            |                           | <b>15964,3</b>                              | <b>654535,7</b>                             |

El apagado de los pozos tiene relación directa con las pérdidas de producción y económicas para la empresa, tal como se lo puede ver en la tabla 4-3.

De acuerdo a lo que se muestra en la tabla 4-3, se obtiene valores significativos con pérdidas de producción de 15964.3 bopd y una disminución económica de 654535.7 dólares.

La gráfica de las pérdidas de producción se lo aprecia en el gráfico 1-3



Según el gráfico 1-3 existe un incremento en las pérdidas de producción en el mes de diciembre siendo este el punto más alto por la falla del transformador.

### 3.2 Análisis de datos los grupos electrógenos de Tapir A

De los datos obtenidos de eventos ocurridos se ha hecho el análisis de la siguiente forma:

- Fallos por sistema
- Fallos por elemento

#### 3.2.1 Fallos por sistema

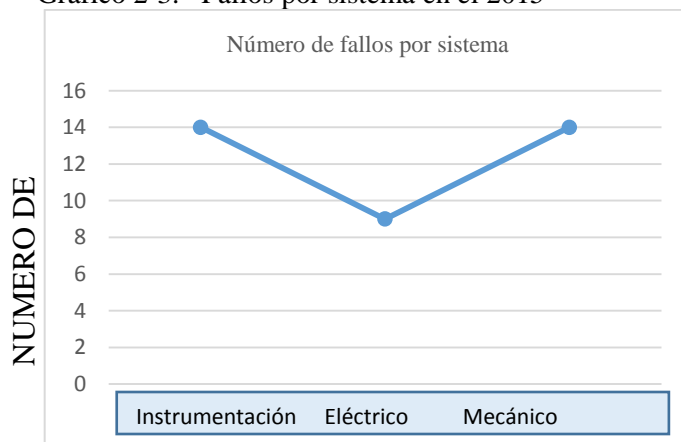
Los fallos ocurridos por el sistema de generación se clasificaron de acuerdo al sistema de generación mostrado en la tabla 5.3.

Tabla 5-3. Número de fallas por sistema de los generadores en el 2015

| NÚMERO DE FALLOS POR SISTEMA |                   |                  |        |
|------------------------------|-------------------|------------------|--------|
| Sistema de Instrumentación   | Sistema Eléctrico | Sistema Mecánico | Total  |
| 15                           | 8                 | 14               | 37     |
| 40,5%                        | 21,6%             | 37,8%            | 100,0% |

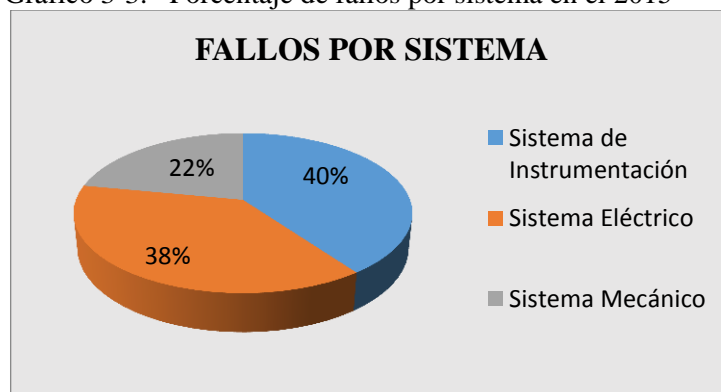
Los valores indicados en la tabla 5-3, se expresa gráficamente en la gráfico 2-3, para poder apreciar de mejor manera cuál de los sistemas existentes son los que más han fallado.

Gráfico 2-3. Fallos por sistema en el 2015



El porcentaje que representa estos fallos por sistema es lo que se ve en el gráfico 3-3.

Gráfico 3-3. Porcentaje de fallos por sistema en el 2015



### 3.2.2 Fallos por elemento

De los sistemas de generación existentes por cada uno de los elementos se desglosó de acuerdo a los fallos ocurridos como se muestra en la tabla 6-3.

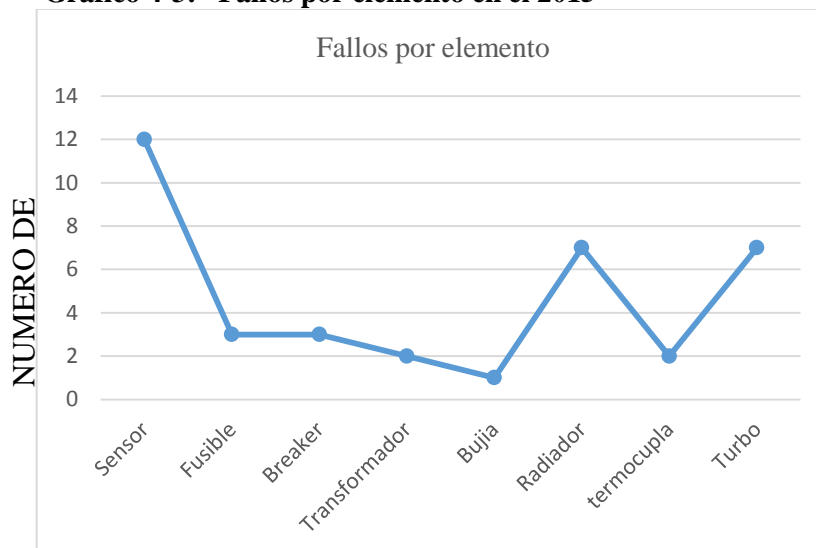
Tabla 6-3. Número de fallos por elemento en el 2015

| ELEMENTO      | NÚMERO DE FALLOS | PORCENTAJE (%) |
|---------------|------------------|----------------|
| Sensor        | 12               | 32,4%          |
| Fusible       | 3                | 8,1%           |
| Breaker       | 3                | 8,1%           |
| Transformador | 2                | 5,4%           |
| Bujía         | 1                | 2,7%           |
| Refrigerante  | 7                | 18,9%          |
| Termocupla    | 2                | 5,4%           |
| Turbo         | 7                | 18,9%          |
| TOTAL         | 37               | 100,0%         |

Como se aprecia en la tabla 6-3 el elemento sensor es el que tiene mayor frecuencia de haber fallado, mientras que el elemento bujía es el que registra menos fallos.

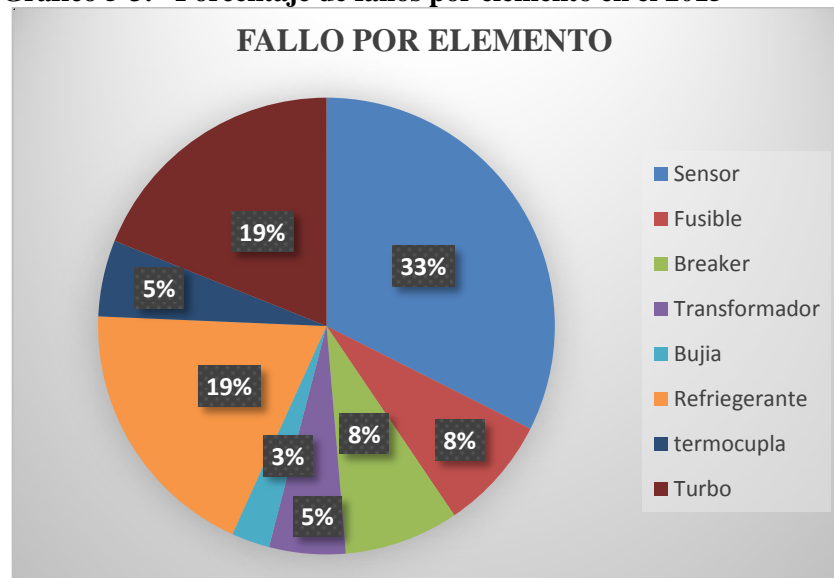
En la gráfico 4-3 se puede ver como el punto más alto de fallos corresponde al elemento sensor.

Gráfico 4-3: Fallos por elemento en el 2015



Los valores se representan porcentualmente estos fallos por elemento se expresa en el gráfico 5-3.

**Gráfico 5-3: Porcentaje de fallos por elemento en el 2015**





## CAPÍTULO IV

### PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

Debido a que ya se tiene los datos de los elementos que han sufrido fallo en los últimos siete meses, se procede a elaborar un plan para determinar las posibles causas y las consecuencias que traen cada uno de los fallos ocurridos en el período analizado.

Para determinar las posibles causas y consecuencias se propone que los fallos sean analizados a través del mantenimiento centrado en confiabilidad, dando prioridad a los elementos que se tienen reportados como fallos en este estudio.

El análisis de confiabilidad busca determinar causas y consecuencias, y se lo realiza en los siguientes pasos que se muestran en la tabla 1.4.

Tabla 1-4. Secuencia de análisis de confiabilidad

| ITEM | PASO                             | DESCRIPCIÓN   |
|------|----------------------------------|---|
| 1    | Listado de códigos de elementos  | Ordenar elementos                                   |
| 2    | Funciones de los elementos       | Definir la función de cada elemento                 |
| 3    | Fallos de los elementos          | Definir la anti función de cada elemento.           |
| 4    | Modos de fallos de los elementos | Determinar las causas de los fallos.                |
| 5    | Consecuencias                    | Establecer los problemas consiguientes a cada fallo |
| 6    | Criticidad                       | Determinar los prioritarios                         |
| 7    | Medidas preventivas              | Establecer medidas de prevención de los fallos.     |

#### 4.1 Listado de elementos y códigos

En esta fase del análisis de confiabilidad se trata de clasificar ordenadamente los elementos que forman el equipo o planta que se vaya analizar, para este caso se tiene un equipo que es el generador, al cual se lo clasificará en sistemas y a este se lo clasificará en elementos, de acuerdo a la tabla 2-4.

Tabla 2-4. Codificación de elementos

| ITEM | SISTEMA         | ELEMENTO                |
|------|-----------------|-------------------------|
| 1    | Instrumentación | Termocupla del cilindro |
| 2    | Instrumentación | Sensor flama            |
| 3    | Eléctrico       | Fusible                 |
| 4    | Eléctrico       | Breaker MCC             |
| 5    | Eléctrico       | Bujía                   |
| 6    | Mecánico        | Radiador                |
| 7    | Mecánico        | Turbo                   |
| 8    | Mecánico        | Transformador           |

La tabla 2.4 muestra los elementos bajo los cuales se hará el estudio de MCC que son básicamente los que han tenido fallo en el período de 2015.

## 4.2 Funciones de los sistemas del generador

En esta fase se da a conocer los parámetros bajo los cuales operan los elementos que conforman el equipo, para este caso el generador.

### 4.2.1 Función del sistema de instrumentación

Se refiere al grupo de elementos que se utilizan para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables del proceso que lleva el motor y el generador para prevenir o alertar posibles fallos.

#### 4.2.1.1 Función de la termocupla

Transmitir una señal de temperatura desde un lugar determinado del motor que genera calor hacia el tablero de control del generador o el panel de instrumentos del cuarto de control, con valores superiores o inferiores a los rangos calibrados de operación de la termocupla.

Figura 1-4. Sensor de temperatura utilizado en los generadores waukesha.



#### *4.2.1.2 Función del sensor de flama*

El sensor de flama que se utiliza en los alrededores de los generadores funciona al contacto de flama con el sensor, lo que provoca en un inicio una alerta pero si no es tomada en cuenta la alerta, entonces provoca un apagado debido al riesgo de incendio.

Figura 2-4. Sensor de flama



#### *4.2.2 Función del sistema eléctrico*

Se encarga de las partes que transmiten o reciben la electricidad generada por los equipos waukesha, para este estudio se ha tomado los elementos que han causado fallos que son: breaker, bujía, fusible, transformador.

#### 4.2.2.1 Función del breaker

Es un aparato utilizado para interrumpir o abrir un circuito eléctrico cuando la intensidad de la corriente eléctrica que circula por él, excede de un determinado valor que para el caso de los motores waukesha es de 960kw cuando entra en funcionamiento, es decir cuando manda a cortar la energía, se fabrican de diferentes tamaños y características.

Figura 3-4. Breaker del cuarto de control



#### 4.2.2.2 Función de la bujía

La bujía es un aparato encargado de encender la mezcla de combustible y aire. El parámetro de operación en su entorno a los 18000 voltios. Para el funcionamiento del vehículo y para el medio ambiente es necesario que la bujía sea de óptima calidad ya que influye en varios aspectos como la suavidad de marcha, el rendimiento y la eficiencia del motor y las emisiones contaminantes.

Figura 4-4. Bujía utilizada en motores Waukesha



#### 4.2.2.3 Función del fusible

Este elemento funciona cuando existe una sobrecarga del 80% de la capacidad de generación de los motores waukesha lo que significa que entran en acción cuando el motor llega a entregar carga superior a los 960 Kw.

Figura 5-4. Fusible industrial



#### 4.2.2.4 Función del transformador

Los transformadores se encargan de reducir los 480 voltios a través del paso de la energía por el transformador, generando así calor en el interior del transformador que es refrigerado con radiadores de aceite dieléctrico.

Figura 6-4. Transformador



### ***4.2.3 Función del sistema mecánico***

Son las partes móviles o estructurales del generador que son generalmente los que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, los elementos que se analizan en este estudio son: radiador y turbocompresor.

#### ***4.2.3.1 Función del radiador***

La función del radiador es permitir el paso de refrigerante o agua a través de sus paneles los cuales están en contacto con el viento generado por las aspas del motor caterpillar, una vez que el refrigerante termina el recorrido por los paneles, ha transferido el calor del motor hacia el medio ambiente.

Figura 7-4. Radiador del motor caterpillar



#### ***4.2.3.2 Función del turbocompresor***

Este es un sistema de sobrealimentación que mediante una turbina centrífuga y un eje coaxial acciona un compresor centrífugo para comprimir gases.

Figura 8-4. Turbocompresor de motor Waukesha



### **4.3 Fallos de los sistemas del generador**

El fallo ocurre cuando el sistema o elemento de generación del motor waukesha tienen incapacidad de cumplir alguna de sus funciones.

Por ello, al realizar correctamente el listado adecuado de funciones, es fácil determinar los fallos, se tendrá un posible fallo por cada función que tenga el ítem (sistema, equipo, elemento) y no se cumpla.

#### ***4.3.1 Fallos en sistema de instrumentación***

El fallo ocurrirá cuando alguno de los elementos del sistema deje de cumplir su función de medir, convertir transmitir o controlar las variables que estén a su cargo.

##### ***4.3.1.1 Fallos en termocupla***

- Dejar de transmitir la señal de temperatura para lo cual está calibrado el elemento.
- Transmitir valores que no están dentro del rango de operación de la termocupla.

##### ***4.3.1.2 Fallos en sensor flama***

- Enviar una señal falsa de alerta o de apagado hacia el tablero de control o PLC.
- No enviar la señal de alerta o apagado en el caso de que si exista una flama hacia el tablero de control o PLC.

##### ***4.3.2 Fallos en sistema eléctrico***

Se hablaba de que este sistema se encarga de transmitir o recibir la energía generada por el equipo waukesha, de manera que el fallo ocurrirá cuando alguno de los elementos que son objeto de estudio no transmitan o reciban la energía.

#### *4.3.2.1 Fallos en breaker*

- No interrumpir el paso de energía cuando hay sobrecarga que recibe de los generadores, es decir no interrumpir el paso de energía cuando hay tensión mayor a 960 Kw.
- Interrumpir el paso de energía cuando el elemento no está con sobrecarga de la energía que está recibiendo del equipo waukesha, es decir interrumpir el paso de energía cuando ésta no ha llegado a los 960 Kw.

