



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO (PMO) DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CUYABENO BLOQUE 58**

**VILLACÍS BONILLA MILTON ELIECER**

**Trabajo de Titulación modalidad Proyectos 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**

**JULIO-2017**



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad **Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado “**OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO (PMO) DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CUYABENO BLOQUE 58**”, de responsabilidad del Sr **VILLACÍS BONILLAMILTON ELIECER** ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Dr. MSc. Juan Mario Vargas Guambo

**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_

FIRMA

Ing. MSc. Angel Alberto Orozco Pérez

**DIECTOR**

\_\_\_\_\_

FIRMA

Ing. MSc. Jorge Estuardo Freire Miranda

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_

FIRMA

Ing. MSc. Victor Rubén Bautista Naranjo

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_

FIRMA

Riobamba, Julio 2017

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Milton Eliecer Villacís Bonilla, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **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.

---

**MILTON ELIECER VILLACÍS BONILLA**

**CI. 1802399913**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Milton Eliecer Villacís Bonilla, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, Julio del 2017

Milton Eliecer Villacís Bonilla

CI No. 1802399913

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a todas aquellas personas que lograron de este un desarrollo exitoso; para alcanzar así una meta importante en mi vida, permitiéndome ser cada día mejor persona en el ámbito académico, profesional y personal.

A mis padres, que con el esfuerzo de todos los días permitieron que soñar con un mejor mañana no fuera algo inalcanzable, si no que fuera una realidad, por su apoyo incondicional y el amor que nos demuestran en cada momento de nuestras vidas frente a situaciones adversas y otras más llevaderas.

A mi esposa y mis hijos, que con su paciencia, amor y lealtad han logrado comprender que el sacrificio de no verme todos los días ha valido la pena para lograr las metas propuestas.

Milton

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por acompañarme en cada paso de mi vida.

A los miembros del tribunal, por haber aceptado gustosos colaborar con el presente trabajo de investigación.

A Petroamazonas EP, por medio de sus directivos, permitieron se desarrolle este trabajo de mutuo beneficio.

A la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, por brindar esta oferta académica que permitió seguir preparándome para mi superación profesional.

Milton

## TABLA DE CONTENIDO

Lista de figuras .....	xi
Lista de Tablas .....	xiii
Lista de ecuaciones .....	xv
Lista de anexo .....	xvi
Índice de abreviaturas .....	xvii
Resumen .....	xix
Summary .....	xx

### CAPITULO I

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Problema de Investigación .....</b>	<b>2</b>
<i>1.1.1 Planteamiento del Problema.....</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2 Formulación del Problema.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.3 Sistematización del Problema .....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.4 Justificación de la investigación.....</i>	<i>5</i>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>6</b>
<i>1.2.1 General .....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2 Específicos .....</i>	<i>6</i>
<b>1.3 Hipótesis.....</b>	<b>7</b>

### CAPITULO II

<b>2. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Mantenimiento .....</b>	<b>8</b>

2.1.1	<i>Mantenimiento Correctivo.</i>	9
2.1.2	<i>Mantenimiento Preventivo.</i>	9
2.1.3	<i>Mantenimiento Condicional o Predictivo.</i>	9
2.1.4	<i>Mantenimiento de clase mundial - WorldClassMaintenance – WCM.</i>	11
2.2	<b>Cuadro de Mando (Balanced Score Card aplicado al Mantenimiento).</b>	14
2.2.1	<i>Indicadores de Rendimiento (KPI'S)</i>	14
2.3	<b>Gestión de activos</b>	18
2.4	<b>Modelo Óptimo de Gestión de Mantenimiento</b>	19
2.4.1	<i>RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad).</i>	20
2.4.2	<i>El PMO (Optimización del Mantenimiento Planificado)</i>	23
2.4.3	<i>Características de la Metodología PMO.</i>	24
2.4.4	<i>Diferencias entre RCM y PMO.</i>	26
2.4.5	<i>Pasos el PMO</i>	27
2.4.5.1.	<i>Recopilación de tareas.</i>	28
2.4.5.2	<i>Análisis de modo de falla y sus Efectos (AMEF).</i>	28
2.4.5.3	<i>Evaluación de consecuencias.</i>	29
2.4.5.4.	<i>Métodos de análisis de fallas y riesgos</i>	29
2.4.5.5	<i>Selección de las Tareas.</i>	33
2.4.5.6.	<i>Selección de Tareas Reparación o Cambio.</i>	34
2.4.5.7.	<i>Selección de tareas por búsqueda de fallas.</i>	35
2.4.5.8	<i>Agrupación y revisión.</i>	35
2.4.5.9	<i>Aprobación e Implementación</i>	36
2.4.6	<i>Equipos Críticos</i>	37
2.4.7	<i>Ventajas de la Implementación de la Metodología</i>	38
2.5	<b>Mantenimiento Productivo Total</b>	40

### **CAPITULO III**

<b>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>44</b>	
3.1	<b>Recopilación de Datos de mantenimiento y operaciones</b>	<b>44</b>

<b>3.2</b>	<b>Población</b> .....	<b>44</b>
<b>3.3</b>	<b>Parámetros antes de la aplicación del PMO</b> .....	<b>46</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Organigrama del Departamento de Mantenimiento</i></b> .....	<b>46</b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Planes de Mantenimiento</i></b> .....	<b>49</b>
<b>3.3.3</b>	<b><i>Indicadores</i></b> .....	<b>51</b>
<b>3.3.3.1.</b>	<b><i>Pérdidas de Producción 2014</i></b> .....	<b>51</b>
<b>3.3.3.2</b>	<b><i>Porcentaje de mantenimientos proactivos</i></b> .....	<b>52</b>
<b>3.3.3.3</b>	<b><i>Disponibilidad Operativa, MTBF y MTTR</i></b> .....	<b>52</b>
<b>3.3.3.4</b>	<b><i>Análisis de Fiabilidad</i></b> .....	<b>54</b>
<b>3.4</b>	<b>Aplicación del PMO en la Central de Generación Cuyabeno</b> .....	<b>56</b>
<b>3.4.1</b>	<b><i>Recopilación de Tareas</i></b> .....	<b>56</b>
<b>3.4.2</b>	<b><i>Análisis de Modos, Efectos de Falla y sus Consecuencias (Fmeca)</i></b> .....	<b>58</b>
<b>3.4.3</b>	<b><i>Selección de las Tareas.</i></b> .....	<b>59</b>
<b>3.4.4</b>	<b><i>Agrupación y Revisión</i></b> .....	<b>56</b>
<b>3.4.5</b>	<b><i>Costos de Mantenimiento</i></b> .....	<b>56</b>

## CAPITULO IV

<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>58</b>
<b>4.1</b>	<b>Análisis de Modos y efectos de falla.</b> .....	<b>58</b>
<b>4.2</b>	<b>Evaluación de las consecuencias</b> .....	<b>59</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Modos de falla evidentes con consecuencias a la seguridad, Salud y Ambiente</i></b> ..	<b>59</b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>Modos de falla evidentes con consecuencias económicas</i></b> .....	<b>60</b>
<b>4.2.3</b>	<b><i>Modos de falla evidentes con consecuencias operacionales</i></b> .....	<b>66</b>
<b>4.2.4</b>	<b><i>Modos de falla ocultos</i></b> .....	<b>66</b>
<b>4.2.5</b>	<b><i>Selección de las tareas</i></b> .....	<b>67</b>
<b>4.2.5.1</b>	<b><i>Sistema de combustible</i></b> .....	<b>67</b>
<b>4.2.5.2</b>	<b><i>Sistema de Control</i></b> .....	<b>68</b>
<b>4.2.6</b>	<b><i>Agrupación y revisión de Planes</i></b> .....	<b>73</b>
<b>4.3</b>	<b>Análisis de Indicadores</b> .....	<b>77</b>

<b>4.4</b>	<b>Demostración de la hipótesis</b> .....	<b>83</b>
<b>4.4.1</b>	<i>Variables operacionales</i> .....	<b>83</b>
<b>4.4.2</b>	<i>Planteamiento de la hipótesis</i> .....	<b>83</b>
<b>4.4.3</b>	<i>Nivel de significancia</i> .....	<b>84</b>
<b>4.4.4</b>	<i>Análisis de datos</i> .....	<b>84</b>
<b>4.4.5</b>	<i>Selección del modelo estadístico de prueba de la hipótesis</i> .....	<b>84</b>
<b>4.4.6</b>	<i>Prueba de Hipótesis</i> .....	<b>85</b>
<b>4.4.7</b>	<i>Cálculo del valor estadístico</i> .....	<b>85</b>
<b>4.4.8</b>	<i>Análisis y Decisión</i> .....	<b>86</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>89</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>91</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Bloques de Operación de Petroamazonas EP.....	2
Figura 1-2. Grupo electrógeno CAT 3412C .....	3
Figura 1-3. Central de Generación Cuyabeno 4,4 MW.....	3
Figura 1-4. Indicadores de Pérdidas debido a Shut down de las centrales de Generación.....	4
Figura 2-1. Evolución del Mantenimiento .....	8
Figura 2-2. Elementos del Mantenimiento Preventivo.....	10
Figura 2-3. Relaciones entre estrategias y tecnologías .....	12
Figura 2-4. Pirámide de la excelencia de mantenimiento .....	13
Figura 2-5. Distribución de fallas.....	15
Figura 2-6. Fiabilidad de Sistemas serie-paralelo .....	17
Figura 2-7. Modelo de gestión de activos según PAS 55.....	20
Figura 2-8. Ciclo Vicioso del Mantenimiento Reactivo .....	24
Figura 2-9. Relación costo-tiempo-beneficio del RCM y PMO. ....	25
Figura 2-10. Resultados del RCM y PMO. ....	26
Figura 2-11. Fuentes de información del <i>PMO</i> .....	28
Figura 2-12. Tareas por condición. ....	34
Figura 2-13. Flujo del Proceso del <i>PMO</i> . ....	36
Figura 2-14. Creación de un plan de mantenimiento desde RCM y PMO.....	40
Figura 2-15. Pilares del TPM.....	41
Figura 3-1. Subsistemas de la central de Generación eléctrica Cuyabeno B58 .....	45
Figura 3-2. Organigrama del Departamento de Mantenimiento del Bloque 58 Petroamazonas EP	46
Figura 3-3. Beneficios del Sistema Máximo.....	47
Figura 4-1. Gráfico del Análisis de Fallas de la central Generación Cuyabeno.....	58
Figura 4-2. Termografía de transformador elevador 480 VAC a 13,8 kV .....	60
Figura 4-3. Árbol de fallas del Sistema de control de los grupos electrógenos de la Central de Generación Cuyabeno .....	61
Figura 4-4. Tanques de almacenamiento de combustible Central de generación Cuyabeno .....	67
Figura 4-5. Equipos de filtrado del Sistema de combustible de la central de generación Cuyabeno. ....	68
Figura 4-6. Panel principal del Sistema de control de la central de generación Cuyabeno .....	70
Figura 4-7. Diagrama Sistema de Control del Grupo electrógeno .....	71