#### *4.3.2.2 Fallos en bujía*

- Dejar de entregar 18000 voltios hacia la cámara de combustión del equipo waukesha.

#### *4.3.2.3 Fallos en fusible*

- Está en fallo cuando se activa a menos de 960 Kw es decir envía apagar el generador cuando aún puede abastecer de carga.
- Está en fallo cuando no se acciona al momento de una sobrecarga, es decir que ya existiendo 960 Kw no se acciona.

#### *4.3.2.4 Fallos en transformador*

- Se encuentra en fallo cuando el elemento no reduce la energía los 480 voltios y se queda en valores superiores o inferiores a los 480 voltios.
- No mantiene el elemento refrigerante en su interior.

#### *4.3.3 Fallos en sistema mecánico*

Se tendrá modos de fallo cuando los elementos móviles o estructurales hayan dejado de moverse o de cumplir las actividades que han sido encomendadas



#### *4.3.3.1 Fallos en radiador*

- No permitir el paso de refrigerante por los paneles que están en este elemento
- No permitir el paso de viento de las aspas del ventilador
- No mantener el refrigerante en el interior de los paneles

#### *4.3.3.2 Fallos en turbocompresor*

- No comprimir el aire que está en contacto con las aspas de la turbina
- No girar a las RPM que se necesita para comprimir el aire
- No mantener el aire comprimido en su trayectoria de la turbina de gases de escape o de entrada de aire

### **4.4 Determinación del modo de fallo de los sistemas**

En esta etapa se necesita encontrar porqué ese elemento en cuestión se encuentra en fallo, es decir se trata de encontrar la causa que provoca que el elemento no cumpla su función.

#### ***4.4.1 Modo de fallo sistema instrumentación***

##### *4.4.1.1 Modo de fallo en termocupla*

- Material del elemento no resistente a altas temperaturas
- Calibración del elemento no acorde a los rangos de operación necesarios
- Tiempo de vida útil del elemento ya cumplido

##### *4.4.1.2 Modo de fallo en sensor de flama*

- Calibración del elemento no acorde a los rangos de operación necesarios

- Presencia de insectos en los alrededores del sensor
- Cambios de sentido del viento que acarrea el calor de la flama de la tea

#### ***4.4.2 Modo de fallo sistema eléctrico***

##### *4.4.2.1 Modo de fallo en breaker*

- Calibración del elemento no acorde a los rangos de operación necesarios
- Operación indebida del elemento

##### *4.4.2.2 Modo de fallo en la bujía*

- Material del elemento no resistente a altas temperaturas
- Presencia de alguna grieta en el elemento
- Vida útil ya saturada del elemento
- Falta de limpieza de la parte de contacto

##### *4.4.2.3 Modo de fallo en fusible*

- Fusible de características no concordantes a las sobrecargas requeridas de acción
- Sobrecargas constantes en la operación de los equipos

##### *4.4.2.4 Modo de fallo en transformador*

- Aceite dieléctrico contaminado
- Nivel del aceite dieléctrico no adecuado
- Fuga de aceite a través de alguna grieta o elemento mal ajustado

#### ***4.4.3 Modo de fallo sistema mecánico***

##### *4.4.3.1 Modo de fallo en turbocompresor*

- Rotura de aspas
- Desgaste de rodamientos

- Desgaste de orings
- Calibración de la salida de gases

#### *4.4.3.2 Modo de fallo en radiador*

- Taponamiento de los paneles del radiador
- Grietas en los paneles del radiador
- Contaminación del fluido refrigerante
- Falta de ventilación
- Presencia de elementos extraños en la parte externa de los paneles

### **4.5 Consecuencias de los fallos**

Se trata en esta etapa, de verificar a que es lo que conlleva cada uno de los fallos que se han analizado hasta el momento.

Se pueden tener cuatro tipos de consecuencia que son:

- Consecuencias de seguridad industrial
- Consecuencias medioambientales
- Consecuencias de producción
- Consecuencias de mantenimiento

#### *4.5.1 Consecuencias de los fallos en el sistema de instrumentación*

##### *4.5.1.1 Consecuencias de fallos en termocupla*

- Consecuencias de producción: pérdida de potencia de generación y producción.
- Consecuencias de mantenimiento: costos de reparación y de repuestos.

##### *4.5.1.2 Consecuencias de fallos en sensor de flama*

###### a) Consecuencias de seguridad

- Se puede activar los planes de emergencia sin que sean necesarios si las alertas son falsas
- Se puede tener daños o pérdidas humanas o materiales si es que no se activa la alerta por algún desperfecto en el sensor

b) Consecuencias medioambientales

- Si no se emite la alerta en caso de una eventual presencia de flama, se puede tener incendios y afectación a la flora y fauna
- Se puede tener contaminación del aire para las comunidades que están junto a la estación de generación

c) Consecuencias de producción

- Si existe flama y no se activa la alerta o alarma se puede parar la producción debido al daño que produzca la flama en el equipo

d) Consecuencias de mantenimiento

- Se puede llegar a tener el daño total o parcial del equipo
- Costo de reparación puede ser similar al costo de reemplazo del equipo
- Repuestos para reemplazo pueden tardar en llegar

#### ***4.5.2 Consecuencias de los fallos en el sistema eléctrico***

##### *4.5.2.1 Consecuencia de fallo en breaker*

a) Consecuencias de seguridad industrial

- Corto circuito del sistema
- Daño a las personas en caso de sobrecarga

b) Consecuencias de producción

- Apagado del generador
- Pérdidas de producción
- Daño en los elementos del sistema
- Apagado de pozos

c) Consecuencias de mantenimiento

- Reparación o cambio de elementos sobrecargados
- Costo de repuestos
- Alteración en programas de mantenimientos a otros elementos
- Costo de los técnicos que realizan el mantenimiento correctivo

##### *4.5.2.2 Consecuencias de los fallos en las bujías*

a) Consecuencias de producción

- Pérdida de potencia de generación

- Pérdida de producción de los pozos
- Pérdida de bombeo hacia Petroamazonas

#### *4.5.2.3 Consecuencias de los fallos en fusibles*

- a) Consecuencias de producción
  - Pérdida de producción de pozos
  - Pérdida de bombeo hacia Petroamazonas
  - Daño en elementos que soportan las sobrecargas

#### *4.5.2.4 Consecuencias de los fallos en transformador*

- a) Consecuencias de seguridad
  - Explosión cerca de personas
  - Quemaduras por contacto con superficies calientes
- b) Consecuencias medioambientales
  - Contacto de aceite dieléctrico con el suelo o con el agua del sector
  - Contacto de fauna con aceite dieléctrico derramado
- c) Consecuencias producción
  - Reducción de voltaje a equipos que provee energía el generador
  - Disminución de pozos que estén en operación
  - Indisponibilidad de equipos por falta de energía
- d) Consecuencias de mantenimiento
  - Costos de reparación o cambio de elementos
  - Costos de mano de obra
  - Tiempo de reparación o llegada del repuesto del elemento con fallo

### ***4.5.3 Consecuencias de los fallos en el sistema de mecánico***

#### *4.5.3.1 Consecuencias de los fallos en el radiador*

- a) Consecuencias de seguridad
  - Quemaduras al tener contacto con áreas calientes
  - Quemadura por contacto por explosión de vapor de radiador
- b) Consecuencias medioambientales

- Contaminación del suelo
- Costo de remediación
- c) Consecuencias de producción
  - Pérdida de producción por no disponibilidad de los equipos
  - Reducción en el bombeo hacia Petroamazonas
  - Apagado de pozos
- d) Consecuencias de mantenimiento
  - Costo de reparación del radiador o reemplazo
  - Costo de mano de obra para la reposición del radiador

#### *4.5.3.2 Consecuencias de los fallos en el turbocompresor*

- a) Consecuencias de seguridad
  - Inhalación de gases de escape del generador waukesha
  - Quemadura por contacto con gases a alta temperatura
- b) Consecuencias de producción
  - Indisponibilidad de equipos
  - Reducción en la producción de los pozos
  - Reducción en el bombeo desde plataforma hasta Petroamazonas
- c) Consecuencias de mantenimiento
  - Costo de reparación
  - Costo de reemplazo del elemento

## **4.6 Criticidad de los fallos**

Se trata de determinar cuán importante es el fallo desde el punto de vista de mantenimiento, es decir que esta calificación de criticidad podrá guiar hacia la atención inmediata de uno u otro elemento.

### ***4.6.1 Valoración de tiempo de fallo***

Se tomará en cuenta el número de horas que han pasado detenidos y se dará la siguiente calificación:

- **Alto:** Se le dio una calificación de 3 si el número de horas de fallo superaba el 2% del total de horas de operación esperada, que para el caso de los generadores waukesha se esperaba un total de operación de 4512 horas
- **Medio:** Se le dio una calificación de 2 si el número de horas estaba entre el 1% y 2% del total de operación esperado
- **Bajo:** Se le dio una calificación de 1 si el número de horas de fallo estaba entre el 0% y el 1% del total de horas de operación esperadas

#### 4.6.2 Valoración de costo de fallo

- **Fallo Alto:** Se le dio una calificación de 3 cuando el costo de mantenimiento superó los 10000 dólares
- **Fallos medio:** Se le dio una calificación de 2 cuando el fallo esta entre los 1000 y los 10000 dólares
- **Fallo bajo:** Se le dio una calificación de 1 si el costo llegaba solo a los 1000 dólares

Con lo antes mencionado se establece la siguiente matriz de criticidad que se muestra en la tabla 3-4.

Tabla 3-4. Matriz de calificación de criticidad

| <b>HORAS-COSTO</b> | <b>Bajo(1)</b> | <b>Medio(2)</b> | <b>Alto(3)</b> |
|--------------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>Bajo(1)</b>     | 1              | 2               | 3              |
| <b>Medio(2)</b>    | 2              | 4               | 6              |
| <b>Alto(3)</b>     | 3              | 6               | 9              |

Se obtuvo los siguientes criterios de valoración de criticidad:

- Desde 1 hasta 2 se le considera tolerable
- Desde 3 hasta 6 se le considera importante
- Y los valores que sean 9 se les considera críticos

#### 4.6.3 Calificación de acuerdo a las horas de fallo de los sistemas

Se da una calificación a los sistemas de acuerdo al mayor número de horas que ha estado en fallo, como se ve en la tabla 3-4.

$$\% = \frac{HFS(1-n)}{MHFS(1-n)}; \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Ejem; } \% = \frac{102}{115} * 100 = 88.7 \%$$

Donde:

%= Porcentaje de horas de fallo de cada sistema

HFS=Horas de fallo de cada sistema

MHFS= Máximo valor de horas de fallo de los sistemas

Si el valor obtenido es mayor al 75% la calificación es 3, si el valor esta entre en 35% y 75% la calificación es 2, y si el valor obtenido es entre el 0 y el 25% entonces se le da la calificación de 1.

Tabla 4-4. Calificación de acuerdo a las horas de fallo

| SISTEMA         | HORAS FALLO | PORCENTAJE DE FALLO | CALIFICACIÓN |
|-----------------|-------------|---------------------|--------------|
| Eléctrico       | 102         | 88.7 %              | 3            |
| Instrumentación | 82          | 71.3 %              | 2            |
| Mecánico        | 115         | 100 %               | 3            |

Una vez que se tabuló, se poder ver que el sistema mecánico y eléctrico son los de mayor calificación en cuanto a hora de fallo se refiere, dando un valor de tres, tal como se lo ve en la tabla 4-4.

#### 4.6.4 Calificación de acuerdo a los costos de fallos de los sistemas

En esta parte se da una calificación de acuerdo a los costos en los que ha incurrido que los elementos entren en fallo y cuantos estos tienen en costo económico para la empresa, esto se lo ve en la tabla 5-4.

$$\% = \frac{CFS(1-n)}{CMFS(1-n)} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Ejem, } \% = \frac{115450}{115450} * 100 = 100 \%$$

Donde:

%= Porcentaje del costo de mantenimiento a cada sistema



CFS=Costo de fallo de cada sistema

CMFS= Costo máximo de fallo de los sistemas

Si el valor obtenido es mayor al 75% la calificación es 3, si el valor esta entre en 35% y 75% la calificación es 2, y si el valor obtenido es entre el 0 y el 25% entonces se le da la calificación de 1.

Tabla 5-4. Calificación de acuerdo al costo

| CALIFICACIÓN DE COSTO DE FALLOS |                     |                     |              |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| SISTEMA                         | COSTO MANTENIMIENTO | COSTO EN PORCENTAJE | CALIFICACIÓN |
| Eléctrico                       | 115450              | 100 %               | 3            |
| Instrumentación                 | 5950                | 5.2 %               | 2            |
| Mecánico                        | 84240               | 73 %                | 3            |

#### 4.6.5 Valoración de criticidad en los sistemas de los generadores

Una vez que se dio una calificación tanto por las horas que pasaron en fallo los elementos y por los costos que tuvieron estos para su mantenimiento correctivo, se procede a dar una valoración cruzada, que se lo ve en la tabla 6-4.

$$VN = CHF * CCM \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

CHF= Calificación de horas de fallo

CCM= Calificación de costo de mantenimiento

VN= Valoración numérica

Tabla 6-4. Valoración de criticidad de los fallos en los sistemas

| SISTEMA         | CALIFICACIÓN HORAS DE FALLO | CALIFICACIÓN COSTO DE FALLO | VALORACIÓN NUMÉRICA |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| Eléctrico       | 3                           | 3                           | 9                   |
| Instrumentación | 2                           | 2                           | 4                   |
| Mecánico        | 3                           | 2                           | 6                   |

Según la tabla 6-4, el sistema más crítico de acuerdo a la valoración hecha, es el sistema eléctrico y el sistema mecánico.

## 4.7 Medidas preventivas

Para establecer el programa de mantenimiento se tomará medidas en cualquiera de los siguientes aspectos:

- Tiempos de ocurrencia de los fallos
- Inspecciones
- Tareas de mantenimiento preventivo
- Calidad de los materiales
- Rediseño de elementos

### 4.7.1 Determinar tiempos medios entre fallos

Se realizó el cálculo del tiempo medio para que ocurran los fallos basados en los datos que se obtuvo del análisis de fallos ocurridos entre los meses de junio y diciembre de 2015, para esto se utilizó la fórmula siguiente 4:

$$TMEF = \frac{TEDO-TF}{NDF} \text{ Ecuación 4}$$

$$\text{Ejem; } TMEF = \frac{4512-70}{12} = 370.2 \text{ horas}$$

Donde:

TMEF= Tiempo medio entre fallos

TEDO= Tiempo en horas esperado de operación =4512 horas

TF= Número de horas de fallo del elemento

NDF=Numero de fallos ocurridos

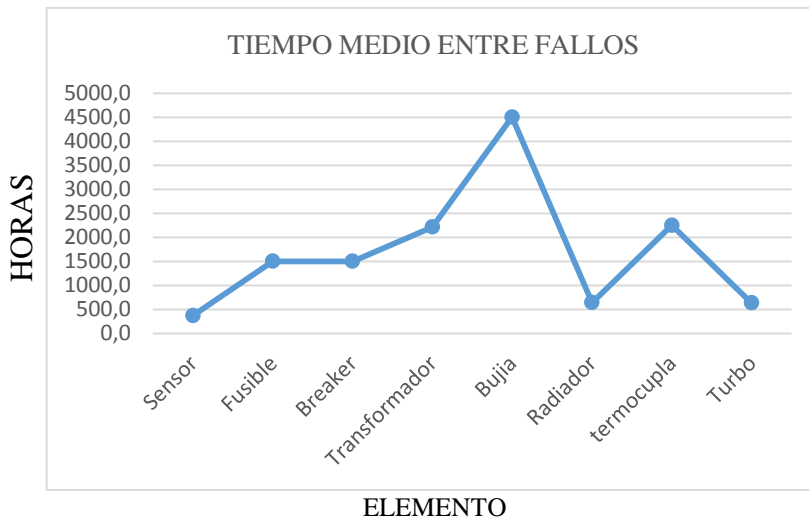
En la tabla 7-4 se muestra el valor calculado de estos tiempos medios entre fallos, que para el caso de los generadores waukesha se tomó como tiempo esperado la operación 4512 horas, que es el valor existente entre junio y diciembre de 2015.

Tabla 7-4. Tiempo medio entre fallos

| ELEMENTO      | NÚMERO DE FALLOS | HORAS DE FALLOS | TMEF (horas) |
|---------------|------------------|-----------------|--------------|
| Sensor        | 12               | 70              | 370,2        |
| Fusible       | 3                | 9               | 1501,0       |
| Breaker       | 3                | 6               | 1502,0       |
| Transformador | 2                | 82              | 2215,0       |
| Bujía         | 1                | 5               | 4507,0       |
| Radiador      | 7                | 42              | 638,6        |
| Termocupla    | 2                | 12              | 2250,0       |
| Turbo         | 7                | 73              | 634,1        |

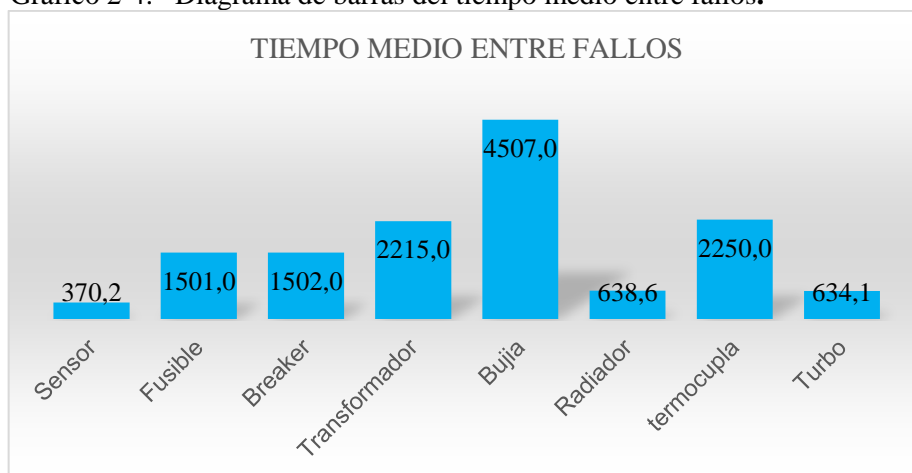
Según se ve en la tabla 7-4 el valor más alto del tiempo medio entre un fallo (TMEF) es el que sucede en la bujía siendo de 4057 horas entre cada fallo.

Gráfico 1-4. Tiempo medio entre fallos



En el gráfico 1-4 se aprecia cuan diferenciados están los tiempos medios entre fallo de cada uno de los elementos que han sido objeto de este estudio.

Gráfico 2-4. Diagrama de barras del tiempo medio entre fallos.



Según el gráfico 2-4 se puede observar que el elemento que más fallos ha tenido es el sensor ya que se da un evento cada 370 horas.

#### ***4.7.2 Establecer plan de inspecciones de los sistemas y elementos en base a los TMEF***

Una vez que se obtuvo los tiempos medios entre fallos, se propuso la utilización de estos en la base de datos del software de mantenimiento de la empresa que es el JDE, utilizamos los siguientes pasos:

- Se ingresó los datos de los tiempos medios entre fallos al software
- Se programó al software para que actualice y registre alertas de inspección al 35% y 70% de los tiempos medios entre fallos
- Esas alertas se las muestra con un 5% de holgura de los tiempos programados, con la intención de tener el tiempo suficiente para la planificación de las tareas

En la tabla 8-4 la propuesta de las inspecciones que se ha propuesto en base a los tiempos medios entre fallos y su cálculo se realiza según la siguiente ecuación 5.

- Orden de inspección al 30%

$$OI30 = TMEFe * 0.3 \quad \text{Ecuación 5}$$

Ejem;  $OI30 = 370.2 * 0.3 = \text{cada } 111 \text{ horas}$

Donde:

OI30= Orden de inspección al 30%

TMEFe= Tiempo medio entre fallos de cada elemento

- Orden de inspección al 35%

$$OI35 = TMEFe * 0.35 \text{ Ecuación 6}$$

Ejem;  $OI35 = 370.2 * 0.35 =$  cada 129 horas

Donde:

OI35= Inspección al 35%

- Orden de inspección al 65%

$$OI65 = TMEFe * 0.65 \text{ Ecuación 7}$$

Ejem;  $OI65 = 370.2 * 0.65 =$  cada 240.63 horas

Donde:

OI65= Orden de inspección al 65%

- Orden de inspección al 70%

$$OI70 = TMEFe * 0.70 \text{ Ecuación 8}$$

Ejem;  $OI70 = 370.2 * 0.70 =$  cada 259.14 horas

Donde:

OI70= Inspección al 70%

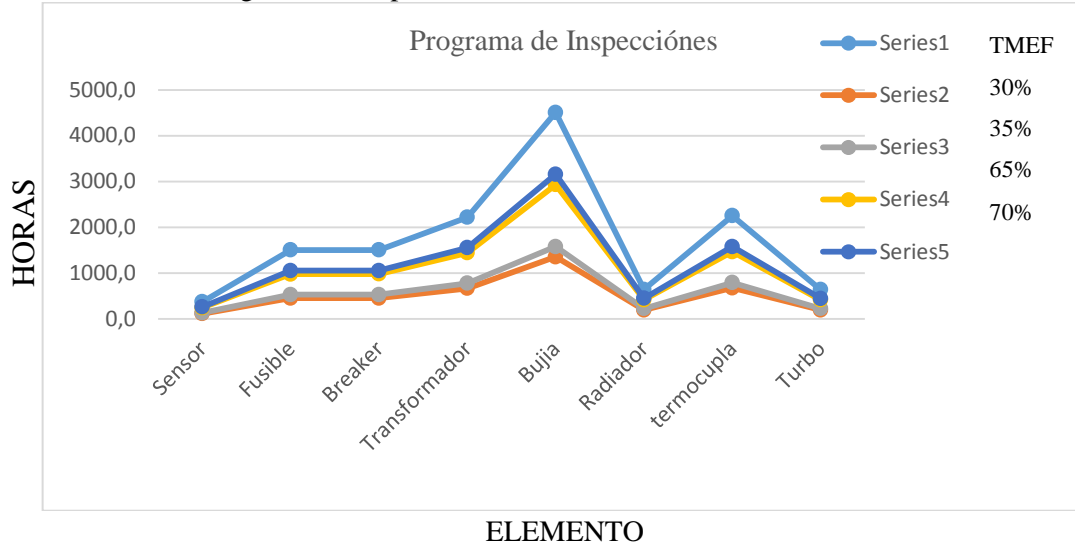
En la tabla 8-4 se ve que el elemento al que mayor Inspecciones se le ha realizar es a lo que tiene que ver con el sensor.

Tabla 8-4. Frecuencia de inspección basada en el TMEF

| ORDEN DE INSPECCIONES |        |             |             |             |             |
|-----------------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ELEMENTO              | TMEF   | AL 30% TMEF | AL 35% TMEF | AL 65% TMEF | AL 70% TMEF |
|                       | horas  | horas       | horas       | horas       | horas       |
| Sensor                | 370,2  | 111,1       | 129,6       | 240,6       | 259,1       |
| Fusible               | 1501,0 | 450,3       | 525,4       | 975,7       | 1050,7      |
| Breaker               | 1502,0 | 450,6       | 525,7       | 976,3       | 1051,4      |
| Transformador         | 2215,0 | 664,5       | 775,3       | 1439,8      | 1550,5      |
| Bujía                 | 4507,0 | 1352,1      | 1577,5      | 2929,6      | 3154,9      |
| Radiador              | 638,6  | 191,6       | 223,5       | 415,1       | 447,0       |
| Termocupla            | 2250,0 | 675,0       | 787,5       | 1462,5      | 1575,0      |
| Turbocompresor        | 634,1  | 190,2       | 222,0       | 412,2       | 443,9       |

El punto más alto de inspecciones será con el elemento sensor y el punto más bajo en cuanto a inspecciones se refiere es la bujía.

Gráfico 3-4. Programa de inspecciones



#### 4.7.3 Tareas de mantenimiento preventivo

Una vez que se ingresó los datos de los tiempos medios entre fallos, se realiza las tareas previas a la ocurrencia de los fallos, de la siguiente manera:

- Se programó al software para que lance alertas de tareas de mantenimiento
- Estas alertas se lanzan con un 5% de anticipación previo al tiempo medio entre fallos, para que se puedan elaborar las órdenes de trabajo respectivas
- Existe un límite máximo para lanzar la alerta de las tareas de mantenimiento que es el 99%, en donde el software muestra una alerta en rojo
- En el transcurso del 2016 se tendrá las alertas de mantenimiento y se está aplicando entrelazado con la máquina para que se pueda lanzar automáticamente las tareas de mantenimiento preventivo al 95%

$$OMP95 = TMEFe * 0.95 \quad \text{Ecuación 9}$$

Ejem:  $OMP95 = 370.2 * 0.95 = \text{cada } 351.69 \text{ horas}$

Donde:

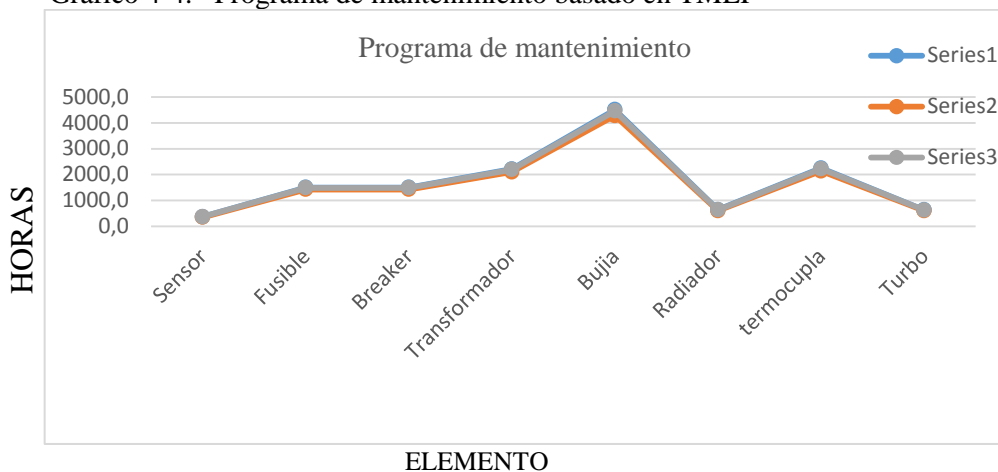
PMP95= Orden de mantenimiento preventivo al 95% del TMEF

TMEFe= Tiempo medio entre fallos de cada elemento

Tabla 9-4. Frecuencia de mantenimiento basado en los tiempos medios entre fallos

| MANTENIMIENTO |            |                         |                          |
|---------------|------------|-------------------------|--------------------------|
| ELEMENTO      | TMEF horas | ORDEN AL 95% TMEF horas | INMEDIATO 99% TMEF horas |
| Sensor        | 370,2      | 351,7                   | 366,5                    |
| Fusible       | 1501,0     | 1426,0                  | 1486,0                   |
| Breaker       | 1502,0     | 1426,9                  | 1487,0                   |
| Transformador | 2215,0     | 2104,3                  | 2192,9                   |
| Bujía         | 4507,0     | 4281,7                  | 4461,9                   |
| Radiador      | 638,6      | 606,6                   | 632,2                    |
| Termocupla    | 2250,0     | 2137,5                  | 2227,5                   |
| Turbo         | 634,1      | 602,4                   | 627,8                    |

Gráfico 4-4. Programa de mantenimiento basado en TMEF



#### 4.7.4 Mejora en la calidad de los materiales

En algunos de los elementos que se analizó en este trabajo, se pudo detectar que uno de los modos de fallo (causa) era el deterioro temprano de los materiales, para esto se propuso lo siguiente:

**Termocuplas.** - Este elemento pertenece al sistema de instrumentación, se encontró con deterioro en su componente, por lo que se debe hacer la adquisición de termocuplas de mejor calidad con mayor número de horas de vida útil.

**Oring.** - El oring pertenece al sistema mecánico, específicamente al turbocompresor, el cual ha tenido paradas debido a su deterioro, por lo que se hará la adquisición de elementos más resistentes a las temperaturas de operaciones del turbocompresor.

**Sensor.** - Perteneciente al sistema de instrumentación, se hará la adquisición de los sensores Emerson debido a que los originales no han funcionado acorde a los rangos de operación que los generadores necesitan para correcto funcionamiento.

#### ***4.7.5 Rediseño de elementos***

Existen elementos del sistema de generación que no ha dado el resultado previsto como las protecciones que en algunos casos fueron falsas alarmas, por lo que se propuso el rediseño de aquellos elementos como: del sensor de flama y de la puesta a tierra.

**Rediseño en sensor de flama o su alrededor.** - Para este elemento se propuso que el área donde trabajan los generadores sean aislados herméticamente, es decir que se coloquen paredes debido a que el sensor trabaja al contacto con flama, pero en algunos casos el sensor actuó cuando había ráfagas de viento en dirección a la posición del generador en donde el sensor daba falsas alarmas de incendios y tan solo eran las flamas de la tea.

Figura 9-4. Aislamiento del sensor de flama.



**Rediseño en puesta a tierra.** - Se detectó que algunos de los fallos ocurridos en los transformadores ocurrió porque la puesta a tierra de esos equipos no era el adecuado, de



manera que se realizó un nuevo la puesta a tierra el cual ha dado como resultado mayor durabilidad en los transformadores.

Figura 10-4. Puesta a tierra de generadores



#### 4.8 Diagnóstico de fallos 2016

Luego del análisis de los fallos ocurridos en 2015, se tiene los nuevos datos de los fallos que han ocurrido en los elementos de este estudio en el 2016.

##### 4.8.1 Acciones tomadas en breaker

En el breaker se ha realizado las inspecciones programadas de acuerdo a las fechas que se pedía en el apartado de la tabla 9-4, y se obtuvo las siguientes actividades que se detallan en la tabla 10-4.

Tabla 10-4: Detalle de inspecciones - mantenimiento preventivo y correctivo del breaker

| FECHA               | HORÓMETRO | ELEMENTO | INSPECCIÓN / MANTENIMIENTO | TIEMPO (horas) |
|---------------------|-----------|----------|----------------------------|----------------|
| 1 de Marzo del 2016 | 72        | Breaker  | Inspección                 | 1              |
| 3 de Abril del 2016 | 1536      | Breaker  | Mantenimiento              | 4              |
| 8 de Mayo del 2016  | 3096      | Breaker  | Inspección                 | 1              |

De acuerdo a la tabla 10.4, en el breaker del sistema se han realizado hasta el mes de junio 2 inspecciones y una tarea de mantenimiento, sumando un total de 6 horas.