Figura 4-8. Gráfico de la Disponibilidad de los Grupos Electr6genos .....	78
Figura 4-9. Gráfico del costo de mantenimiento por barril 2015 .....	79
Figura 4-10. Gráfico del costo de mantenimiento por barril 2016.....	80
Figura 4-11. Gráfico del Indicador de mantenimientos proactivos 2015.....	80
Figura 4-12. Gráfico del Indicador de mantenimientos proactivos 2016.....	81
Figura 4-13. Gráfico del Indicador de mantenimiento 2015 .....	81
Figura 4-14. Gráfico del Indicador de mantenimiento 2016 .....	82
Figura 4-15. Gráfico del Indicador de Pérdidas de Producción .....	82
Figura 4-16. Punto de aceptación de la hipótesis para las muestras 2014-2015 .....	87
Figura 4-17. Punto de aceptación de la hipótesis para las muestras2015-2016 .....	88

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1: Producción total del PAD Cuyabeno C en el bloque 58.....	4
Tabla 2-1: Beneficios del mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	22
Tabla 2-2: Método de WT Fine Modificado .....	30
Tabla 2-3: Método de WT Fine Modificado (Consecuencias).....	31
Tabla 2-6: Consideraciones requeridas para el análisis de modos de fallo .....	38
Tabla 2-7: Forma de análisis de modos de fallos de RCM y de PMO.....	39
Tabla 3-1: Características técnicas de los grupos electrógenos Caterpillar 3412C.....	45
Tabla 3-2: Componentes de los grupos electrógenos y sistemas auxiliares.....	49
Tabla 3-3: Rutinas de Mantenimiento preventivo de la Central de Generación Cuyabeno .....	50
Tabla 3-4: Indicadores Técnicos de Mantenimiento en la Central de Generación Cuyabeno 2014	53
Tabla 3-5: Identificación de tareas de mantenimiento de los grupos electrógenos de la Central Cuyabeno .....	57
Tabla 3-6: Tipos de Mantenimiento .....	59
Tabla 3-7: Reporte de Fallas de la central de Generación Cuyabeno .....	54
Tabla 3-8: Análisis de las consecuencias de fallas en Sistemas de la Central Cuyabeno .....	55
Tabla 3-9: Clasificación de tareas de Mantenimiento por especialidad (Mantenimiento Mecánico) .....	56
Tabla 3-10: Costos de Mantenimiento .....	57
Tabla 4-1: Fallas en los grupos electrógenos de la Central Cuyabeno 2015.....	59
Tabla 4-2: Análisis FMEA de los Grupos electrógenos Parte 1 .....	62
Tabla 4-3: Análisis FMEA de los Grupos electrógenos Parte 2 .....	63
Tabla 4-4: Análisis FMEA de los Grupos electrógenos Parte 3 .....	65
Tabla 4-5: Tareas de Mantenimiento del Sistema de Combustible.....	69
Tabla 4-6: Tareas de Mantenimiento del Sistema de control Parte 1.....	71
Tabla 4-7: Tareas de Mantenimiento del Sistema de control Parte 2.....	72
Tabla 4-8: Componentes de Grupos electrógenos y sistemas auxiliares de la Central Cuyabeno ..	73
Tabla 4-9: Planes de mantenimiento a incluir en la central de generación .....	74
Tabla 4-10: Listado de tareas de los equipos de la Central de Generación Cuyabeno. Parte 1. ....	75
Tabla 4-11: Listado de tareas de los equipos y componentes de la Central de Generación Cuyabeno. Parte 2. ....	76

Tabla 4-12: Indicadores Técnicos de Mantenimiento en la Central de Generación Cuyabeno 2015 .....	77
Tabla 4-13: Indicadores Técnicos de Mantenimiento en la Central de Generación Cuyabeno 2016 .....	78
Tabla 4-14: Pérdidas de producción Pad C Cuyabeno 2014-2016.....	82
Tabla 4-15: Pérdidas de Producción del Pad Cuyabeno C (2014-2015).....	85
Tabla 4-16: Prueba de hipótesis t-student 2014-2015.....	86
Tabla 4-17: Prueba de hipótesis t-student (muestras 2015-2016).....	87

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 2.1	Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF).....	16
Ecuación 2.2	Tiempo Medio de Reparación (MTTR).....	16
Ecuación 2.3	Tiempo Medio para la Falla (MTTF).....	17
Ecuación 2.4	Disponibilidad Inherente ( $A_i$ ).....	17
Ecuación 2.5	Disponibilidad (A).....	17
Ecuación 2.6	Fiabilidad.....	18

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A.** CHECK LIST DE OPERADOR (MANTENIMIENTO AUTÓNOMO).

**ANEXO B.** DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM SEGÚN SAE-JA1012

**ANEXO C.** ANÁLISIS FMECA DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CUYABENO

**ANEXO D.** ANÁLISIS CAUSA RAIZ, PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CUYABENO B58

**ANEXO E.** ANÁLISIS CAUSA RAIZ EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN CUYABENO B58

**ANEXO F.** PROFESIOGRAMA

## **INDICE DE ABREVIATURAS**

### **A**

**ACR** Análisis Causa Raíz (Root Cause Analysis, RCA)

**AENOR** Asociación Española de Normalización.

### **C**

**CBM** Mantenimiento Basado en Condición.

**CMMS** Computerized Maintenance Management System

### **E**

**EAM** Enterprise Asset Management. Software de gestión de activos empresariales.

**ESPOCH** Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

### **F**

**FMEA** Análisis de Modos de Falla y Efectos (Failure Mode and Effects Analysis)

**FMECA** Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (Failure Modes, Effect and Criticality Analysis)

### **G**

**GMAO/GMAC** Gestión de Mantenimiento Asistido por Computador

### **I**

**ISO** Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization).

### **K**

**KPI** Indicadores clave de desempeño (Key Performance Indicators)

### **L**

**LCC** Costo del ciclo de vida (Life cycle cost)

### **M**

**MDT** Tiempo de inactividad (Mean Downtime)

**MTBF** Tiempo medio entre fallas (mean time between failures)

**MTTF** Tiempo medio entre para la falla (mean time to failure)

**MTTR** Tiempo medio para reparar (mean time to repair)

**P**

**PM** Mantenimiento Preventivo (Preventive maintenance)

**PMO** Optimización del Mantenimiento Planeado

**R**

**RAM** Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (reliability, availability maintainability)

**RBI** Inspección Basada en Riesgo (Risk-based inspection)

**RCM** Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (reliability-centered maintenance)

**T**

**TPM** Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance)

**W**

**WCM** Mantenimiento de clase mundial (WorldClassMaintenance)

## **RESUMEN**

Se realizó la optimización de las tareas de mantenimiento planificado de la Central de Generación Eléctrica Cuyabeno, conformada por siete grupos electrógenos a diésel, con la finalidad de tener una mayor disponibilidad de los mismos, disminuyendo el número de paradas imprevistas ante fallas en los equipos. Para ello, se realizó un diagnóstico de la situación actual, analizando las tareas existentes y los modos, efectos de falla y sus consecuencias, se utilizó como guía los nueve pasos de la metodología Optimización del Mantenimiento Planificado (PMO), se utilizaron datos tanto físicos, como digitales, así como también se tomaron sugerencias del personal de operaciones y mantenimiento. La ejecución de este trabajo ha generado los siguientes resultados: 36% menos en el costo de mantenimiento por cada barril de petróleo producido, una mejora en la disponibilidad operativa del 3.71% y una reducción de las pérdidas de producción inicial del 14% del año 2014 al 2015 y del 36% del año 2015 al 2016, esto se ha logrado con la implementación de nuevas tareas y la optimización de las existentes, mejorando los índices de mantenimiento, reduciendo el número de fallas funcionales, optimizando recursos, generando la participación del personal de operaciones en actividades de mantenimiento autónomo. Todas las tareas han sido ingresadas al sistema de gestión de mantenimiento para su ejecución. Se concluye que la aplicación de la metodología PMO es efectiva en equipos con alto índice de fallas. Se recomienda la revisión continua de los planes y programas de mantenimiento en la central de generación Cuyabeno.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO>, <MANTENIMIENTO PLANIFICADO> <CENTRAL DE GENERACIÓN> <GESTIÓN DE ACTIVOS> <OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO (PMO)> <FALLA> <CUYABENO (COMUNIDAD)>

## ABSTRACT

The planned maintenance tasks of the Cuyabeno Electric Generation Plant, made up of seven diesel generators, were optimized in order to have a greater availability of them, reducing the number of unexpected shutdowns due to failures in the equipment. With this purpose, a diagnosis of the current situation was performed. It analyzed the current tasks and modes, failure effects and their consequences, the nine steps of the Optimized Maintenance Planning (PMO) methodology were used as a guide, both physical data, as digital, as well as suggestions from operations and maintenance personnel. The execution of this work has generated the following results: 36% less maintenance costs per barrel of oil produced, an improvement in the operational availability of 3.71% and a reduction of the initial production losses of 14% in 2014 To 2015 and 36% from 2015 to 2016. These results have been achieved with the implementation of new tasks and the optimization of existing ones, improving maintenance rates, reducing the number of functional failures, optimizing resources and, generating staff participation of operations in autonomous maintenance activities. All tasks have been entered into the maintenance management system for execution. It is concluded that the application of the PMO methodology is effective in equipment with high failure rate. As well as continuous review of maintenance plans and programs at the Cuyabeno Generation Plant is recommended.

KEYWORDS: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <MAINTENANCE ENGINEERING>, <PLANNED MAINTENANCE>, <GENERATION CENTER>, <ASSET MANAGEMENT>, <OPTIMIZATION OF PLANNED MAINTENANCE (PMO)>, <FAULT>, <CUYABENO (COMMUNITY)>

## **CAPITULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

PETROAMAZONAS EP es una empresa pública ecuatoriana dedicada a la exploración y producción de hidrocarburos. Es operadora de 20 bloques, 17 ubicados en la Cuenca Oriente del Ecuador y tres en la zona del Litoral.

Mediante Decreto Ejecutivo No.1351-A publicado en el Registro Oficial No.860 de 2 de enero de 2013, se dispuso que PETROAMAZONAS EP a partir de la vigencia del Decreto Ejecutivo No. 1351-A asumirá todos los derechos y obligaciones que se generen en virtud de licencias, autorizaciones, concesiones, contratos y demás actos que se encuentren en vigor, en trámite o en ejecución por parte de las áreas administrativas de EP PETROECUADOR correspondientes a la Gerencia de Exploración y Producción, Coordinación General de Aviación; y áreas de exploración y producción de la Gerencia de Gas Natural.