#### 4.8.2 Acciones tomadas en bujía

En la bujía se ha realizado las inspecciones programadas de acuerdo a las fechas que se pedía en el apartado de la tabla 9-4, y se obtuvo las siguientes actividades que se detallan en la tabla 11-4.

Tabla 11-4. Detalle de inspecciones -mantenimiento preventivos y correctivos de la bujía

| FECHA                  | HORÓMETRO | ELEMENTO | INSPECCIÓN/<br>MANTENIMIENTO | TIEMPO<br>(horas) |
|------------------------|-----------|----------|------------------------------|-------------------|
| 14 de Enero del 2016   | 336       | Bujía    | Inspección                   | 1                 |
| 21 de Enero del 2016   | 504       | Bujía    | Correctivo                   | 1                 |
| 17 de Febrero del 2016 | 1152      | Bujía    | Correctivo                   | 2                 |
| 20 de Marzo del 2016   | 1920      | Bujía    | Inspección                   | 1                 |
| 29 de Mayo del 2016    | 3600      | Bujía    | Mantenimiento                | 3                 |

De acuerdo a la tabla 11-4, en la bujía del sistema se han realizado hasta el mes de junio 2 inspecciones, una tarea de mantenimiento preventivo y dos tareas de mantenimiento correctivo, sumando un total de 8 horas.

#### 4.8.3 Acciones tomadas en fusible

En el fusible se ha realizado las inspecciones que se pedía en el apartado de la tabla 9-4, y se obtuvo las siguientes actividades que se detallan en la tabla 12-4.

Tabla 12-4. Detalle de inspecciones - mantenimiento preventivo y correctivo del fusible

| FECHA               | HORÓMETRO | ELEMENTO | INSPECCIÓN/<br>MANTENIMIENTO | TIEMPO<br>(horas) |
|---------------------|-----------|----------|------------------------------|-------------------|
| 2 de Enero del 2016 | 48        | Fusible  | Inspección                   | 1                 |
| 5 de Marzo del 2016 | 1560      | Fusible  | Mantenimiento                | 4                 |
| 9 de Mayo del 2016  | 3120      | Fusible  | Inspección                   | 1                 |

De acuerdo a la tabla 12-4, en el fusible del sistema se han realizado hasta el mes de junio 2 inspecciones y una tarea de mantenimiento, sumando un total de 6 horas.

#### 4.8.4 Acciones tomadas en radiador

En el radiador se ha realizado las inspecciones programadas de acuerdo a las fechas que se pedía en el apartado de la tabla 9-4, y se obtuvo las siguientes actividades que se detallan en la tabla 13-4.

Tabla 13-4. Detalle de inspecciones --mantenimiento preventivos y correctivos del radiador

| FECHA                  | HORÓMETRO | ELEMENTO | INSPECCIÓN / MANTENIMIENTO | TIEMPO (horas) |
|------------------------|-----------|----------|----------------------------|----------------|
| 1 de Enero del 2016    | 24        | Radiador | Inspección                 | 2              |
| 10 de Enero del 2016   | 240       | Radiador | Inspección                 | 2              |
| 20 de Enero del 2016   | 480       | Radiador | Inspección                 | 1              |
| 30 de Enero del 2016   | 720       | Radiador | Mantenimiento              | 5              |
| 9 de Febrero del 2016  | 960       | Radiador | Inspección                 | 2              |
| 19 de Febrero del 2016 | 1200      | Radiador | Inspección                 | 1              |
| 28 de Febrero del 2016 | 1416      | Radiador | Inspección                 | 2              |
| 9 de Marzo del 2016    | 1656      | Radiador | Mantenimiento              | 5              |
| 19 de Marzo del 2016   | 1896      | Radiador | Inspección                 | 2              |
| 27 de Marzo del 2016   | 2088      | Radiador | Inspección                 | 2              |
| 6 de Abril del 2016    | 2328      | Radiador | Inspección                 | 1              |
| 15 de Abril del 2016   | 2544      | Radiador | Mantenimiento              | 6              |
| 25 de Abril del 2016   | 2784      | Radiador | Inspección                 | 2              |
| 4 de Mayo del 2016     | 3000      | Radiador | Inspección                 | 2              |
| 14 de Mayo del 2016    | 3240      | Radiador | Inspección                 | 2              |
| 23 de mayo del 2016    | 3456      | Radiador | Mantenimiento              | 5              |
| 1 de Junio del 2016    | 3672      | Radiador | Inspección                 | 2              |
| 11 de Junio del 2016   | 3912      | Radiador | Inspección                 | 2              |
| 22 de Junio del 2016   | 4176      | Radiador | Inspección                 | 2              |

TOTAL 48

De acuerdo a la tabla 13-4, en el radiador del sistema se han realizado hasta el mes de junio 15 inspecciones y 4 tareas de mantenimiento, sumando un total de 48 horas.

#### 4.8.5 Acciones tomadas en sensor

En el sensor se ha realizado las inspecciones programadas de acuerdo a las fechas que se pedía en el apartado de la tabla 9-4, y se obtuvo las siguientes actividades que se detallan en la tabla 14-4.

Tabla 14-4. Detalle de inspecciones – mantenimientos preventivos y correctivos del sensor

| FECHA                  | HORÓMETRO | ELEMENTO | INSPECCIÓN / MANTENIMIENTO | TIEMPO (horas) |
|------------------------|-----------|----------|----------------------------|----------------|
| 5 de Enero del 2016    | 120       | Sensor   | Inspección                 | 1              |
| 11 de Enero del 2016   | 264       | Sensor   | Inspección                 | 0,5            |
| 16 de Enero del 2016   | 384       | Sensor   | Mantenimiento              | 3              |
| 22 de Enero del 2016   | 528       | Sensor   | Inspección                 | 0,5            |
| 26 de Enero del 2016   | 624       | Sensor   | Correctivo                 | 1              |
| 27 de Enero del 2016   | 648       | Sensor   | Inspección                 | 0,5            |
| 2 de Febrero del 2016  | 792       | Sensor   | Mantenimiento              | 3              |
| 7 de Febrero del 2016  | 912       | Sensor   | Inspección                 | 1              |
| 13 de Febrero del 2016 | 1056      | Sensor   | Inspección                 | 1              |
| 18 de Febrero del 2016 | 1176      | Sensor   | Mantenimiento              | 3              |
| 24 de Febrero del 2016 | 1320      | Sensor   | Inspección                 | 0,5            |
| 29 de Febrero del 2016 | 1440      | Sensor   | Inspección                 | 0,5            |
| 6 de Marzo del 2016    | 1584      | Sensor   | Mantenimiento              | 3              |
| 11 de Marzo del 2016   | 1704      | Sensor   | Inspección                 | 0,5            |
| 16 de Marzo del 2016   | 1824      | Sensor   | Correctivo                 | 2              |
| 17 de Marzo del 2016   | 1848      | Sensor   | Inspección                 | 0,5            |
| 22 de Marzo del 2016   | 1968      | Sensor   | Mantenimiento              | 3              |
| 28 de Marzo del 2016   | 2112      | Sensor   | Inspección                 | 1              |
| 2 de Abril del 2016    | 2232      | Sensor   | Inspección                 | 0,5            |
| 8 de Abril del 2016    | 2376      | Sensor   | Mantenimiento              | 2              |
| 13 de Abril del 2016   | 2496      | Sensor   | Inspección                 | 1              |
| 19 de Abril del 2016   | 2640      | Sensor   | Inspección                 | 0,5            |
| 24 de Abril del 2016   | 2760      | Sensor   | Mantenimiento              | 3              |
| 30 de Abril del 2016   | 2904      | Sensor   | Inspección                 | 0,5            |
| 5 de Mayo del 2016     | 3024      | Sensor   | Inspección                 | 0,5            |
| 11 de Mayo del 2016    | 3168      | Sensor   | Mantenimiento              | 3              |
| 16 de Mayo del 2016    | 3288      | Sensor   | Inspección                 | 1              |
| 22 de Mayo del 2016    | 3432      | Sensor   | Inspección                 | 1              |
| 27 de Mayo del 2016    | 3552      | Sensor   | Mantenimiento              | 4              |
| 12 de Junio del 2016   | 3696      | Sensor   | Inspección                 | 1              |
| 7 de Junio del 2016    | 3816      | Sensor   | Inspección                 | 1              |
| 13 de Junio del 2016   | 3960      | Sensor   | Mantenimiento              | 3              |
| 18 de Junio del 2016   | 4080      | Sensor   | Inspección                 | 1              |
| 24 de Junio del 2016   | 4224      | Sensor   | Inspección                 | 1              |
| 29 de Junio del 2016   | 4344      | Sensor   | Mantenimiento              | 3              |

De acuerdo a la tabla 14-4 en el sensor del sistema se han realizado hasta el mes de junio 22 inspecciones, 11 tareas de mantenimiento preventivo y dos tareas de mantenimiento correctivo, sumando un total de 52,5 horas.

#### 4.8.6 Acciones tomadas en termocupla

En la termocupla se ha realizado las inspecciones programadas de acuerdo a las fechas que se pedía en el apartado de la tabla 9-4 y se obtuvo las siguientes actividades que se detallan en la tabla 15-4.

Tabla 15-4. Detalle de inspecciones – mantenimiento preventivos y correctivos termocupla

| FECHA                  | HORÓMETRO | ELEMENTO   | INSPECCIÓN / MANTENIMIENTO | TIEMPO (horas) |
|------------------------|-----------|------------|----------------------------|----------------|
| 7 de Enero del 2016    | 168       | Termocupla | Inspección                 | 0,5            |
| 11 de Febrero del 2016 | 1008      | Termocupla | Inspección                 | 0,5            |
| 18 de Marzo del 2016   | 1872      | Termocupla | Mantenimiento              | 4              |
| 29 de Marzo del 2016   | 2136      | Termocupla | Correctivo                 | 1              |
| 4 de Mayo del 2016     | 2280      | Termocupla | Inspección                 | 0,5            |
| 17 de Abril del 2016   | 2592      | Termocupla | Correctivo                 | 1              |
| 18 de Abril del 2016   | 2616      | Termocupla | Inspección                 | 0,5            |
| 20 de Abril del 2016   | 2664      | Termocupla | Correctivo                 | 1              |
| 29 de Abril del 2016   | 2880      | Termocupla | Correctivo                 | 1              |
| 13 de Mayo del 2016    | 3216      | Termocupla | Mantenimiento              | 4              |
| 21 de mayo del 2016    | 3408      | Termocupla | Inspección                 | 0,5            |
| 14 de Junio del 2016   | 3984      | Termocupla | Inspección                 | 1              |

De acuerdo a la tabla 15-4, en la termocupla del sistema se han realizado hasta el mes de junio 6 inspecciones, 2 tareas de mantenimiento preventivo y cuatro tareas de mantenimiento correctivo, sumando un total de 15,5 horas.

#### 4.8.7 Acciones tomadas en transformador

En el transformador se ha realizado las inspecciones programadas de acuerdo a las fechas que se pedía en el apartado de la tabla 9-4, y se obtuvo las siguientes actividades que se detallan en la tabla 16-4.

Tabla 16-4. Detalle de inspecciones – mantenimiento preventivo y correctivo del transformador

| FECHA                  | HORÓMETRO | ELEMENTO      | INSPECCIÓN / MANTENIMIENTO | TIEMPO (horas) |
|------------------------|-----------|---------------|----------------------------|----------------|
| 4 de Enero del 2016    | 96        | Transformador | Inspección                 | 2              |
| 1 de Febrero del 2016  | 768       | Transformador | Inspección                 | 2              |
| 27 de Febrero del 2016 | 1392      | Transformador | Mantenimiento              | 8              |
| 5 de Abril del 2016    | 2304      | Transformador | Inspección                 | 3              |
| 6 de Mayo del 2016     | 3048      | Transformador | Inspección                 | 2              |
| 10 de Junio del 2016   | 3888      | Transformador | Mantenimiento              | 7              |

De acuerdo a la tabla 16-4, en el transformador del sistema se han realizado hasta el mes de junio 4 inspecciones y 2 tareas de mantenimiento, sumando un total de 24 horas.

#### 4.8.8 Acciones tomadas en turbocompresor

En el turbocompresor las inspecciones programadas de acuerdo al apartado de la tabla 9.4, y se obtuvo las siguientes actividades que se detallan en la tabla 17.4.

Tabla 17-4. Detalle de inspecciones – mantenimiento preventivo y correctivo del turbocompresor

| FECHA                  | HORÓMETRO | ELEMENTO       | INSPECCIÓN / MANTENIMIENTO | TIEMPO (horas) |
|------------------------|-----------|----------------|----------------------------|----------------|
| 9 de Enero del 2016    | 216       | Turbocompresor | Inspección                 | 2              |
| 19 de Enero del 2016   | 456       | Turbocompresor | Inspección                 | 2              |
| 28 de Enero del 2016   | 672       | Turbocompresor | Mantenimiento              | 7              |
| 6 de Febrero del 2016  | 888       | Turbocompresor | Inspección                 | 2              |
| 16 de Febrero del 2016 | 1128      | Turbocompresor | Inspección                 | 1              |
| 23 de Febrero del 2016 | 1296      | Turbocompresor | Mantenimiento              | 6              |
| 3 de Marzo del 2016    | 1512      | Turbocompresor | Inspección                 | 1              |
| 12 de Marzo del 2016   | 1728      | Turbocompresor | Inspección                 | 2              |
| 21 de Marzo del 2016   | 1944      | Turbocompresor | Mantenimiento              | 7              |
| 30 de Marzo del 2016   | 2160      | Turbocompresor | Inspección                 | 1              |
| 9 de Abril del 2016    | 2400      | Turbocompresor | Inspección                 | 2              |
| 16 de Abril del 2016   | 2568      | Turbocompresor | Mantenimiento              | 6              |
| 26 de Abril del 2016   | 2808      | Turbocompresor | Inspección                 | 2              |
| 7 de Mayo del 2016     | 3072      | Turbocompresor | Inspección                 | 2              |
| 12 de Mayo del 2016    | 3192      | Turbocompresor | Mantenimiento              | 6              |
| 24 de Mayo del 2016    | 3480      | Turbocompresor | Inspección                 | 2              |
| 3 de Junio del 2016    | 3720      | Turbocompresor | Inspección                 | 2              |
| 8 de Junio del 2016    | 3840      | Turbocompresor | Mantenimiento              | 5              |
| 17 de Junio del 2016   | 4056      | Turbocompresor | Inspección                 | 1              |
| 26 de Junio del 2016   | 4272      | Turbocompresor | Inspección                 | 1              |

De acuerdo a la tabla 17-4, en el turbocompresor del sistema se han realizado hasta el mes de junio 14 inspecciones y 6 tareas de mantenimiento, sumando un total de 57 horas.

#### 4.9 Análisis de fallos ocurridos después de la aplicación del MCC

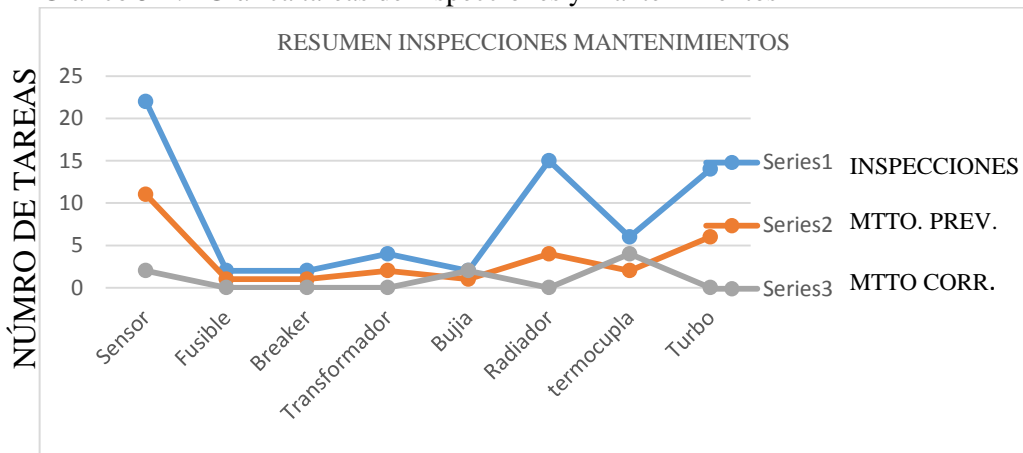
La aplicación del MCC en la empresa PetroOriental, específicamente en la estación de tapir A, se ha tenido las siguientes tareas de inspección, mantenimiento preventivo y correctivo desde enero hasta junio de 2016 que se lo ve en la tabla 18-4.

Tabla 18-4. Inspecciones y Mantenimiento preventivos y correctivos con MCC

| ELEMENTO       | INSPECCIONES | MANTENIMIENTO PREVENTIVO | MANTENIMIENTO CORRECTIVO |
|----------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| Sensor         | 22           | 11                       | 2                        |
| Fusible        | 2            | 1                        | 0                        |
| Breaker        | 2            | 1                        | 0                        |
| Transformador  | 4            | 2                        | 0                        |
| Bujía          | 2            | 1                        | 2                        |
| Radiador       | 15           | 4                        | 0                        |
| Termocupla     | 6            | 2                        | 4                        |
| Turbocompresor | 14           | 6                        | 0                        |
| <b>Total</b>   | <b>67</b>    | <b>28</b>                | <b>8</b>                 |

En la tabla 18-4, nos indica que debemos trabajar más en las inspecciones y mantenimientos preventivos para reducir los mantenimientos correctivos y mejorar la disponibilidad de los grupos electrógenos.

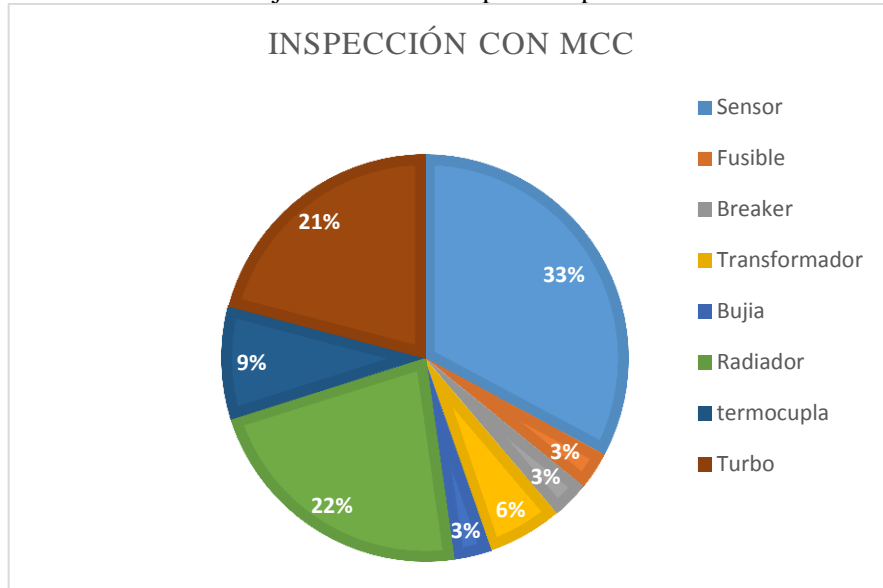
Gráfico 5-4. Gráfica tareas de inspecciones y mantenimientos



Según el gráfico 5-4 las tareas de inspección son las que predominan y las tareas de mantenimiento preventivas y correctivas se reducen, los mantenimientos correctivos de los elementos han bajado considerablemente.

En el gráfico 6-4 se aprecia el porcentaje que representa cada uno de los elementos en cuanto a inspecciones se refiere.

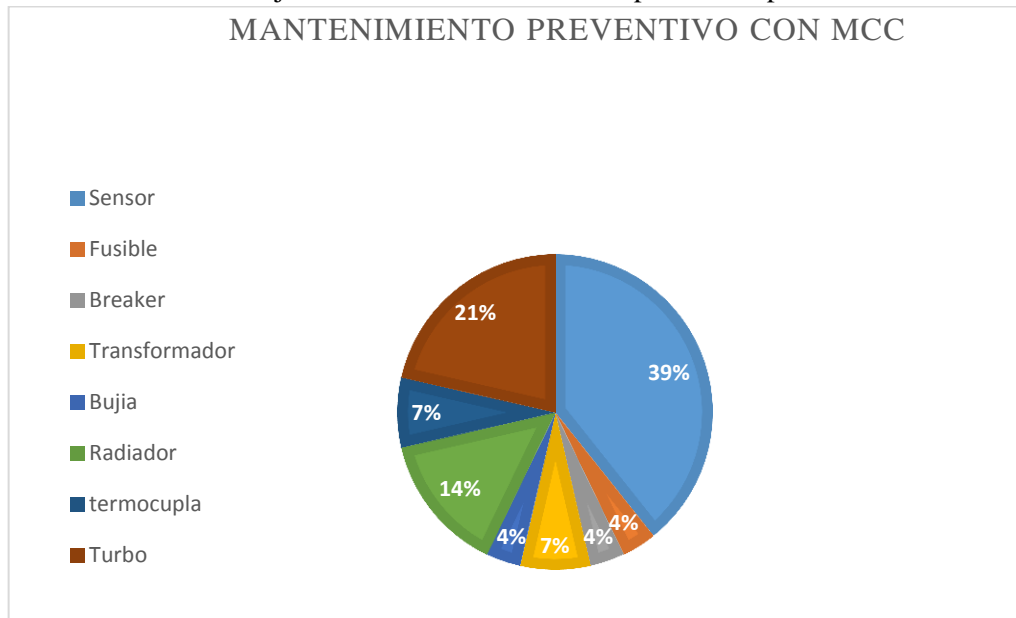
Gráfico 6-4. Porcentaje de tareas de inspección por elemento



El porcentaje más alto de actividades de inspección se ve reflejado en los sensores.

En el gráfico 6-4 se aprecia el porcentaje que representa cada una de los elementos en cuanto a mantenimientos preventivos se refiere.

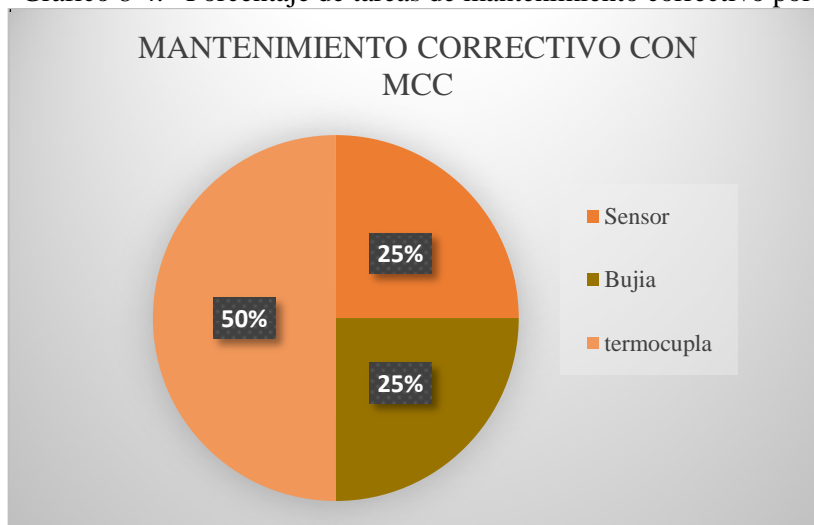
Gráfico 7-4. Porcentaje de tareas de mantenimiento preventivo por elemento



El porcentaje más alto de mantenimientos preventivos según la gráfica 7-4 esta con los sensores.



Gráfico 8-4. Porcentaje de tareas de mantenimiento correctivo por elemento



Según la gráfica 8-4 con la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad se tiene mantenimientos correctivos en tres elementos de los 8 analizados, de los cuales el 50% de esos fallos corresponde a la termocupla de las bancadas, el 25% corresponde a los problemas de explosión por bujías y el 25% restante corresponde a sensores de flama por falsas alarmas.

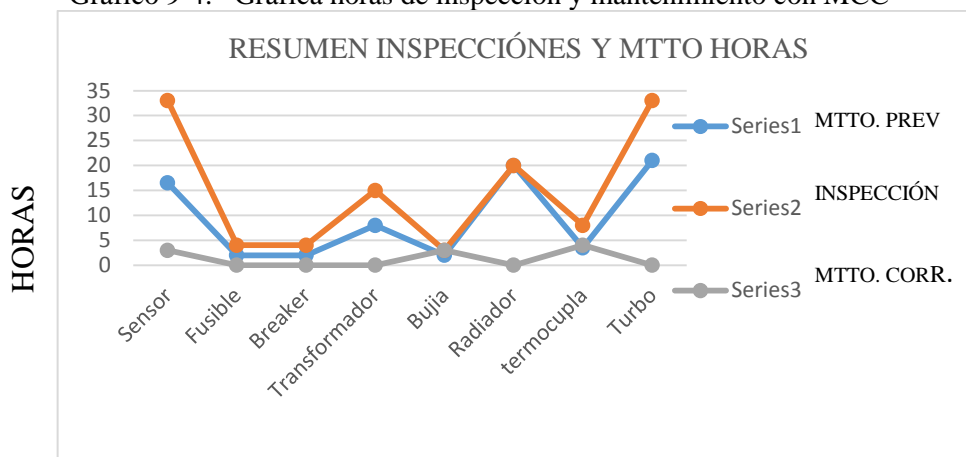
#### 4.10 Horas de inspección y mantenimiento preventivo y correctivo con MCC

En resumen podemos apreciar las horas de inspecciones, mantenimientos preventivos y correctivos realizados en la empresa con la aplicación del MCC, donde el mantenimiento preventivo y las inspecciones se incrementan, en cambio el correctivo se ve reducido, ver en la tabla 19-4

Tabla 19-4. Horas de inspección - mantenimiento preventivo y correctivo con MCC

| ELEMENTO       | TIEMPO INSPECCIÓN (horas) | TIEMPO MTTO PREVENTIVO (horas) | TIEMPO MTTO CORRECTIVO (horas) |
|----------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Sensor         | 16,5                      | 33                             | 3                              |
| Fusible        | 2                         | 4                              | 0                              |
| Breaker        | 2                         | 4                              | 0                              |
| Transformador  | 8                         | 15                             | 0                              |
| Bujía          | 2                         | 3                              | 3                              |
| Radiador       | 20                        | 20                             | 0                              |
| Termocupla     | 3,5                       | 8                              | 4                              |
| Turbocompresor | 21                        | 33                             | 0                              |
| <b>TOTAL</b>   | <b>75</b>                 | <b>120</b>                     | <b>10</b>                      |

Gráfico 9-4. Gráfica horas de inspección y mantenimiento con MCC



#### 4.11 Comparación de fallos ocurridos con y sin la aplicación del MCC

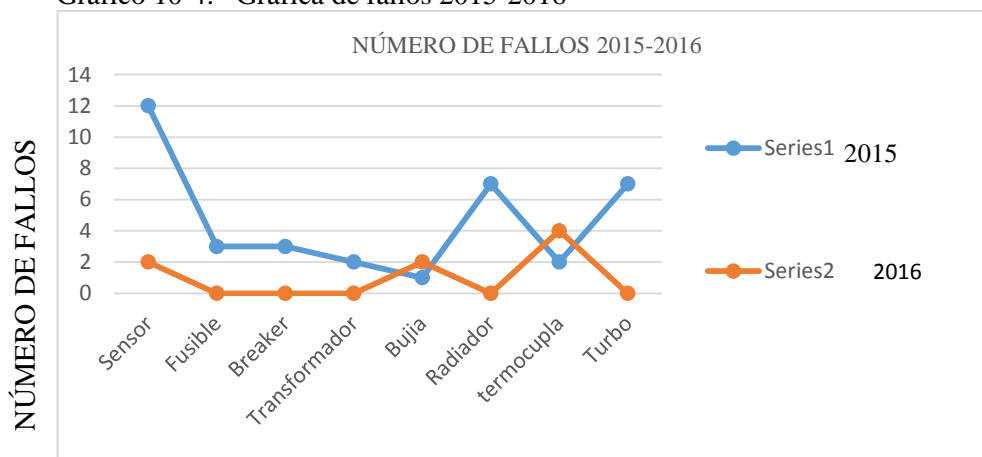
En la tabla 20-4 se muestra el número de fallos que ha tenido fallo cada elemento analizado y los valores actuales de mantenimiento, todo esto analizado entre el segundo semestre del 2015 y el primer semestre del 2016.

Tabla 20-4. Comparación de fallos 2015 / 2016

| ELEMENTO      | NÚMERO DE FALLOS 2015 | NÚMERO DE FALLOS 2016 |
|---------------|-----------------------|-----------------------|
| Sensor        | 12                    | 3                     |
| Fusible       | 3                     | 0                     |
| Breaker       | 3                     | 0                     |
| Transformador | 2                     | 0                     |
| Bujía         | 1                     | 3                     |
| Radiador      | 7                     | 0                     |
| Termocupla    | 2                     | 4                     |
| Turbo         | 7                     | 0                     |
| <b>Total</b>  | <b>37</b>             | <b>10</b>             |

En la tabla 20-4 se puede ver que el número de fallos de 2016 cae en relación a la línea de fallos del 2015

Gráfico 10-4. Gráfica de fallos 2015-2016



#### 4.12 Comparación de las horas de fallos ocurridos con y sin la aplicación del MCC

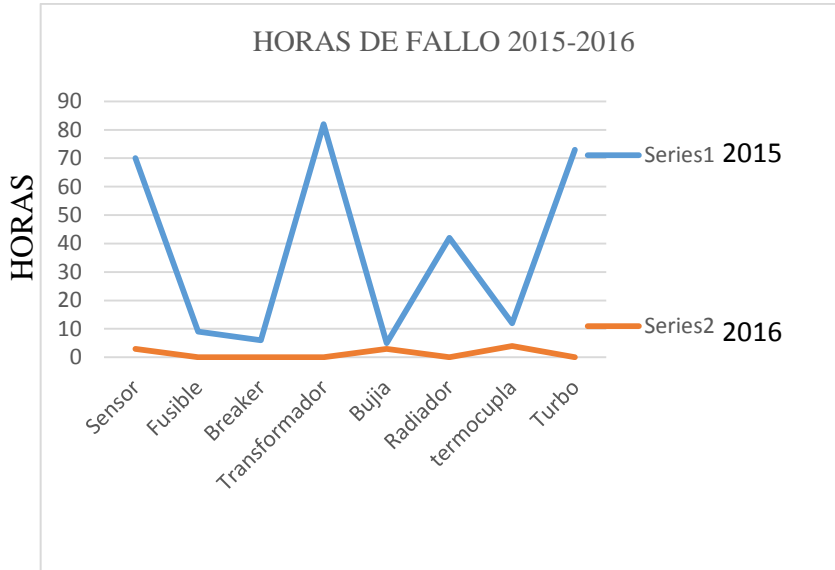
En la tabla 21-4 se muestra el número de horas que ha tenido fallo cada elemento analizado y los valores actuales de mantenimiento, todo esto analizado entre el segundo semestre del 2015 y el primer semestre del 2016.