La empresa mantuvo en 2014 una producción petrolera promedio de 361.072 Bppd, e incorporó, mediante pozos exploratorios, 64,83 MMBbls de nuevas reservas, consolidando una tendencia de crecimiento de la industria, con el uso de la tecnología más avanzada disponible y el talento técnico de los ecuatorianos. Opera los Bloques 7, 12, 15, 18, 21, 56, 57, 58, 59, 61 y del desarrollo del Bloque 31

Dentro de los Bloques de la empresa se encuentra el Bloque 58 Cuyabeno, ubicado en el nororiente ecuatoriano, el cual actualmente cuenta con una producción promedio de 27000 BPPD.

## BLOQUES DE OPERACIÓN PETROAMZONAS EP

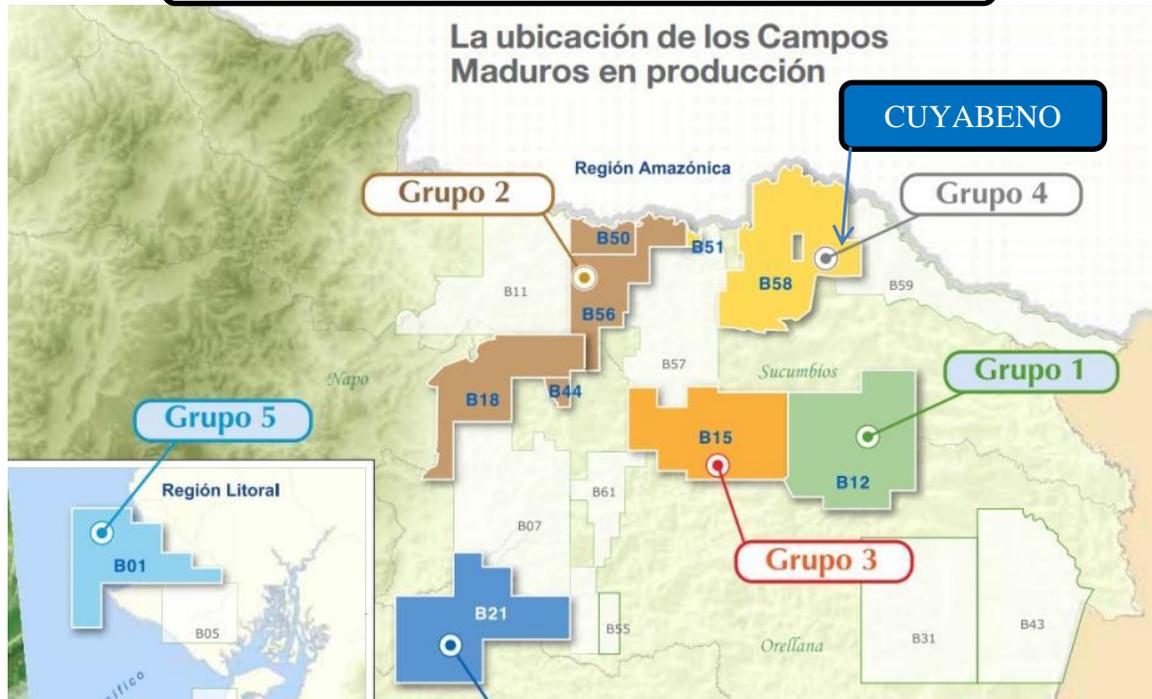


Figura 1-1. Bloques de Operación de Petroamazonas EP

Fuente: Petroamazonas EP, 2014

### 1.1 Problema de Investigación

#### 1.1.1 Planteamiento del Problema

El Campo Cuyabeno dispone de un centro de generación eléctrica conformado por siete grupos electrógenos de la marca Caterpillar modelo 3412C, cuya potencia nominal es 635KW, en modo prime a un voltaje de corriente alterna de 480 voltios a una frecuencia de 60 hertzios. Operativamente aportan su energía 5 unidades en paralelo y 2 en reserva. Su función principal es abastecer de energía al Pad de Producción denominado CYBC (Cuyabeno "C"), con sistema de Levantamiento artificial con Bombeo electro sumergible y a facilidades del sistema de bombeo de transferencia de Crudo por Variadores de Frecuencia, 3 bombas horizontales acoplados con motor eléctricos de 600 HP ubicados en la Estación central.



Figura 1-2. Grupo electrógeno CAT 3412C

Fuente: Caterpillar 2015

El Tablero de Control se compone básicamente de un controlador modelo EMCP II+ de Caterpillar.



Figura 1-3. Central de Generación Cuyabeno 4,4 MW

Fuente: Petroamazonas Ep, 2015

Estadísticas de Producción indican las pérdidas de producción ocasionadas por las fallas en el sistema (ver figura 1.4).

Esta situación ha generado la necesidad de mejorar los índices de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la Central de Generación.

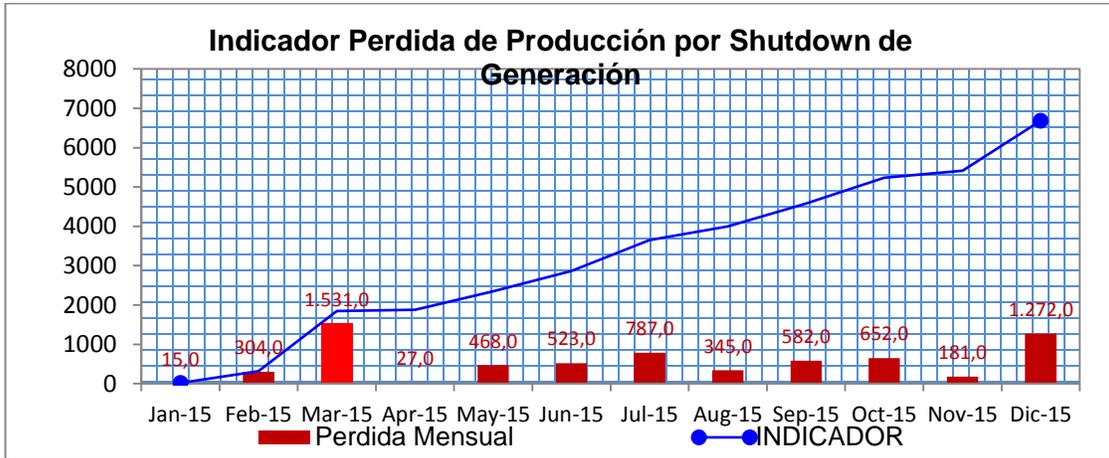


Figura 1-4. Indicadores de Pérdidas debido a Shut down de las centrales de Generación

Fuente: Petroamazonas Ep, 2015

La siguiente Tabla indica el potencial de producción del PAD C del campo Cuyabeno.

Tabla 1-1: Producción total del PAD Cuyabeno C en el bloque 58

PRODUCCION PAD CUYABENO C CYBC			
Pozo	Bruto	Crudo	Agua
	(BBLS)	(BBLS)	(BBLS)
CUYABENO C013 UI	2,586.000	206.880	2,379.120
CUYABENO C021 UI	2,676.000	267.600	2,408.400
CUYABENO C024 UI	2,448.000	318.240	2,129.760
CUYABENO C024 US	2,802.000	224.160	2,577.840
CUYABENO C034 TS	1,386.000	83.160	1,302.840
CUYABENO C034 UI	1,584.000	285.120	1,298.880
CUYABENO C035 UI	2,766.000	331.920	2,434.080
CUYABENO C060 UI	1,272.000	216.240	1,055.760
CUYABENO C060 UM	255.000	252.450	2.550
CUYABENO C068 US	360.000	342.000	18.000
<b>TOTALES</b>	<b>18,135.00</b>	<b>2,527.77</b>	<b>15,607.23</b>

Fuente: Operaciones B58 Petroamazonas EP, 2015

### ***1.1.2 Formulación del Problema***

Cuál es la estrategia de mantenimiento adecuada que permita mejorar los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de la central de Generación Cuyabeno?

### ***1.1.3 Sistematización del Problema***

En virtud de lo anterior nos formulamos las siguientes preguntas:

¿Cuáles son las causas de Falla de los sistemas involucrados en el centro de generación?

¿Por qué los planes de mantenimiento existentes no han mejorado los índices de confiabilidad y disponibilidad?

¿Cómo mejorar dichos índices, y minimizar las pérdidas asociadas a mantenimiento en la Central de generación?

### ***1.1.4 Justificación de la investigación***

Como en la mayoría de las empresas dedicadas a la producción de Petróleo, los sistemas de generación de energía eléctrica se constituyen de equipos sumamente críticos, ya que influyen directamente sobre la producción de ahí que la importancia de mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los mismos, utilizando las herramientas que existen actualmente.

En base al histórico de fallas en los grupos electrógenos se realizará los análisis respectivos para determinar la criticidad de los componentes y subsistemas que servirá para la optimización y priorización de las actividades del mantenimiento mediante la metodología PMO (Optimización del Mantenimiento Planificado), mejorando de esta manera la confiabilidad y la disponibilidad de todo el sistema.

La recomendación, para implementar todas las estrategias es asegurar que las decisiones se toman basadas en un análisis de RCM, realizado en la fase de diseño de una planta nueva y

para la planta en funcionamiento, PMO es el medio para racionalizar todo el Mantenimiento Preventivo (PM) y así asegurar que existe valor agregado y es costo efectivo para la organización.

La Central de Generación Cuyabeno se encuentra en funcionamiento desde el año 2008, lo que significa que es una planta madura y para minimizar el número de paradas no programadas y fallas del sistema, la mejor opción para optimizar las tareas de mantenimiento, es implementar la metodología PMO.

## **1.2      Objetivos**

### ***1.2.1   General***

- Optimizar el mantenimiento planificado en la Central de Generación Cuyabeno Bloque 58,

### ***1.2.2   Específicos***

- Investigar la metodología PMO (Optimización del mantenimiento planificado) para su aplicación en la Central de Generación Cuyabeno.
- Analizar los modos de falla y sus consecuencias, de tal manera que permita clasificarlos como, críticos importantes o tolerables.
- Analizar los índices de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad.
- Establecer las tareas proactivas que atenúen los efectos de la falla.
- Consolidar todas las tareas e ingresarlas al sistema informático para su aplicación en el Plan de Mantenimiento.

### **1.3 Hipótesis**

Aplicando la Metodología PMO (Optimización del Mantenimiento Planificado) se pueden optimizar las tareas de Mantenimiento y sus recursos, reduciendo las pérdidas de producción por paradas imprevistas.

Los métodos a utilizar para el cumplimiento de las tareas de investigación son: el hipotético – deductivo; se utiliza además el estudio documental para llegar al descubrimiento de los hechos, datos operacionales obtenidos del área de Generación, así como los datos del mantenimiento realizado en el programa MAXIMO Oil&Gas, serán utilizados y procesados para la ejecución del proyecto.

## CAPITULO II

### 2. MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1 Mantenimiento

Mantenimiento. Hoy en día, se define como al conjunto de actividades realizadas en máquinas, equipos e instalaciones que intervienen en un proceso productivo, para *mantenerlos* en estado operativo y para la función que fueron adquiridos. Con esta definición, a través del tiempo han surgido varios tipos de mantenimiento, los cuales son paralelos a la evolución del tiempo, dicha evolución se muestra en la figura2-1. (Knezevic, 1996, p. 24).

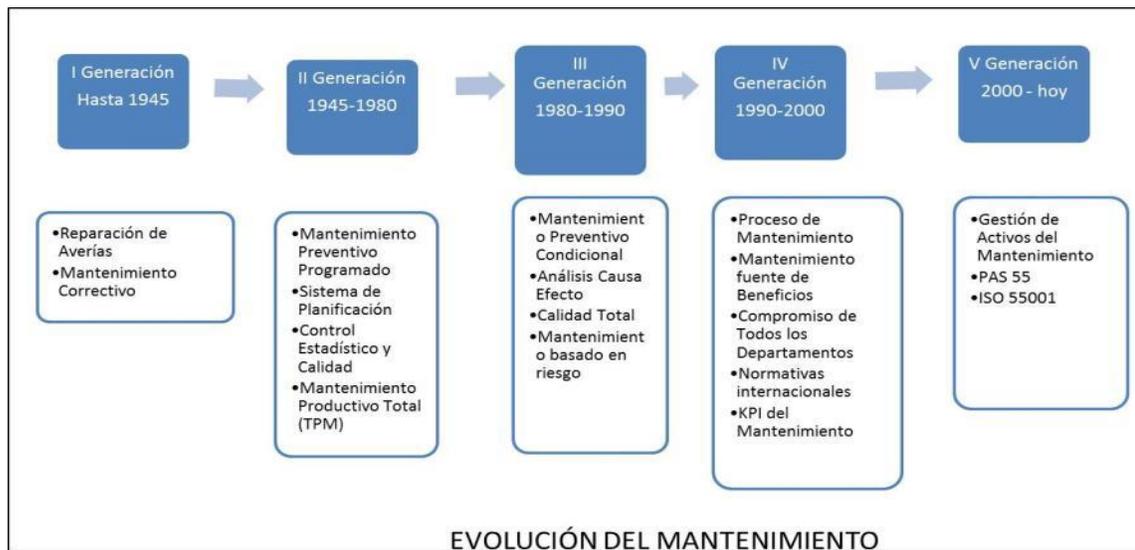


Figura 2-1. Evolución del Mantenimiento

Fuente: Placencia, 2014.

Para poder garantizar la disponibilidad operacional de sistemas, en plantas de proceso, de generación eléctrica, equipos, Petroamazonas Ep ejecuta planes de mantenimiento de manera

ininterrumpida con metas y objetivos precisos y claramente definidos en el Plan Estratégico del departamento de mantenimiento, completamente alineado al plan empresarial.

### **2.1.1 *Mantenimiento Correctivo.***

Consiste en Reparar una máquina o pieza cuando se presenta una avería. Es el mantenimiento efectuado después de producirse una falla. La intervención se realiza con motivo de la avería, por tanto el operador del equipo avisa de la falla e interviene el personal de mantenimiento. (Torres, 2005, p.123.)

### **2.1.2 *Mantenimiento Preventivo.***

Es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas previsto como necesario, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos de emergencias (*mantenimiento correctivo*) y permitir un mayor tiempo de operación de forma continua.

Es la intervención de mantenimiento prevista, preparada y programada antes del evento probable de aparición de una falla. (Torres, 2005, p.130.).

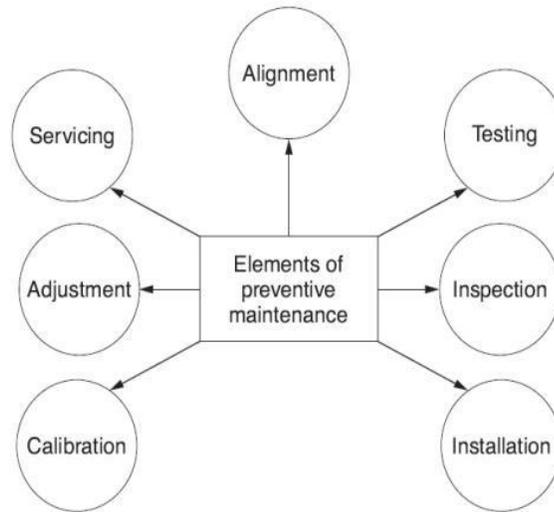
El mantenimiento preventivo se logra con la ejecución de varias tareas realizadas a frecuencias determinadas por el fabricante de los equipos, de manera empírica o del resultado del diagnóstico de los equipos.

Entre las tareas se muestran algunas como: Alineación, Pruebas, Ajustes, calibración, Instalación (Cambio), Reparación, Inspección, etc.

### **2.1.3 *Mantenimiento Condicional o Predictivo.***

Permite realizar el diagnóstico de la maquinaria y equipos sin parar los mismos. Es el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo (monitoreo) de un sistema,

que permiten una intervención preventiva o correctiva inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo.



Elements of preventive maintenance.

Figura 2-2. Elementos del Mantenimiento Preventivo

Fuente: Engineering maintenance: a modern approach, 2002. p 56

Estas técnicas incluyen:

- (1) Monitoreo de vibraciones
- (2) Termografía
- (3) La tribología (la rigidez dieléctrica, la viscosidad, el contenido de humedad, de impurezas y de cenizas en aceites aislantes, etc.)
- (4) Parámetros de proceso (la temperatura, la presión, la velocidad lineal, la velocidad angular, la resistencia eléctrica, etc.)
- (5) Inspección visual y
- (5) Otros ensayos no destructivos

Una variedad de tecnologías y metodologías puede y debe ser usado como parte de un programa de mantenimiento predictivo integral. Ya que sistemas mecánicos o máquinas rotativas representan la mayor parte de equipos de la planta, el monitoreo de vibraciones es

generalmente el componente clave de la mayoría de los programas de mantenimiento predictivo.

Sin embargo, la monitorización de vibraciones no puede proporcionar toda la información que se requiere para el éxito del programa de mantenimiento predictivo. Esta técnica está limitada para el seguimiento del estado mecánico y no para otros parámetros críticos necesarios para el mantenimiento y la fiabilidad así como eficiencia de la maquinaria. Por lo tanto, un amplio programa de mantenimiento predictivo, debe incluir otros tipos de monitoreo y técnicas de diagnóstico. (Mobley, 2001, p. 872)

#### ***2.1.4 Mantenimiento de clase mundial - WorldClassMaintenance – WCM***

El mantenimiento de clase mundial se define como el proceso de mantenimiento que satisface los requisitos y expectativas, relativas a cada momento del desarrollo de la humanidad y contexto social y de mercado, relacionadas con la seguridad, el medio ambiente, la calidad y la economía. Un mantenimiento de clase mundial implica liderazgo y debe ser demostrada su existencia evaluando los indicadores de eficacia y eficiencia del mantenimiento. El benchmarking puede ser una de las herramientas que contribuyan a ubicar y decidir si el proceso de mantenimiento de una organización puede clasificarse como de clase mundial. Sin embargo, siempre las comparaciones y evaluaciones deben hacerse relativas a parámetros que realmente puedan ser comparables entre diferentes empresas que operan también en realidades diferentes.

Un aspecto importante dentro de una estrategia de mantenimiento es el establecimiento de la política de mantenimiento. La política esclarecerá qué debe hacerse para cumplir con la misión y la visión que, desde el mantenimiento, tiene la empresa. (Sexto, 2005. p.2)

La excelencia del mantenimiento se logra cuando una planta industrial funciona a su capacidad de diseño sobre una base consistente, con tiempos de paradas mínimos, con inversiones de capital razonables, para mejora continua de equipos y costos razonables de mantenimiento, gestionando el inventario de bodega con retornos altos de inversión, un rendimiento óptimo y minimizando los riesgos. (Collantes, 2004. P. 1)

La orientación de la gestión de mantenimiento hacia clase mundial exige cambiar de actitud y de cultura en toda la organización; requiere que se tenga un alto nivel de prevención y planeación, que se soporta en un adecuado sistema gerencial de gestión de activos físicos (EAM), se orienta hacia las metas y objetivos enunciados dentro del plan estratégico del departamento de mantenimiento.

Los parámetros de gestión deben alinearse directamente con los objetivos corporativos. La actual tendencia de las organizaciones de clase mundial es llevar a cabo prácticas efectivas en su gestión de mantenimiento que permitan cumplir con las premisas de su plan estratégico y por ende llevar a cabo una gestión efectiva de sus departamentos, incluido el de Mantenimiento.

El mantenimiento de clase mundial no representa una táctica o estrategia en sí, sino más bien un conjunto de todas ellas. Al transformar el mantenimiento a uno de clase mundial se debe tener en cuenta sus principios básicos, la capacitación al personal, enfocado hacia una nueva actitud y la sistematización del mantenimiento.

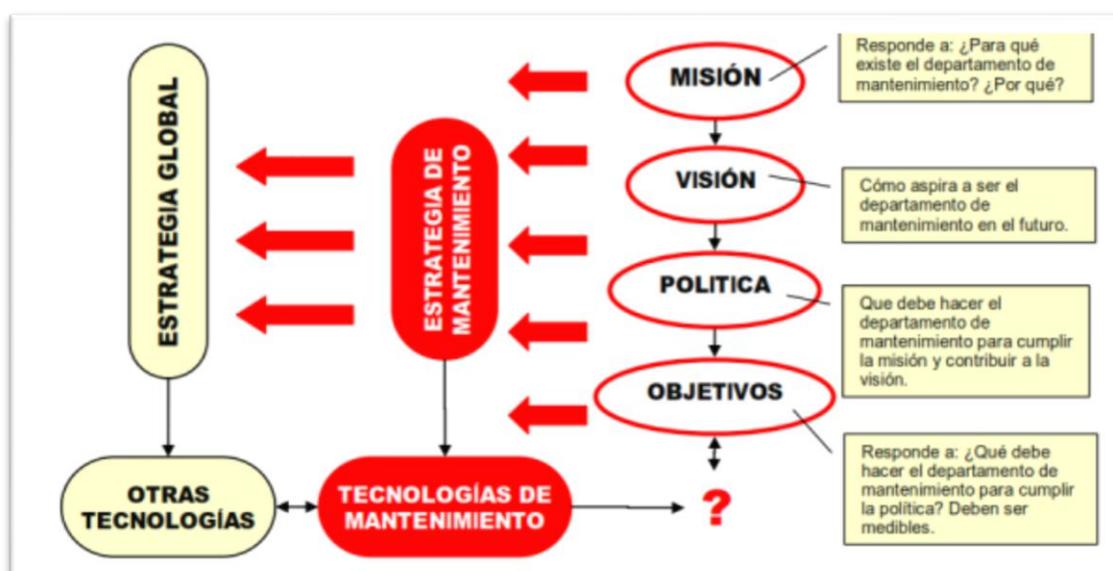


Figura 2-3. Relaciones entre estrategias y tecnologías

Fuente. Sexto. 2005

Dos de las tecnologías de mantenimiento más extendidas actualmente son el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y el Mantenimiento Productivo Total (TPM). Aunque justo es decir que la existencia de ambas data de finales de la década de los sesenta. Cada una de ellas o la combinación de ambas, conforma uno de las posibles tácticas que se proponen cubrir las necesidades de mantenimiento de la organización, el TPM pretende un campo más amplio que se impone como misión cubrir un círculo más complejo de expectativas y requerimientos dentro de la organización.