Tabla 21-4. Horas de fallos 2015-2016

| ELEMENTO      | HORAS DE FALLOS 2015 | HORAS DE FALLO 2016 |
|---------------|----------------------|---------------------|
| Sensor        | 70                   | 3                   |
| Fusible       | 9                    | 0                   |
| Breaker       | 6                    | 0                   |
| Transformador | 82                   | 0                   |
| Bujía         | 5                    | 3                   |
| Radiador      | 42                   | 0                   |
| Termocupla    | 12                   | 4                   |
| Turbo         | 73                   | 0                   |
| <b>Total</b>  | <b>299</b>           | <b>10</b>           |

En la tabla 21-4 se puede ver que el número de horas de fallo del 2015 es el que está por arriba de la línea de las horas de fallo del 2016.

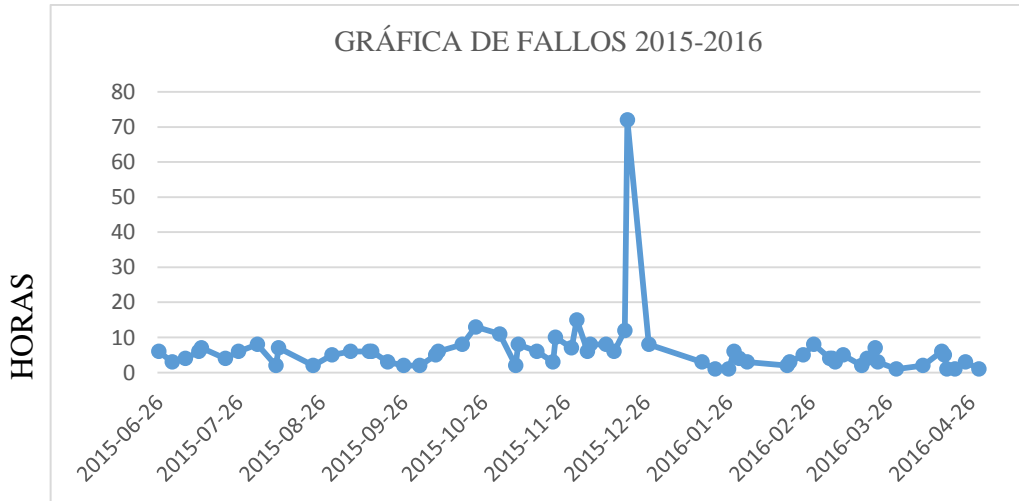
Gráfico 11-4. Gráfica de horas de fallo 2015-2016



#### 4.13 Reducción de las horas de mantenimiento

La gráfica 12-4 expresa en valores de las horas que se tiene por mantenimiento preventivo frente a los correctivos sin la aplicación del MCC en la empresa.

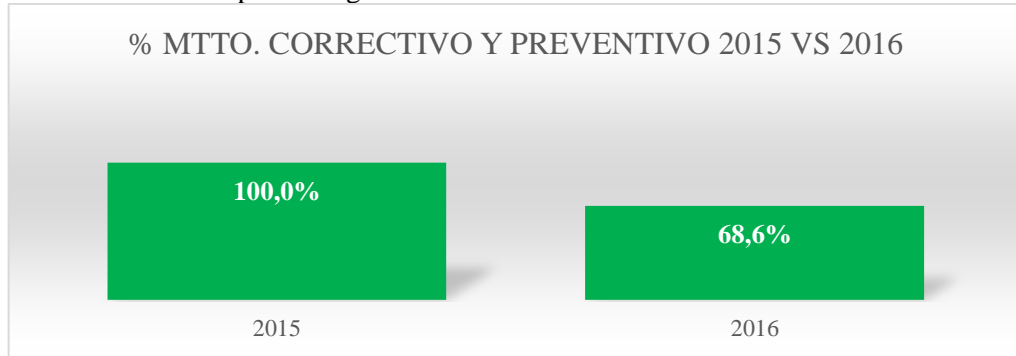
Gráfico 12-4. Gráfica de horas de mantenimiento 2015-2016



En la gráfica 12-4 se observa que las horas de mantenimiento se reducen a en el transcurso del 2016 hasta el mes de junio.

En la gráfica 13-4 se observa la reducción porcentual con la aplicación del MCC en el mantenimiento de los equipos de generación de la empresa PetroOriental.

Gráfico 13-4. Comparación gráfica de mantenimiento 2015-2016

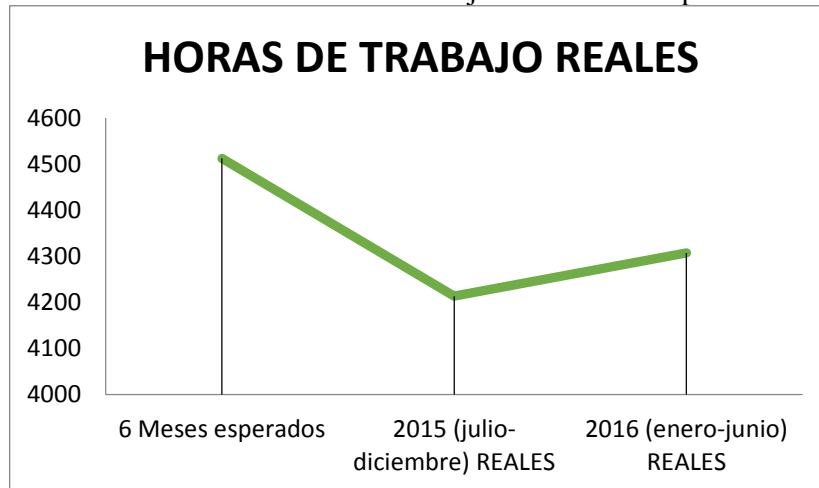


Según se aprecia en la gráfica 13-4, la reducción que se tiene luego de aplicar el análisis de confiabilidad es del 32% del total de horas de mantenimiento existentes.

#### 4.14 Horas de trabajo esperadas versus horas de trabajo reales 2015-2016

En la gráfica 14-4 se muestra el valor de horas esperadas que la empresa estima funcione el equipo sin fallos, y los valores trabajo reales que ha tenido en el 2015 cuando no se aplicaba el MCC y en el 2016 cuando ya se aplica el MCC.

Gráfico 14-4. Gráfica de horas de trabajo reales versus esperadas.



#### 4.15 Disponibilidad de equipos de generación en los períodos de los dos años analizados

En los periodos analizados que van desde junio a diciembre 2015 y enero junio 2016 se tuvo un aumento en las horas de trabajo del equipo una vez comparados los dos semestres anteriormente mencionados, tal como se ve en la gráfica 14-4.

$$DISP2015 = \frac{HR2015}{HE2015} \text{ Ecuación 10}$$

$$\text{Ejem} = DISP2015 = \frac{4213}{4512} = 93.4\%$$

Donde:

DISP2015=Disponibilidad 2015 (junio-diciembre)

HR2015= Horas reales de trabajo de 2015 (junio-diciembre)

HE2015= Horas esperadas de trabajo de 2015 (junio-diciembre)

$$DISP2016 = \frac{HR2016}{HE2016} \text{ Ecuación 11}$$

$$\text{Ejem} = DISP2016 = \frac{4307}{4512} = 95.5\%$$

Donde:

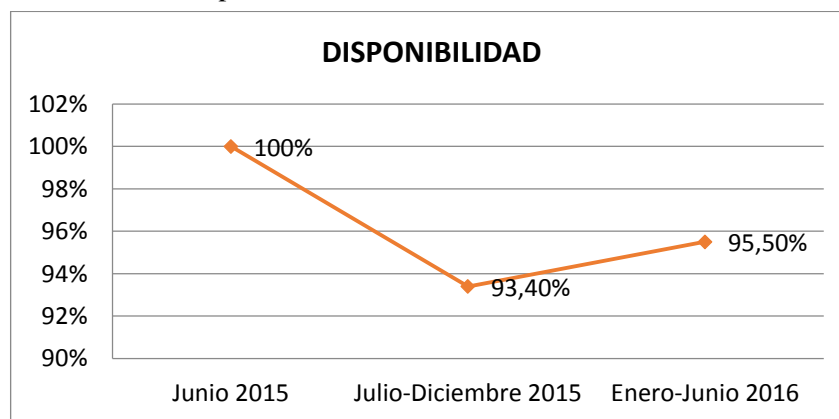
DISP2016=Disponibilidad 2016 (Enero-Junio)

HR2016= Horas reales de trabajo de 2016 (Enero-Junio)

HE2016= Horas esperadas de trabajo de 2016 (Enero-Junio)

En la gráfica 15-4 se puede ver que en los seis meses el porcentaje esperado de funcionamiento es del 100% y lo que realmente se tuvo en 2015 fue 93% y con la aplicación del MCC este porcentaje se ve en aumento hasta el 95% en 2016.

Gráfico 15-4. Disponibilidad 2015-2016



#### 4.16 Comparación de pérdidas de producción 2015 / 2016

Durante el período analizado se obtuvo a más de las pérdidas económicas por los mantenimientos correctivos también se tuvo pérdidas de producción que repercuten en los ingresos económicos a la empresa que se lo ver en la tabla 22-4.

Tabla 22-4. Pérdidas de producción 2015-2016

| AÑO  | PÉRDIDAS DE PRODUCCIÓN ( BOPD) | PÉRDIDAS DE PRODUCCIÓN ( \$ ) |
|------|--------------------------------|-------------------------------|
| 2015 | 15964,3                        | 654535,7                      |
| 2016 | 9000,0                         | 369000,0                      |

Las pérdidas de producción tuvieron su pico más alto en el mes de diciembre, pero en el periodo de 2016 ya no se ha tenido estos picos altos de pérdidas de producción tal como se lo ve en la tabla 22-4 y la gráfica de los picos más altos de pérdidas de producción en la gráfica 16-4.

Gráfico 16-4. Gráfica de pérdidas de producción.

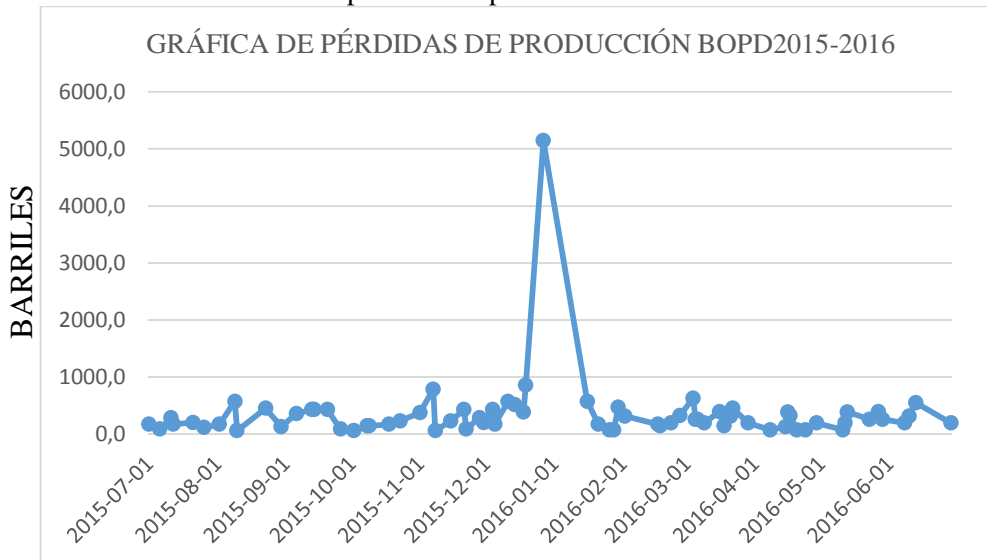
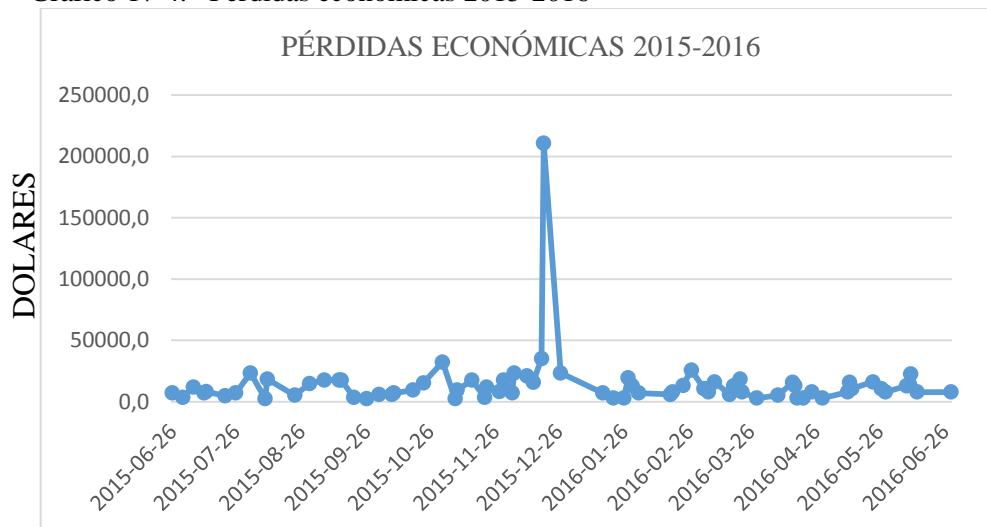


Gráfico 17-4. Pérdidas económicas 2015-2016



#### 4.17 Plan de mantenimiento actual y propuesto

El plan de mantenimiento actual contempla las tareas que actualmente se realizan en los diferentes elementos que conforman el sistema de generación, y la propuesta que se plantea para aquellos elementos que han sido parte del estudio, esto se lo aprecia en la tabla 23-4.