Un aspecto importante dentro de una estrategia de mantenimiento es el establecimiento de la política de mantenimiento. La política esclarecerá qué debe hacerse para cumplir con la misión y la visión que, desde el mantenimiento, tiene la empresa. (Sexto, 2005. p.3)

La táctica y la estrategia no son la misma cosa. La estrategia es la proyección de las ideas, la táctica es la forma en que se materializan las ideas. Para que una tecnología de mantenimiento sea efectiva y eficaz debe subordinarse a una estrategia, que a su vez debe tributar a la estrategia global de la organización.



Figura 2-4. Pirámide de la excelencia de mantenimiento

Fuente: Ballesteros 2012

La aspiración legítima de alcanzar la excelencia en el mantenimiento de la empresa lleva a la idea de lograr lo que se denomina mantenimiento de clase mundial. (Sexto, 2005. p.7)

## **2.2 Cuadro de Mando (Balanced Score Card aplicado al Mantenimiento)**

La ejecución de las actividades de mantenimiento, una vez planificadas y programadas utilizando las técnicas más adecuadas a la realidad de la empresa tienen que ser evaluadas y las desviaciones controladas para orientarse continuamente hacia los objetivos de negocio y los valores de referencia para los principales indicadores de rendimiento del mantenimiento seleccionados por la organización. Muchos de los KPI (indicadores clave de rendimiento) de mantenimiento de alto nivel, están contruidos o compuestos de otros indicadores técnicos y económicos de nivel básico. Por lo tanto, es muy importante asegurarse de que la organización captura los datos adecuados y que los datos estén correctamente agregados/desagregados según el nivel requerido de análisis del rendimiento del mantenimiento. En cuanto a la definición de los objetivos de mantenimiento y los indicadores clave de rendimiento - KPI's, es común que los objetivos operativos y la estrategia, así como las medidas de desempeño, se pueden definir mediante la introducción del cuadro de mando integral o BSC (Balance Score Card). El BSC es específico para la organización para la que se desarrolla y permite la creación de indicadores clave de rendimiento para evaluar los resultados de gestión de mantenimiento y que están alineados con los objetivos estratégicos de la organización. (Espinosa, 2014.p.3)

### **2.2.1 Indicadores de Rendimiento (KPI'S)**

El sistema de indicadores claves de desempeño están estructurados en tres tipos: económicos, técnicos y organizacionales.

Se utilizan para medir el aspecto cuantitativo o característica obligatoria. Sus objetivos son:

- Medir el estado
- Evaluar el rendimiento
- Comparar el rendimiento

- Identificar fortalezas y debilidades
- Controlar tendencias en el tiempo

La medición y el análisis de estos indicadores pueden ayudar a:

- Establecer objetivos
- Planificar estrategias y acciones
- Divulgar resultados (socializar)

A nivel de sistemas y líneas de producción, los objetivos de mantenimiento se pueden dirigir a algunos factores de rendimiento particulares, identificados mediante análisis previos:

- Mejora de disponibilidad
- Mejorar el costo de mantenimiento
- Mejorar el costo de inventario
- Control de los servicios contratados

A nivel de equipos

- La confiabilidad
- La mantenibilidad (UNE-EN-15341, 2008, p.14).

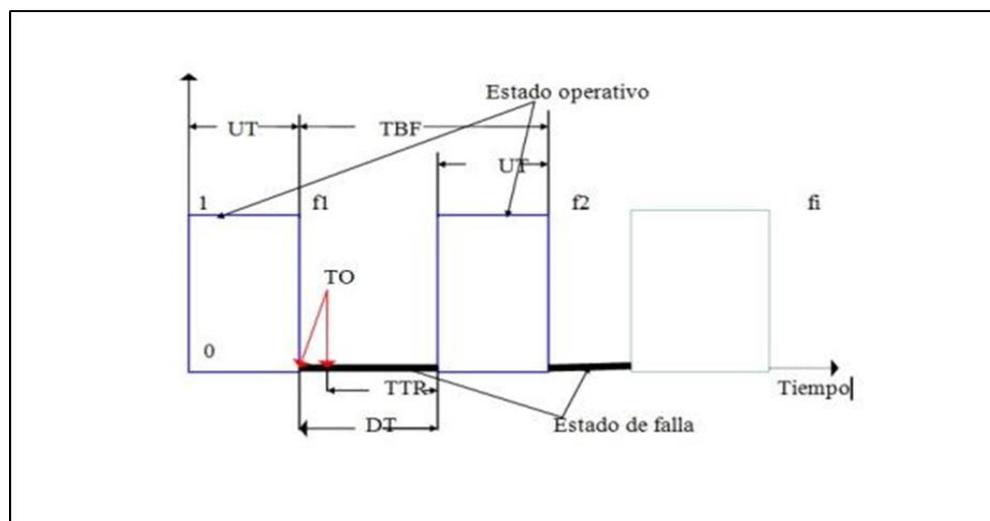


Figura 2-5. Distribución de fallas

Fuente: Parra. 2002.

Dónde:

1 = condición operacional del equipo.

0 = condición no operacional del equipo.

$F_i$  = falla i-ésima

UT = up time o tiempo operativo entre fallas.

TBF = time between failures o tiempo entre fallas.

DT = down time o tiempo no operativo entre fallas.

TTR = time to repair o tiempo necesario para reparar.

TO = time out o tiempo fuera de control (tiempo difícil de estimar, se relaciona con la logística del mantenimiento: suplidores, transporte, retrasos, ocio).

Para un número de fallas = n.

Dentro los indicadores más utilizados en la gestión de mantenimiento se encuentran 4 índices:

1. Tiempo medio entre fallas, Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado.

$$\mathbf{MTBF} = \mathbf{\sum TBF} / \mathbf{n} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

2. Tiempo medio de reparación Es la media aritmética de los intervalos de tiempo durante el cual un elemento se encuentra en estado de indisponibilidad a causa de un fallo (*DT* o *TI*)

$$\mathbf{MTTR} = \mathbf{\sum TTR} / \mathbf{n} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

3. Tiempo promedio para la falla. Relación entre el producto del número de ítems (no reparables) por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado.

$$\mathbf{MTTF} = \mathbf{\sum TTF} / \mathbf{n} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

4. **Disponibilidad** de equipos, la cual puede ser inherente u operacional. La confiabilidad operacional se define como la probabilidad de que un equipo funcione satisfactoriamente dentro de su contexto operacional. (NASA. 2000, p, 5-23).

La primera se define con la fórmula:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\% \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Y la segunda como:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \times 100\% \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Dónde  $MDT = MTTR + MTO$

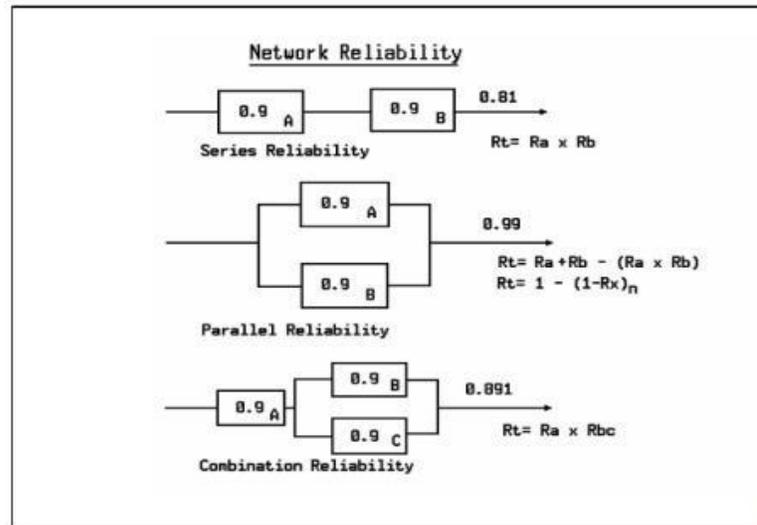


Figura 2-6. Fiabilidad de Sistemas serie-paralelo

Fuente: NASA RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE GUIDE FOR FACILITIES AND COLLATERAL EQUIPMENT, 2008

5. **Fiabilidad:** Es la probabilidad de que un sistema, equipo o componente funcione sin fallos durante un tiempo (t) determinado, en unas condiciones operacionales dadas.

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

Ecuación 2.6

Se puede calcular la fiabilidad de sistemas serie, paralelo o la combinación de los mismos.

### 2.3 Gestión de activos

La Gestión de Activos se define según PAS 55:2008 como “Conjunto de actividades y prácticas coordinadas y sistemáticas por medio de las cuales una organización maneja de manera óptima y sustentable sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgo y gastos a lo largo de sus ciclos de vida, con el fin de lograr su plan estratégico organizacional”. (Pss 55, 2008, p.6)

La PAS 55 está destinada a cubrir la gestión durante el ciclo de vida de los activos, y en particular, de aquellos que son vitales para el propósito de una organización, tales como centrales eléctricas, instalaciones de producción petroquímicas, gas etc. Un sistema de gestión de activos, es por tanto, vital para las organizaciones que dependen de la función y desempeño de sus activos físicos para el suministro de servicios o productos y donde el éxito de las organizaciones está influenciado significativamente por la dirección de estos activos. (Pass 55, 2008, p.8)

La norma **ISO 55000** se incluye los beneficios de la gestión de activos:

- **Mejor desempeño financiero:** se puede lograr la mejora del retorno de las inversiones y la reducción de los costos, mientras se preserva el valor de los activos sin sacrificar la realización de los objetivos organizacionales de corto o largo plazo;
- **Decisiones informadas sobre la inversión de activos:** en base a los costos, riesgos, oportunidades y desempeño.