Donde:

I= Inspección                      MP= Mantenimiento Preventivo

Tabla 23-4. Plan de mantenimiento actual y propuesto

| ÍTEM  | TIPO DE SISTEMA | DETALLE TRABAJO                       | I/MP ACTUAL | FRECUENCIA ACTUAL DE MP (HORAS) | FRECUENCIA INSPECCIÓN PROPUESTA (HORAS) | FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTA |
|---|-----------------|---------------------------------------|-------------|---------------------------------|---|--|
| Aceite  | Mecánico        | Tomar muestra y enviar al laboratorio | I           | 600                             |   |  |
| Batería   | Eléctrico       | Comprobar y completar                 | MP          | 600                             |   |  |
| Rodamientos del alternador                      | Eléctrico       | Lubricar                              | MP          | 600                             |   |  |
| Varilla de control                              | Instrumentación | Limpiar y lubricar                    | MP          | 600                             |   |  |
| Transformador                                   | Eléctrico       | Inspección                            | I           | 2400                            | 1550                                    | 2192   |
| Termocupla                                      | Instrumentación | probar                                | I           | 2400                            | 1575                                    | 2227   |
| Carburador.                                     | Mecánico        | ajustar                               | MP          | 2400                            |   |  |
| Presión del cárter                              | Mecánico        | chequear                              | I           | 2400                            |   |  |
| Regulador de la pre cámara                      | Mecánico        | ajustar                               | MP          | 2400                            |   |  |
| Sensor  | Instrumentación | Probar/calibrar                       | I           | 2400                            | 259                                     | 366  |
| Holgura de las válvulas                         | Mecánico        | ajustar                               | MP          | 2400                            |   |  |
| Gasket de la tapa de válvulas                   | Mecánico        | cambiar                               | MP          | 2400                            |   |  |
| Bujía   | Eléctrico       | cambiar                               | MP          | 8000                            | 3154                                    | 4461   |
| Conector de la compuerta de venteo (wastergate) | Mecánico        | inspección/limpieza                   | MP          | 2400                            |   |  |
| Compresión de cilindro                          | Mecánico        | chequear                              | I           | 4000                            |   |  |
| Bomba de agua                                   | Mecánico        | inspección                            | I           | 4000                            |   |  |
| Válvulas aire/gas del carburador                | Mecánico        | limpieza                              | MP          | 4000                            |   |  |
| Elemento de pre limpieza (precleaner)           | Mecánico        | Cambio                                | MP          | 4000                            |   |  |
| Filtros coalescentes                            | Mecánico        | Cambio                                | MP          | 4000                            |   |  |
| Turbo cargador                                  | Mecánico        | Inspección                            | I           | 8000                            | 443                                     | 627  |
| Cojinetes principal y de biela                  | Mecánico        | Inspección                            | I           | 8000                            |   |  |



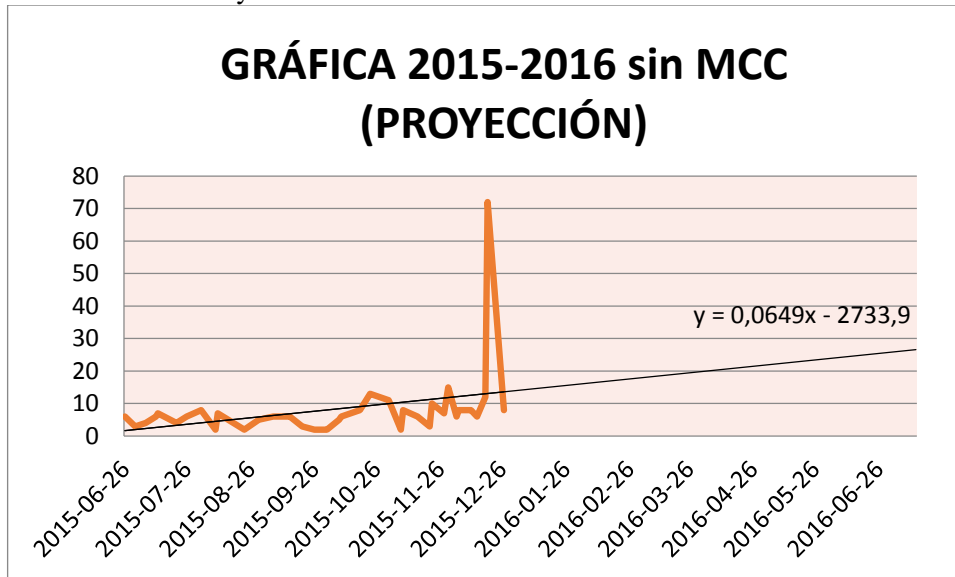
| ÍTEM   | TIPO DE SISTEMA | DETALLE TRABAJO              | I/MP ACTUAL | FRECUENCIA ACTUAL DE MP (HORAS) | FRECUENCIA INSPECCIÓN PROPUESTA (HORAS) | FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTA |
|--|-----------------|------------------------------|-------------|---------------------------------|---|--|
| Sistema de enfriamiento (chaqueta y auxiliar)          | Mecánico        | Limpiar / enjuagar           | MP          | 8000                            |   |  |
| Montaje del motor y alineamiento                       | Mecánico        | Verificar                    | I           | 8000                            |   |  |
| Contrapresión de escape                                | Mecánico        | Verificar                    | I           | 8000                            |   |  |
| Filtro de flujo de combustible de la válvula de alivio | Mecánico        | Inspección                   | I           | 8000                            |   |  |
| Chaqueta de mangueras de agua                          | Mecánico        | reemplazar                   | MP          | 8000                            |   |  |
| mangueras de aceite                                    | Mecánico        | reemplace                    | MP          | 8000                            |   |  |
| Colector de aceite                                     | Mecánico        | limpieza                     | MP          | 8000                            |   |  |
| Tornillos prisioneros amortiguadores de vibración      | Mecánico        | reapretar                    | MP          | 8000                            |   |  |
| Análisis del agua de refrigeración                     | Mecánico        | chequear                     | I           | 1200                            | 447                                     | 632  |
| Radiador   | Mecánico        | limpiar/Inspección           | MP          | 8000                            |   |  |
| Junta (gasket) de carburador                           | Mecánico        | reemplazar                   | MP          | 8000                            |   |  |
| Bandas (motor)   | Mecánico        | reemplace                    | MP          | 8000                            |   |  |
| Diafragma del carburador                               | Mecánico        | reemplace                    | MP          | 8000                            |   |  |
| válvula de alivio de presión del cárter                | Mecánico        | inspección                   | I           | 8000                            |   |  |
| Bobinas de encendido                                   | Eléctrico       | inspección                   | I           | 8000                            |   |  |
| Magneto de encendido                                   | Eléctrico       | reconstruir                  | MP          | 8000                            |   |  |
| Válvula de derivación (Wastegate)                      | Mecánico        | reconstruir                  | MP          | 8000                            |   |  |
| Breaker  | Eléctrico       | Revisar posición de conexión | N/A         | N/A                             | 1051                                    | 1487   |
| Fusible  | Eléctrico       | Revisar estado               | N/A         | N/A                             | 1050                                    | 1486   |

#### 4.18 Proyección de horas de fallos en 2016 sin aplicación de MCC

Se presenta a continuación las horas de fallo que se hubiese tenido si no se aplicaba la gestión de mantenimiento a través de MCC. Esta proyección es calculada en base a la

ayuda del software Excel, cuya fórmula de cálculo también se la muestra en la gráfica 18-4.

Gráfico 18-4. Proyección de horas de fallo 2015-2016



La línea continua inclinada representa la tendencia que hubieran tenido las horas de fallo si no se aplicaba la gestión de MCC en el periodo 2016 (enero - junio).

## CONCLUSIONES

Mediante la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a los grupos electrógenos de la estación tapir A del bloque 17 se incrementó la disponibilidad de los generadores del 93.3% al 95.5%, si comparamos los seis meses analizados en el 2015 donde realizaban únicamente mantenimiento correctivos y síes meses del 2016 donde se empieza aplicar el MCC.

De acuerdo al análisis realizado por sistema, las paradas más frecuentes de los grupos electrógenos en su mayoría son por los sistemas mecánicos en un 38% y de instrumentación en un 40%.

Con el incremento de la disponibilidad también se incrementó la producción de crudo de la empresa en 6.964 barriles si relacionamos los datos del segundo semestre del 2015 y el primer semestre del 2016, además del ingreso económico de \$ 278.560.

Los tiempos medios entre fallos determinaron que el elemento sensor es el que mayor número de fallos presentó (12), pero su costo de reparación no es considerable; no es así el transformador que a pesar de fallar dos ocasiones implica un alto costo de reparación más un largo tiempo fuera de operación (72 horas).

La disponibilidad del sistema de generación fue creciendo a partir de la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, esto a su vez reduce los mantenimientos correctivos, reduce las pérdidas de producción e incrementa el ingreso económico para la empresa y el estado.

Con la aplicación del MCC en el primer semestre del 2016, ha incrementado las inspecciones y los mantenimientos preventivos; en cambio el mantenimiento correctivo se ha reducido considerablemente.

## **RECOMENDACIONES**

Cumplir las tareas de inspección a las 129 horas de funcionamiento para los sensores, a las 525 horas para los fusibles, a las 525 horas para los interruptores de corriente (breaker), a las 775 horas para los transformadores, a las 1577 horas para las bujías, a las 223 horas para el radiador, a las 787 horas para las termocuplas de los cilindros, y a las 222 horas para los turbocompresores.

Al concluir la investigación se recomienda realizar las tareas de mantenimiento preventivo a las 366 horas de funcionamiento para los sensores, a las 1486 horas para los fusibles, a las 1487 horas para los interruptores de corriente (breaker), a las 2192 horas para los transformadores, a las 4461 horas para las bujías, a las 632 horas para el radiador, a las 2227 horas para las termocuplas de los cilindros, y a las 627 horas para los turbocompresores.

Realizar inspección de los elementos del grupo electrógeno en los ítems concernientes a la limpieza, integridad, estructura, degradación, deformación, alteración o descomposición de sus partes.

Para el caso de fallos de elementos no considerados en este estudio se debe analizar utilizando la misma metodología con lo que se podrá ver reducido el tiempo de investigación en nuevos tipos fallo, así como también determinar en la ocurrencia de los fallos.

Actualizar en el sistema JDE la lectura de los horómetros de los equipos diariamente para que estos sean analizados y ayude en el mantenimiento regular de los equipos de la empresa.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

**AMP:** Amperios

**AVERÍA:** Daño, rotura o fallo que impide o perjudica el funcionamiento de una

**BFPD:** Barriles de fluido por día

**BOPD:** Barriles de crudo por día (Barrel oil per day).

**BSW:** Sedimento básico y agua

**BWPD:** Barriles de agua por día

**CABEZAL DE PRUEBA:** Todo el equipo permanente entre la porción superior del revestimiento de superficie y la brida adaptadora (adapter flange).

**CATERPILLAR:** Corporación de Estados Unidos, es el fabricante más grande del mundo de maquinaria para la construcción y equipos de minería, motores diésel y turbinas industriales de gas.

**CNPC:** China National Petroleum Corporation.

**DISPONIBILIDAD / AVAILIBILITY:** La disponibilidad es una función que permite calcular el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. La disponibilidad de un elemento no implica necesariamente que esté funcionando, sino que se encuentra en condiciones de funcionar.

**DAÑO:** Efecto de dañar algo maquina

**ECU:** Unidad de control electrónico.

**EMERSON:** Fabricante de elementos de control industrial de procesos.

**ESM:** Modulo de arranque de motor (Engine start module).

**FALLO FUNCIONAL:** estado en el cual el activo físico o sistema no es capaz de ejecutar una función específica

**FALLO PARCIAL:** son las aquellas que degradan sus funciones con: micro paradas, reducción de velocidad y reducción de capacidad

**FALLO TOTAL:** son las aquellas que bloquean las funciones principales

**FISURA:** Apertura larga y con muy poca separación entre sus bordes que se hace en un cuerpo sólido

**FATIGA DE MATERIALES:** la fatiga de materiales se refiere un fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas se produce ante cargas inferiores a las cargas estáticas que producirían la rotura.

**GPD:** Galones por día

**JDE:** JD Edwards, software de mantenimiento.

**KVA:** Es una unidad de consumo de energía, como el kilovatio, aunque el KVA más exactamente mide el uso de electricidad de un dispositivo.

**KW:** Kilowatios

**KW:** Medida de potencia eléctrica, de símbolo *kW*, que es igual a 1 000 vatios.

**LACT:** Unidad de custodia y transferencia de crudo

**MANIFOLD:** Sistema de accesorios de tubos a un sistema de tuberías principal (u otro conductor) que sirve para dividirlo en varias partes, para combinar varios fluidos a uno, o re direccionar un flujo a cualquier otro de varios destinos posibles.

**MCC:** Mantenimiento centrado en confiabilidad.

**MSCFD:** Miles standard cubics feet day (miles de pies cúbicos estándar por día).

**NDF:** Numero de fallos ocurridos.

**PLC:** Control lógico programable.

**RESISTENCIA DE PRECALDEO:** Dispositivo calefactor, encargado de mantener la temperatura adecuada del generador, cuando este se encuentra en un ambiente frío.

**RPM:** Revoluciones por minuto.

**SINOPEC:** China Petrochemical Corporation

**STOCK:** Inventario de bienes existentes.

**SWITCHGEAR:** El término switchgear o aparallaje eléctrico se emplea para referirse a un equipo eléctrico de maniobra, entendiéndose por maniobra las acciones que permiten energizar o des energizar o segregar un circuito o red eléctrica.

**TAPIR A:** Plataforma de producción petrolera del campo PetoOriental.

**TEDO:** Tiempo en horas esperado de operación.

**TF:** Número de horas de fallo del elemento.

**TMEF:** Tiempo medio entre fallos

**TPM:** Mantenimiento productivo total (Total maintenaince production).

**VCC:** Voltios de corriente continua.

**VHP 7100:** Modelo de motor Waukesha utilizado en petroOriental

**WAUKESHA:** Fabricante de motores de gas natural que ofrece energía limpia.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Calloni, J. C. (2007). *Mantenimiento eléctrico y mecánico para pequeñas Y medianas empresas*. Argentina Buenos Aires: FADU - ciudad universitaria.

Campos, B. J. (2013). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)*. Perú: Universidad de ingeniería y tecnología.

Dresser Industries, inc. Waukesha engine division. (1974). *Generadores Waukesha* (Vols. p,2-5). China: Waukesha.

Gómez de León, C. F. (2008). *Tecnología del mantenimiento industrial* (3ra edición ed.). España: Universidad de murcia.

Holloway, M., & Nwaoha, C. (2013). *Dictionary of industrial terms*. New Jersey: Scrivener Publishing.

Inga, O. E. (2008). *Diseño y monitoreo del sistema de monitoreo local y remoto para un grupo electrógeno y unidades de respaldo de energía*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana , sede Quito.

Mendoza, E. K., & Lezama, M. S. (2015). *Análisis de Modos de Fallas*. Cartagena de Indias, Colombia: Universidad Tecnológica de Bolívar.

Organización Nacional Francesa para la Estandarización. (1993). *Norma AFNOR x60-010*. Francia.

Quirós, R. (26 de 2 de 2013). *Mejora continua*. Obtenido de <http://mejoracontinualc.com/los-8-pilares-del-tpm/>



Salazar, B. (20 de 10 de 2011). *Ingeniería Industrial*. Obtenido de <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/mantenimiento/>

Santiago, G. G. (2013). *Plan de mantenimiento basado en RCM*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.

Souris, J. P. (2006). *El mantenimiento, fuente de beneficios* (2da edición ed.). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.