- **Riesgo gestionado:** la reducción de las pérdidas financieras, la mejora de la salud y seguridad, la buena voluntad y reputación, la reducción de los impactos ambientales y sociales, pueden resultar en la disminución de obligaciones tales como las primas de seguros, las multas y sanciones.
- **Mejores servicios y resultados:** asegurar el desempeño de los activos puede conducir a la mejora de los servicios o productos que, de forma consistente cumplan o exceden las expectativas de los clientes y partes interesadas.
- **Demostración de responsabilidad social:** mejorar la capacidad de la organización para, por ejemplo, reducir las emisiones, conservar los recursos y adaptarse al cambio climático, le permite demostrar prácticas de negocio y de administración socialmente responsables y éticas;
- **Demostración de cumplimiento:** cumplir de forma transparente con requisitos jurídicos, legales y reglamentarios, así como, la adhesión a las normas políticas y procesos de gestión de activos, pueden permitir la demostración de cumplimiento. (Placencia .ISO 55001-2014 P- 7-8)

Se debe recalcar que la gestión de mantenimiento se enmara como parte del ciclo de vida del activo, es decir es parte de la gestión de activos, por lo que no se deben confundir las dos definiciones y tener claro los conceptos enunciados.

## 2.4 Modelo Óptimo de Gestión de Mantenimiento

Un análisis del modelo óptimo de la Gestión de Mantenimiento, puede partir de los conceptos de RCM (Mantenimiento Centrado en la confiabilidad) y PMO (Optimización del Mantenimiento planificado), y una posible aplicación del TPM (Mantenimiento productivo Total) y teniendo como directriz el Plan estratégico del departamento de Mantenimiento de Petroamazonas Ep.

Una metodología de estadística, registros adecuados y el buen manejo del mantenimiento preventivo (PM) son el fundamento primordial a los modelos mencionados, buscando determinar el comportamiento de los equipos y su frecuencia óptima de intervención necesaria para lograr el mínimo costo total de mantenimiento, esto se logra aprovechando las

ventajas del Sistema informático de gestión (EAM Máximo Oil&Gas), utilizado en la organización, el cual permite el ingreso de los registros de falla, tiempos de down time, horómetros, y toda la información necesaria para cumplir con los objetivos departamentales.



Figura 2-7. Modelo de gestión de activos según PAS 55

Fuente: Placencia 2014 Pas 55

#### 2.4.1 RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad)

RCM. (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica o metodología más, para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas.

EL RCM se define de la siguiente forma:

“ Filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de

mantenimiento en función de la criticidad de los activos, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al medio ambiente y a las operaciones ”.

En otras palabras el RCM, es una metodología que permite identificar estrategias efectivas de mantenimiento que permitan garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción. (Parra, 2002, p.7)

RCM es un proceso continuo que analiza los indicadores de desempeño de los sistemas operativos y utiliza estos datos para mejorar el diseño del activo y optimizar las tareas de mantenimiento. Esta estrategia de mantenimiento, en lugar de ser aplicada de forma independiente, se integra para aprovechar sus respectivas fortalezas con el fin de optimizar las instalaciones y la operatividad de los equipos, la eficiencia y reducir al mínimo los costes del ciclo de vida del activo (NASA. 2000, p, 1-1).

Para empezar a realizar un análisis de RCM, se plantean las siete preguntas básicas que son:

1. Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño del activo en su contexto operacional actual? (Identificar funciones y contexto operacional)
2. En qué formas falla el activo, dejando de cumplir sus funciones? (Fallo Funcional)
- 3.Cuál es la causa de cada fallo funcional? (Modos de Fallo)
4. Qué pasa cuando ocurre cada fallo? (Efectos de Fallo)
5. Qué importancia tiene cada fallo? (Consecuencias del Fallo)
6. Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada fallo? (Tareas preventivas; sustituir o restauración programada)
7. Qué debe hacerse si no puede encontrarse una tarea proactiva adecuada? (Tareas alternativas). (Sexto, 2014, p.6)

La aplicación del RCM plantea varios elementos como son:

- Cuáles son los activos físicos que se benefician de la metodología RCM y de qué forma lo harán.
- Evaluar los recursos requeridos para la aplicación del proceso.

- Si los beneficios justifican la inversión decidir quiénes auditarán y realizarán el proceso con la debida capacitación.
- Asegurar que el contexto operacional de cada activo físico este muy bien comprendido. (Moubray, 2004 p.17).

El RCM tiene numerosas ventajas en cuanto al aumento de la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria; las más importantes son:

- La optimización de la confiabilidad operacional, maximiza la disponibilidad y/o mejora la Mantenibilidad de las plantas y sus activos.
- La fomentación del trabajo en equipo (convirtiéndolo en algo rutinario).
- El incremento de la seguridad, salud y la protección ambiental.
- La capacidad de involucrar a todo el personal que tiene que ver con el mantenimiento en la organización (desde la alta gerencia hasta los trabajadores de planta).
- Mejoras en la producción.
- Reducción de los presupuestos del departamento de mantenimiento.
- Incremento de la vida útil de los activos.
- La capacidad de facilitar el proceso de normalización a través del establecimiento de procedimientos de trabajo y de registro (Moubray, 2004 p.19-21).

Las siguientes son algunas acciones que se pueden diferenciar dentro del RCM:

- Acción correctiva: la reparación o reemplazo sobre las fallas. El costo de control o detección de fallas excede los beneficios.
- Acción preventiva: la reparación o reemplazo sobre tiempos o ciclos.
- Acción predictiva: el uso de condiciones de monitoreo para detectar fácilmente etapas de falla. Reemplazo o reparación sobre condición.

Tabla 2-1: Beneficios del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Calidad	Tipo de Servicio	Costo	Tiempo	Riesgo
Aumento de la disponibilidad en un 80%	Proporciona un mejor clima organizacional para el trabajo en equipo.	Reduce los niveles de mantenimiento al menos en un 40%.	Mejora los tiempos medios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad al menos en un 25%. Aumenta los tiempos medios de funcionalidad del equipo al menos en un 150%.	Brinda seguridad e integridad ambiental en todo el desarrollo del proceso. Las fallas con consecuencias al ambiente o la seguridad son las más se atacan y eliminan.
Elimina las fallas crónicas y las causas raíces.	Disminuye las paradas imprevistas.	Optimiza los programas de mantenimiento.	Reduce o elimina tiempos de demora en repuestos y consumibles	Reduce al mínimo las fallas en cadena o superpuestas.
Aumenta la flexibilidad operacional	Genera un ambiente de investigación y desarrollo alrededor del análisis de fallas	Reduce los costos de mantenimiento al menos en un 40%.	Prioriza actividades de mantenimiento, reduciendo tiempos de intervención.	Su razón de calificación al riesgo la hace como una de las tácticas más seguras.
La programación de mantenimiento se basa en hechos reales		Alarga la vida útil de los equipos		
Proporciona completo conocimiento de las fallas reales y no reales, así como sus causas		Todas las actividades se analizan en un contexto de costo/beneficio.		

Fuente: Mora 2009

Realizado por M Villacís, 2015

#### **2.4.2 El PMO (Optimización del Mantenimiento Planificado)**

Es un método basado en los principios de RCM (Mantenimiento Centrado en la confiabilidad), a fin de racionalizar los programas existentes de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación. La teoría básica del PMO parte del análisis del ciclo reactivo de mantenimiento. (Valderrama, 2010, p.19)



Figura 2-8. Ciclo Vicioso del Mantenimiento Reactivo

Fuente OMCS Internacional 2010

El PMO como metodología de mantenimiento requiere de un cierto número de pasos, bases, fundamentos, entre otros, como cualquier otra metodología que se implementa en el ámbito industrial, en donde se pretende retomar la propuesta de mantenimiento PMO como una opción alternativa, donde no se implementa adecuadamente el RCM por su complejidad en su ejecución y su alto costo, el PMO pretende generar mayor confiabilidad, mantenibilidad y reducción de las horas necesarias para atender la demanda de mantenimiento.

El único medio de acercarse a la definición de un programa de mantenimiento es en un principio utilizar RCM, sin embargo este es una herramienta que se diseña para su uso en la fase de diseño del equipo de ciclo de vida y no para su uso cuando el equipo ya está en uso (Turner, 2009.p.8).

Los requerimientos del mantenimiento preventivo (PM), muchas veces exceden los recursos asignados, se disminuyen las tareas, ocurren fallas prevenibles y se ocupan más horas hombre en mantenimiento reactivo, se improvisan reparaciones temporales desperdiciando recursos en trabajos acumulados. (Turner, 2009.p.4).

### 2.4.3 Características de la Metodología PMO

El PMO:

- Analiza el programa de mantenimiento actual o anterior
- Realiza los Análisis de Funcionalidad
- Genera una base de datos de los modos de falla
- Escoge el método más eficaz de mantenimiento
- Se basa en la experiencia del personal de planta
- Usa el diagrama de decisiones del RCM
- Reconoce la importancia de las funciones del activo
- Diseña de un marco de trabajo racional y rentable
- Establece la adecuada asignación de recursos.
- Se reconocen y resuelven los problemas con la información exacta
- Se logra un efectivo uso de los recursos
- Se mejora la productividad de los operarios y del personal de mantenimiento
- Se adapta a las situaciones y a los objetivos específicos de cada cliente
- La optimización del PM motiva al personal. (Palencia, 2007. p13-p14).

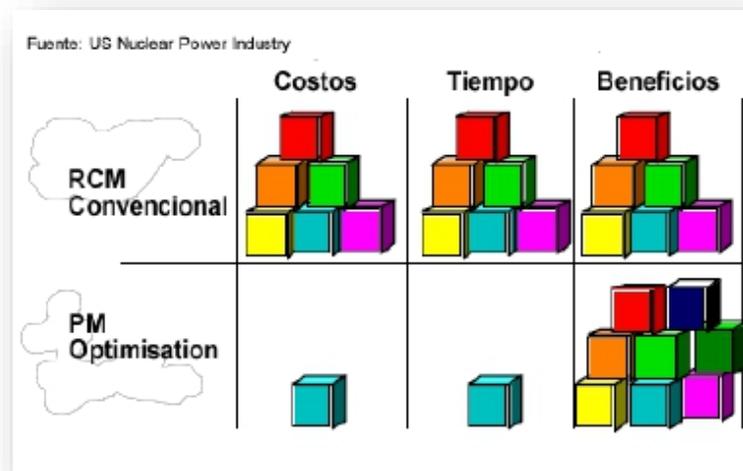


Figura 2-9. Relación costo-tiempo-beneficio del RCM y PMO.

Fuente: US Nuclear Power Industry, 2009

Algunos beneficios de la implementación son:

- Se incrementa la disponibilidad de los equipos
- Reducción de horas hombre
- Se implementa en una sexta parte del tiempo que el RCM, inicia con el programa de mantenimiento, el historial de fallas e información técnica.

#### 2.4.4 Diferencias entre RCM y PMO

RCM y PMO son dos tácticas completamente diferentes con el mismo objetivo; Definir los requerimientos de mantenimiento de los activos. Sin embargo se debe entender que están diseñados para ser utilizados en situaciones totalmente diferentes. RCM fue diseñado para desarrollar el programa inicial del mantenimiento durante la etapa de diseño del ciclo de vida de los activos, mientras que PMO ha sido diseñado para usarlo una vez los activos están en uso.



Figura 2-10. Resultados del RCM y PMO.