## 1. ANEXOS

### Anexo A COSTO DE CAMBIO TURBO COMPRESOR

| <br>Distributor & Service Provider<br>Waukesha gas engines  |    |             |             |      |             |              |   |   |   |                    |        |   |    |             |              |            |  |
|--|---|-------------|-------------|------|-------------|--------------|---|---|---|--------------------|--------|---|----|-------------|--------------|------------|--|
| 1 de 1   |   |             |             |      |             |              |   |   |   |                    |        |   |    |             |              |            |  |
| <b>COTIZACIÓN RDC-276-AP</b>   |   |             |             |      |             |              |   |   |   |                    |        |   |    |             |              |            |  |
| TO: Andespetroleum<br>ATTN: Carmita Rodriguez<br>DATE: Mayo, 03, 2016  | FROM: Arcolands -Ivan Robalino<br>PHONE: 2261226<br>EMAIL: <a href="mailto:irobalino@arcolands.com">irobalino@arcolands.com</a> |             |             |      |             |              |   |   |   |                    |        |   |    |             |              |            |  |
| REF: mail  |   |             |             |      |             |              |   |   |   |                    |        |   |    |             |              |            |  |
| <table border="1"><thead><tr><th>ITEM</th><th>DESCRIPTION</th><th>PART NUMBER</th><th>QTY</th><th>UNIT</th><th>UNIT PRICE</th><th>TOTAL PRICE</th><th>TIEMPO DE ENTREGA DESPUES DE RECIBIDA LA OC</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>TURBOCHARGER, TV94</td><td>211686</td><td>2</td><td>Ea</td><td>\$ 9,867.60</td><td>\$ 19,735.20</td><td>*INMEDIATO</td></tr></tbody></table> | ITEM  | DESCRIPTION | PART NUMBER | QTY  | UNIT        | UNIT PRICE   | TOTAL PRICE                                 | TIEMPO DE ENTREGA DESPUES DE RECIBIDA LA OC | 1 | TURBOCHARGER, TV94 | 211686 | 2 | Ea | \$ 9,867.60 | \$ 19,735.20 | *INMEDIATO |  |
| ITEM   | DESCRIPTION   | PART NUMBER | QTY         | UNIT | UNIT PRICE  | TOTAL PRICE  | TIEMPO DE ENTREGA DESPUES DE RECIBIDA LA OC |   |   |                    |        |   |    |             |              |            |  |
| 1  | TURBOCHARGER, TV94  | 211686      | 2           | Ea   | \$ 9,867.60 | \$ 19,735.20 | *INMEDIATO                                  |   |   |                    |        |   |    |             |              |            |  |
| TOTAL** \$ 19,735.20   |   |             |             |      |             |              |   |   |   |                    |        |   |    |             |              |            |  |
| Son: Diecinueve mil seiscientos treinta y cinco, 20/100  |   |             |             |      |             |              |   |   |   |                    |        |   |    |             |              |            |  |



## Anexo B: EVENTOS OCURRIDOS EN TAPIR A

| FECHA DE APAGADO<br>( shutdown) | FALLA DE<br>GENERADORES | ELEMENTO<br>QUE FALLO |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 26 de Junio de 2015             | GEN-102                 | termocupla            |
| 1 de Julio de 2015              | GEN-101                 | fusible               |
| 6 de Julio de 2015              | GEN-102                 | sensor                |
| 11 de Julio de 2015             | GCV-72                  | radiador              |
| 12 de Julio de 2015             | GEN-101                 | turbo                 |
| 21 de Julio de 2015             | GEN-102                 | sensor                |
| 26 de Julio de 2015             | GCV-72                  | radiador              |
| 2 de Agosto de 2015             | GEN-101                 | turbo                 |
| 9 de Agosto de 2015             | GEN-102                 | breaker               |
| 10 de Agosto de 2015            | GEN-102                 | turbo                 |
| 23 de Agosto de 2015            | GEN-102                 | sensor                |
| 30 de Agosto de 2015            | GEN-101                 | buja                  |
| 6 de Septiembre de 2015         | GCV-72                  | radiador              |
| 13 de Septiembre de 2015        | GCV-72                  | radiador              |
| 14 de Septiembre de 2015        | GEN-102                 | termocupla            |
| 20 de Septiembre de 2015        | GEN-101                 | fusible               |
| 26 de Septiembre de 2015        | GEN-101                 | breaker               |
| 2 de Octubre de 2015            | GEN-101                 | breaker               |
| 8 de Octubre de 2015            | GEN-102                 | sensor                |
| 9 de Octubre de 2015            | GCV-72                  | radiador              |
| 18 de Octubre de 2015           | GEN-101                 | sensor                |
| 23 de Octubre de 2015           | GEN-102                 | turbo                 |
| 1 de Noviembre de 2015          | GEN-101                 | turbo                 |
| 7 de Noviembre de 2015          | GEN-101                 | sensor                |
| 8 de Noviembre de 2015          | GEN-101                 | sensor                |
| 15 de Noviembre de 2015         | GCV-72                  | radiador              |
| 21 de Noviembre de 2015         | GEN-101                 | fusible               |
| 22 de Noviembre de 2015         | GEN-101                 | transformador         |
| 28 de Noviembre de 2015         | GEN-101                 | sensor                |
| 30 de Noviembre de 2015         | GEN-101                 | turbo                 |
| 4 de Diciembre de 2015          | GEN-101                 | sensor                |
| 5 de Diciembre de 2015          | GEN-102                 | sensor                |
| 11 de Diciembre de 2015         | GEN-101                 | sensor                |
| 14 de Diciembre de 2015         | GCV-72                  | radiador              |
| 18 de Diciembre de 2015         | GEN-102                 | turbo                 |

## Anexo C: ANÁLISIS DE FIABILIDAD

| Fecha SHUT DOWN | SISTEMA         | ELEMENTO   | Descripción/Alarma   | CAUSAS   | PLAN DE MANTENIMIENTO  | Horas Apagados |
|-----------------|-----------------|------------|--|--|--|----------------|
| 2015-06-26      | instrumentación | termocupla | Falla en el cilindro #3, explosión interna                     | Material de la termocupla                                  | Reemplazo a mejor calidad o programa de mantenimiento basado en MTBF | 6              |
| 2015-07-01      | eléctrico       | fusible    | Acción de protección por fusible de cargador de baterías       | Sobrecarga   | Evitar sobrecargas   | 3              |
| 2015-07-06      | instrumentación | sensor     | Alarma 413 gas pobre   | Calibración  | Recalibrar y programa de mantenimiento basado en MTBF                | 4              |
| 2015-07-11      | mecánico        | radiador   | Alta temperatura de refrigerante                               | Impurezas en paneles de radiador                           | Baqueteado cada..., tener back up                                    | 6              |
| 2015-07-12      | mecánico        | turbo      | Alta temperatura en turbo                                      | Deterioro en oring de turbo                                | Mejora de calidad de oring o cambio según programa de mantenimiento  | 7              |
| 2015-07-21      | instrumentación | sensor     | Alarma detector de flama BD /1011                              | Contacto de flama de TEA con sensor                        | Rediseño de ubicación de sensor o encapsular generadores             | 4              |
| 2015-07-26      | mecánico        | radiador   | Alta temperatura de refrigerante                               | Impurezas en paneles de radiador                           | Baqueteado cada..., tener back up                                    | 6              |
| 2015-08-02      | mecánico        | turbo      | Alta temperatura en turbo                                      | Deterioro en oring de turbo                                | Mejora de calidad de oring o cambio según programa de mantenimiento  | 8              |
| 2015-08-09      | eléctrico       | breaker    | Se abre breaker principal en el MCC al energizar transformador | Aterrizaje mal calculado                                   | Rediseño de sistemas de puesta a tierra                              | 2              |
| 2015-08-10      | mecánico        | turbo      | Alta temperatura en turbo                                      | Deterioro en oring de turbo                                | Mejora de calidad de oring o cambio según programa de mantenimiento  | 7              |
| 2015-08-23      | instrumentación | sensor     | Alarma "sobre corriente" fase 2                                | sobrepasa el umbral de protección                          | Evitar sobrecargas   | 2              |
| 2015-08-30      | eléctrico       | bujía      | se daña bujía del cilindro #10                                 | Bajas resistencia a los cambios de intensidad de la bujías | Mejorar calidad de bujías  | 5              |
| 2015-09-06      | mecánico        | radiador   | Alta temperatura de refrigerante                               | Grietas de paneles del radiador                            | Baqueteado cada..., tener back up                                    | 6              |
| 2015-09-13      | mecánico        | radiador   | Alta temperatura de refrigerante                               | Grietas de paneles del radiador                            | Baqueteado cada..., tener back up                                    | 6              |
| 2015-09-14      | instrumentación | termocupla | Falla en el cilindro #5, explosión interna                     | Material de la termocupla                                  | Reemplazo a mejor calidad o programa de mantenimiento basado en MTBF | 6              |
| 2015-09-20      | eléctrico       | fusible    | Acción de protección por fusible de cargador de baterías       | Sobrecarga   | Evitar sobrecargas   | 3              |
| 2015-09-26      | eléctrico       | breaker    | Se abre breaker de 480v  | Aterrizaje mal calculado                                   | Rediseño de sistemas de puesta a tierra                              | 2              |
| 2015-10-02      | eléctrico       | breaker    | Se abre breaker principal en el MCC al energizar transformador | Aterrizaje mal calculado                                   | Rediseño de sistemas de puesta a tierra                              | 2              |
| 2015-10-08      | instrumentación | sensor     | Alarma detector de flama BD /1011                              | Contacto de flama de TEA con sensor                        | Rediseño de ubicación de sensor o encapsular generadores             | 5              |

|            |                 |               |  |                                     |  |    |
|------------|-----------------|---------------|--|-------------------------------------|--|----|
| 2015-10-09 | mecánico        | radiador      | Alta temperatura de refrigerante                                     | Grietas de paneles del radiador     | Baqueteado cada..., tener back up  | 6  |
| 2015-10-18 | instrumentación | sensor        | Alarma Lock Out Relay  | Impurezas en el transformador       | Limpieza de transformador en base a programa de mantenimiento                | 8  |
| 2015-10-23 | mecánico        | turbo         | Alta temperatura en turbo  | Deterioro en oring de turbo         | Mejora de calidad de oring cada .....  | 13 |
| 2015-11-01 | mecánico        | turbo         | Alta temperatura en turbo  | Deterioro en oring de turbo         | Mejora de calidad de oring cada .....  | 11 |
| 2015-11-07 | instrumentación | sensor        | Alarma "sobre corriente" fase 2                                      | sobrepasa el umbral de protección   | Evitar sobrecargas   | 2  |
| 2015-11-08 | instrumentación | sensor        | alta temperatura de la bancada#1                                     | Material de la termocupla           | Termocuplas más resistentes y cambios de acuerdo a programa de mantenimiento | 8  |
| 2015-11-15 | mecánico        | radiador      | Alta temperatura de refrigerante                                     | Grietas de paneles del radiador     | Baqueteado cada..., tener back up  | 6  |
| 2015-11-21 | eléctrico       | fusible       | Acción de protección por fusible de cargador de baterías             | Sobrecarga                          | Evitar sobrecargas   | 3  |
| 2015-11-22 | eléctrico       | transformador | Falla eléctrica XFM-100A (protección a tierra) sistema de generación | Aterrizaje mal calculado            | Rediseño de sistemas de puesta a tierra                                      | 10 |
| 2015-11-28 | instrumentación | sensor        | Alarma detector de flama BD /1011                                    | Contacto de flama de TEA con sensor | Rediseño de ubicación de sensor o encapsular generadores                     | 7  |
| 2015-11-30 | mecánico        | turbo         | Alta temperatura en turbo  | Deterioro en oring de turbo         | Mejora de calidad de oring cada .....  | 15 |
| 2015-12-04 | instrumentación | sensor        | Alarma detector de flama BD /1011                                    | Contacto de flama de TEA con sensor | Rediseño de ubicación de sensor o encapsular generadores                     | 6  |
| 2015-12-05 | instrumentación | sensor        | Alta temperatura de la bancada#3                                     | Material de la termocupla           | Termocuplas más resistentes y cambios de acuerdo a programa de mantenimiento | 8  |
| 2015-12-11 | instrumentación | sensor        | Alarma Lock Out Relay  | Impurezas en el transformador       | Limpieza de transformador en base a program de mantemiento                   | 8  |
| 2015-12-14 | mecánico        | radiador      | Alta temperaura de refrigerante                                      | Grietas de paneles del radiador     | Baqueteado cada..., tener back up  | 6  |
| 2015-12-18 | mecánico        | turbo         | Alta tempreatura en turbo  | Deterioro en oring de turbo         | Mejora de calidad de oring cada .....  | 12 |
| 2015-12-19 | eléctrico       | transformador | Se circuito transformador de resistencia NGR                         | Aterrizaje mal calculado            | Rediseño de sistemas de puesta a tierra                                      | 72 |
| 2015-12-27 | instrumentación | sensor        | Alta temperatura de la bancada#3                                     | Material de la termocupla           | Termocuplas mas resistentes y cambios de acuerdo a programa de mantenimiento | 8  |

## Anexo D: CROMATOGRAFÍA DE GASES



### REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| REPORTE NRO. / REPORT NUMBER:                             | 395-16                        |
| Compañía Cliente / Company Client Name:                   | PETRORIENTAL                  |
| Codigo  | N/D                           |
| Solicitado por / Required by:                             | ING. BENJAMIN VANEGAS         |
| Orden de Compra o Ref. Nro. / Purchase order or Ref. No.: | ECL-019-16                    |
| Producto / Product Name:                                  | GAS COMBUSTIBLE               |
| Origen de la muestra / Sampling origin:                   | POZO TAPIR A                  |
| Cantidad de muestra / Quantity of sample:                 | 500 ML                        |
| TAG N° / NUMBER TAG                                       | N/D                           |
| Fecha de Muestreo / Sampling Date:                        | ENERO 25 DEL 2016             |
| Lugar y fecha de recepción / Place and date of receipt:   | LAGO AGRIO, ENERO 26 DEL 2016 |
| Fecha inicial del ensayo / date beginning test:           | ENERO 27 DEL 2016             |
| Fecha final del ensayo / day finishing test:              | ENERO 27 DEL 2016             |
| Lugar y Fecha Impresión / Place and date of printing:     | LAGO AGRIO, ENERO 28 DEL 2016 |

### ANALISIS CROMATOGRAFICO DE GAS

| COMPOSICION DEL GAS        | RESULTADOS       |                 | CONSTANTES FISICO-QUIMICAS DEL GAS        | RESULTADOS |         |
|----------------------------|------------------|-----------------|---|------------|---------|
|                            | FRACCION % MOLAR | FRACCION % PESO |   | Standard   | Actual  |
| NITROGENO (N2)             | 3,540            | 4,008           | DENSIDAD DEL GAS, Kg/m3                   | 1,0514     | 2,2727  |
| DIOXIDO DE CARBONO (CO2)   | 5,260            | 9,356           | DENSIDAD RELATIVA                         | 0,8576     | 0,8572  |
| SULFURO DE HIDROGENO (H2S) | --               | --              | VALOR CALORIFICO NETO (MJ/m3)             | 43,878     | 94,853  |
| METANO (C1)                | 69,093           | 44,804          | VALOR CALORIFICO BRUTO (MJ/m3)            | 48,301     | 104,414 |
| ETANO (C2)                 | 6,519            | 7,924           | TEMPERATURA DE FLUJO (°F)                 | 60         | 112     |
| PROPANO (C3)               | 7,989            | 14,240          | PRESION DE FLUJO (PSIG)                   | 14,7       | 35,0    |
| I-BUTANO (I-C4)            | 1,880            | 4,416           | VISCOSIDAD DINAMICA DEL GAS Ug (Pa*S*E-6) | 10,239     | 11,196  |
| N-BUTANO (N-C4)            | 2,960            | 6,953           | FACTOR DE COMPRESION DEL GAS              | 0,99559    | 0,99245 |