Fuente: OMCS Internacional. 2009

Como resultado PMO es un método de revisión mientras que RCM es un proceso de fundación. A pesar de que los dos generan el mismo programa de mantenimiento, PMO es un análisis mucho más efectivo y flexible que RCM, ya que inicia el trabajo desde un programa de mantenimiento razonablemente bueno y toma en cuenta la experiencia de operación y las características de falla de la planta.

La diferencia central metodológica entre RCM y PMO radica en la forma en que se generan los modos de falla. Figura 2-10.

RCM genera una lista de los modos de falla desde un riguroso análisis de todas las funciones, después de considerar todas las posibles fallas funcionales y de una valoración de los modos de falla que se relacionan a de falla en cada equipo del sistema a analizar. (Turner, 2009.p.21)

PMO genera una lista de modos de falla desde el plan de mantenimiento actual, de una evaluación del historial de fallas y de la revisión de documentación técnica.

El PMO se enfoca en el régimen de mantenimiento existente, pero el RCM encuentra un amplio espacio en la estrategia de desarrollo del mantenimiento en la instalación de equipos nuevos, donde las recomendaciones del vendedor necesitan ser revisadas antes de ser desplegadas. (Turner, 2009.p.22)

La estrategia tradicional de mantenimiento de muchas plantas, parte de la creación de las tareas de mantenimiento, aumento injustificado de las frecuencias de intervención, se duplican las actividades, se crean lo que se denominan tareas innecesarias; los requerimientos de mantenimiento preventivo exceden los recursos disponibles, el mantenimiento correctivo consume más horas hombre de las necesarias, se desperdician más recursos, y la pérdida de otros factores que son de vital importancia para el área de mantenimiento.

#### **2.4.5 Pasos el PMO**

### 2.4.5.1. Recopilación de tareas

Consiste en la recolección o documentación de los planes de mantenimiento existentes, ya sea formal o informal, y los cuales corresponden a una base de datos, dicha tarea la realizan un grupo numeroso de personas, incluyendo a los operadores y personal de mantenimiento.

### 2.4.5.2 Análisis de modo de falla y sus Efectos (AMEF)

Tanto para el RCM como para el PMO, es necesario realizar el Análisis Modal de modos de falla (AMEF), en el mismo se contestan las cuatro primeras preguntas del RCM mencionadas en el numeral 2.4.1 y la última del mismo numeral, es decir debemos analizar las funciones, modos, fallas, causa y efectos, de las fallas dentro del contexto operacional.

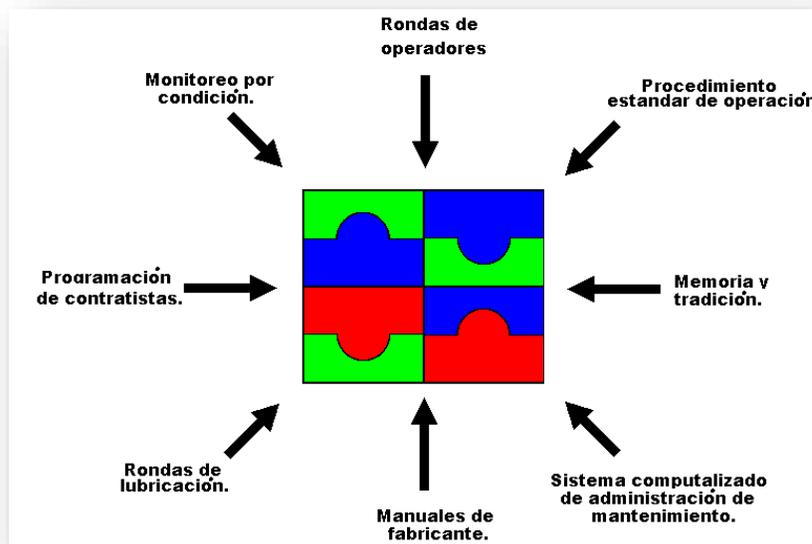


Figura 2-11. Fuentes de información del PMO.

Fuente: OMCS Internacional 2009

El Análisis de modos y Efectos de falla (AMFE) se aplica a cada sistema y subsistema. Para cada función identificada, puede haber múltiples modos de fallo. El AMFE dirige a cada

función del sistema, todos los fallos posibles, y los modos de fallo dominantes asociados con cada falla. El FMEA, a continuación, examina las consecuencias del fallo para determinar qué efecto tiene el fracaso de la función u operación, en el sistema, y en la máquina.

A pesar de que hay varios modos de fallo, a menudo los efectos del falla son iguales o de naturaleza muy similar. Desde una perspectiva de la función del sistema, el resultado de cualquiera de los modos de falla puede resultar en la degradación de la función del sistema.

Sistemas y máquinas similares a menudo tienen los mismos modos de fallo, pero el uso de esta metodología puede determinar las consecuencias de las fallas. Por ejemplo, los modos de fallo de un rodamiento de bolas serán el mismo, independientemente de la máquina, pero el modo de fallo dominar, causa de la falla, y efectos del fracaso cambiarán de una máquina a otra. (NASA. 2000, p, 4-9).

#### *2.4.5.3 Evaluación de consecuencias.*

Los modos de falla se analizan en este paso, con el fin de determinar si los fallos son ocultos o evidentes, en este paso se contesta la quinta pregunta del RCM y se definen que tipo de tareas deben implementarse, para prevenir las fallas.

Una vez que se han determinado las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de cada elemento significativo, el próximo paso es preguntar cómo y cuánto importa cada falla.

Las consecuencias que pueden provocar un modo de falla o una falla múltiple (falla evidente, oculta, impacto en la seguridad, en el ambiente, en la capacidad operacional, en los costos de reparación). (NORMA SAE-JA-1012. Society of Automotive Engineers Inc. Guía para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). 2002, p. 5).

#### *2.4.5.4. Métodos de análisis de fallas y riesgos*

El método de Fine (**William Fine**) es un procedimiento originalmente previsto para el control de los riesgos cuyas medidas usadas para la reducción de los mismos eran de alto coste. Este método probabilístico, permite calcular el grado de peligrosidad de cada riesgo identificado, a través de una fórmula matemática que vincula la probabilidad de ocurrencia, las consecuencias que pueden originarse en caso de ocurrencia del evento y la exposición a dicho riesgo. (Jimenez, 2015. p.1)

Tabla 2-2: Método de WT Fine Modificado

PROBABILIDAD				
OCURRENCIA			EXPOSICIÓN	
Probable	$30 \geq MTBF$ $12$ o más fpa	10	20 - 24 h	10
Ocasional	$90 \geq MTBF > 30$ $4$ a $11$ fpa	8	15 - 20 h	6
Rara	$180 \geq MTBF > 90$ $2$ a $3$ fpa	5	10 - 15 h	3
Remota	$360 > MTBF \geq 180$ DÍAS $1$ fpa	3	5 - 10 h	2
Mínima	$MTBF > 360$ DIAS (menos de una falla por año fpa)	1	< 5 h	1

Fuente: Petroamazonas EP, 2015

La fórmula de la **Magnitud del Riesgo** o **Grado de Peligrosidad** es la siguiente:

$$GP = C \times E \times P$$

En donde:

- Las Consecuencias (C)
- La Exposición (E)
- La Probabilidad (P)

En el método **RPN Relex**, Básicamente el Riesgo se obtiene multiplicando la probabilidad del riesgo que podría ocurrir con el impacto o severidad, previsto del riesgo, en este caso se debería hacer una evaluación para cada riesgo. Carbone y Tippet proponen un método donde

se utilizaría la probabilidad del riesgo multiplicada por el valor del impacto del riesgo, a su vez se multiplicaría a los valores anteriores la detección para cada riesgo.

Tabla 2-3: Método de WT Fine Modificado (Consecuencias)

CONSECUENCIAS						
SEGURIDAD Y SALUD		MEDIO AMBIENTE			MNT	
Muerte	30	Muy significativo	<i>Derrame mayor 5 bbls fuera de locaciones y en cuerpos de agua</i>	30	> USD\$ 500000,00	15
Accidente con pérdida de tiempo	15	Significativo	<i>Derrame mayor 5 bbls fuera de locaciones con contacto en tierra</i>	15	USD\$ 100000,01 – 500000,00	8
Lesión sin pérdida de tiempo	8	Importante	<i>Derrame mayor a 5 bbls dentro de las locaciones</i>	8	USD\$ 50000,01 – 100000,00	4
Incidente	5	Leve	<i>Derrame menor a 5 barriles dentro de las locaciones</i>	5	USD\$ 10000,01 - 50000,00	2
Condición subestándar	2	Insignificante	<i>leak</i>	2	USD\$ 0,00 - 10000,00	1
		<b>Sin Impacto</b>	<i>No aplica</i>	<b>0</b>		

Fuente: Petroamazonas EP, 2015

Las consecuencias pueden dividirse en las que afectan a la Seguridad, Salud y ambiente y específicamente a la producción y equipos de proceso.

Tabla 2-4: Valores propuestos por Carbone y Tippet

### RPN METODO RELEX

DETECCION			SEVERIDAD			OCURRENCIA			RPN	
OCULTA	NO DETECTABLE, SE DETECTA CUANDO ALGO HA FALLADO ANTES	1 0	CATASTRO FE	INCENDIO, MUERTES, DERRAME, PERDIDA TOTAL DE EQUIPO	1 0	OCURRE SIEMPRE	MTBF < 30 DIAS (+12 veces año)	1 0	Intolerable	> 400
	DETECTABLE CON UN ANALISIS ESPECIFICO O Y PARANDO EQUIPO	8								
MEDIANAMENTE PROBABLE DE DETECTAR	DETECTABLE POR UNA INSPECCION PREDICTIVA	5	INCIDENCIA A MEDIA	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	OCURRE MEDIANAMENTE	MTBF 90- 180DIAS( 2 - 4 veces año)	5	Notable	71- 200
PROBABLE DE DETECTAR	DETECTABLE EN UNA INSPECCION DE RUTINA	3	INCIDENCIA A LEVE	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 1000 USD	3	CASI NUNCA OCURRE	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	Moderado	21- 70
EVIDENTE	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	SIN INCIDENCIA	NO AFECTA	1	NUNCA A OCURRIDO	NO HA SUCEDIDO	1	Aceptable	< 20

Fuente: Petroamazonas Ep, 2015

Tabla 2-5: Método de WT Fine Modificado (Consecuencias) parte 2

<b>CONSECUENCIAS</b>
----------------------

PÉRDIDA PROD. TOTAL PLANTA DE PROCESO		PÉRDIDA ENERGÍA PLANTA GENERACIÓN		PÉRDIDAS DE PROD. ISLAS	
80% < ProdT ≤ 100%	25	80% < PE ≤ 100%	25	410 < BPD	25
60% < ProdT ≤ 80%	10	60% < PE ≤ 80%	10	340 < BPD ≤ 410	10
40% < ProdT ≤ 60%	5	40% < PE ≤ 60%	5	270 < BPD ≤ 340	5
20% < ProdT ≤ 40%	3	20% < PE ≤ 40%	3	200 < BPD ≤ 270	3
0% ≤ ProdT ≤ 20%	2	0% ≤ PE ≤ 20%	2	BPD ≤ 200	2
<b>Sin Impacto</b>	<b>0</b>	<b>Sin Impacto</b>	<b>0</b>	<b>Sin Impacto</b>	<b>0</b>

Fuente: Petroamazonas EP, 2015

#### 2.4.5.5 Selección de las Tareas.

La filosofía del mantenimiento moderno se enfoca más el estado de las consecuencias que en los mismos activos en sí, es decir, que en este paso cada modo de falla se analiza bajo los principios del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Las actividades de monitoreo por condición dan señales de aviso cuando los equipos se encuentran en proceso de deterioro, una falla potencial es una condición identificable que indica el momento en que se encuentra en proceso de ocurrencia.

Las tareas por condición usualmente no son intrusivas y pueden realizarse con el equipo en línea, además de económicas, maximizan la vida del activo, se ejecutan independientemente del patrón de falla, sin necesidad de un historial de estas, las técnicas que normalmente se utilizan en las tareas por condición son:

- El uso de los sentidos “Vista, oído, Tacto”

- La calidad del producto “control de procesos estadísticos”
- Uso de equipo especializado (monitoreo por vibración, termografía, ultrasonido, entre otros).

Las tareas deben ser escritas de forma que los ejecutores de dicha tarea puedan llevar a cabo de forma clara la acción, estas tareas son:

- La instrucción
- Los límites aceptables
- Acción a realizar si una condición inaceptable se presenta.
- El uso de palabras como: usar, revisar, inspeccionar.
- Medios de herramienta para ejecutar la tarea.

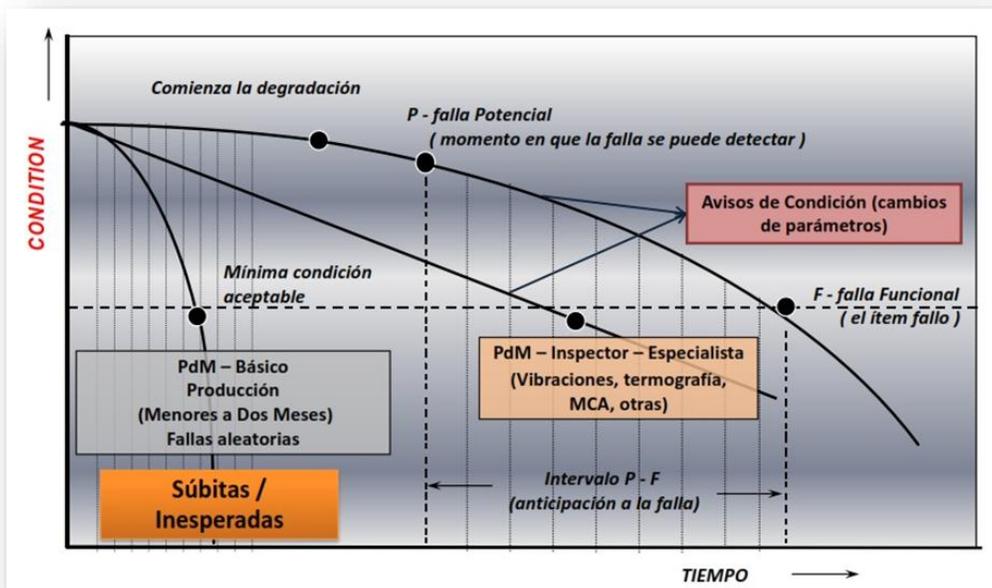


Figura 2-12. Tareas por condición.

Fuente: OMCS Internacional 2009

#### 2.4.5.6. Selección de Tareas Reparación o Cambio

Los intervalos Hard Time se basan en la vida útil de los componentes en el cual la edad y el desgaste son razón primordiales para la toma de decisiones en el cambio o reparación de los equipos. La mayoría de las fallas son aleatorias por naturaleza y no tienen solución en intervalos basados en el tiempo.

Las fallas relacionadas con la edad son comúnmente encontradas bajo condiciones de desgaste directo además de fatiga, corrosión, oxidación, inestabilidad química etc.

#### *2.4.5.7. Selección de tareas por búsqueda de fallas*

Las pruebas enseñan a través de la historia, cual es el riesgo que pueden correr los equipos en una empresa, entre más largo el intervalo entre cada prueba, es más alto el riesgo de múltiples fallas.

- Reemplazo o reparación programada (mantenimiento preventivo)
- Llevar la falla donde la falla son aleatorias e impredecibles y el costo del mantenimiento planeado es mayor que el costo de la falla.

#### *2.4.5.8 Agrupación y revisión.*

Delega las funciones del *PM* a las personas más calificadas, es decir, reasigna las labores o las necesidades de mantenimiento que se encuentran en el paso seis a las personas más idóneas, todo esto con el fin de lograr una buena administración del mantenimiento (eficaz y productiva).

El *PMO* presenta grandes similitudes con el *RCM*, dando pie a pensar que su implementación en la industria sea viable, confiable y medible; además de presentar ciertas ventajas respecto a este como los son:

- La rápida implementación con la que se desarrolla, ya que esta consta de una serie de pasos sencillos de ejecutar en la industria.
- El bajo costo de implementación, ya que esta metodología solo evalúa los parámetros y necesidades más críticas en la industria.

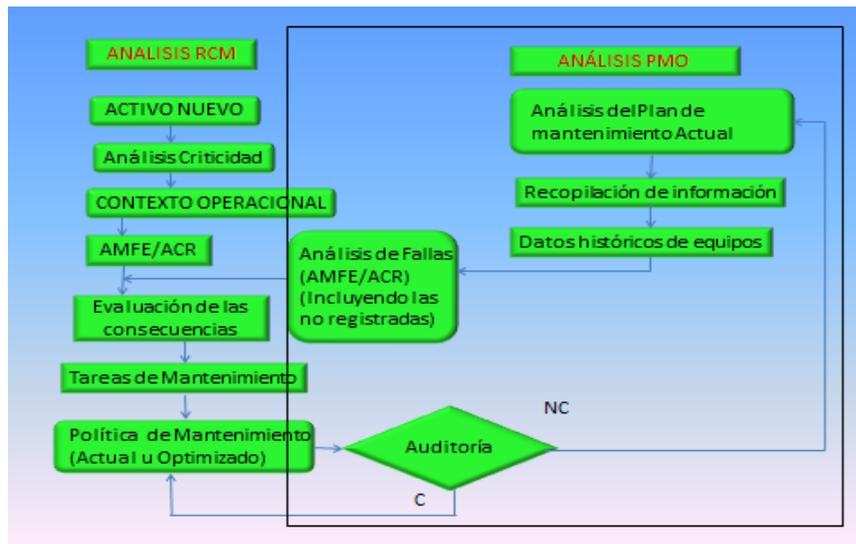


Figura 2-13. Flujo del Proceso del *PMO*.

Realizado por: Milton Villacís, 2015

Las similitudes y ventajas frente al mantenimiento centrado en la confiabilidad hacen de la optimización del mantenimiento planeado una metodología que debe de ser revisada para encontrar una estructura comparable como una táctica de mantenimiento.

#### 2.4.5.9 Aprobación e Implementación

La filosofía moderna de mantenimiento se basa en la premisa que los programas de mantenimiento exitosos se enfocan más en las consecuencias de las fallas que en los activos en sí. En este paso cada modo de falla es analizado bajo los principios de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM y establece las políticas nuevas o revisadas de Mantenimiento haciendo evidente lo siguiente:

- Los planes de trabajo (Job Plan), del programa actual de mantenimiento que son costo efectivo con valor agregado y los que no lo son, estos últimos deben eliminarse.
- Que tareas serían más efectivas y menos costosas si fueran basadas en condición, en lugar de llevarlas a falla y viceversa

- Que tareas no aportan beneficios y deben eliminadas del Job plan
- Que tareas serían más efectivas si se realizan bajo diferentes rutinas
- Que fallas se manejarían mejor por medio del uso de tecnología avanzada
- Qué tipo de información se debe recolectar para predecir mejor el comportamiento del equipo durante su ciclo de vida
- Que fallas se deben eliminar con la ayuda de un análisis causa raíz RCA.

El personal idóneo aprueba la tarea, se decide que más se necesita para iniciar la implementación de las recomendaciones y completar el proceso.

El programa de mantenimiento asegura que se revise y se complete a tiempo, revisar las fallas de los equipos y adoptar las herramientas de ingeniería de confiabilidad apropiadas para acelerar la tasa de mejoramiento.

La aprobación e implementación de la tarea es importante, cada una de estas tiene una justificación y la descripción, en caso de que haya una modificación. Cada tarea debe ser autorizada y el software tiene diferentes niveles de autoridad con el fin de que esta información ofrezca utilidad en el futuro, aquí la tarea es aprobada o rechazada, menciona la fecha en que se realiza, ofrece por último una evaluación de consecuencias (Turner, 2009. p.8)

#### ***2.4.6 Equipos Críticos***

La optimización de mantenimiento planeado se basa en la criticidad del equipo o ranking, dicho elemento se puede obtener revisando la priorización de los planes de mantenimiento, filtrando o subdividiendo la información por sistemas y/o equipos para su análisis, una vez que se determinan los equipos críticos, se dirige el enfoque hacia el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización.

Un equipo crítico es todo aquel equipo que refleje de alguna manera un aspecto negativo en:

Seguridad y medio ambiente.

Costos y producción de planta.

Costos de Reparación

En términos de SSA (Seguridad, Salud y ambiente), producción y costos. La metodología a aplicar es el análisis de criticidad semi-cuantitativo, bajo modelo de la Norma Norsok Z-008, la cual direcciona los criterios a utilizar en la clasificación de criticidades de activos industriales. Esta herramienta permite estimar el impacto económico asociado a una falla, a la vez de establecer un orden jerárquico de un conjunto de ellas. Su origen es de la Industria Petrolera Noruega con muy buenos resultados. (Norsok Estándar Anexo A Z-CR-008,p.6)

#### ***2.4.7 Ventajas de la Implementación de la Metodología***

- RCM analiza todos los modos de falla, los modos de falla insignificantes no son analizados por PMO.
- Usando la metodología PMO, se asocian varios modos de falla para su análisis en conjunto, mientras que en el RCM se analizan cada modo de falla por separado.
- El análisis detallado de las funciones, con PMO es un paso opcional. La función del equipo se determina con el análisis de la consecuencia de falla, ya que la pérdida de función, es consecuencia de cualquier falla.

Los modos de falla de un equipo se determinan según el tipo de equipo y su forma de operación, en donde priman tres categorías principales:

- La probabilidad de que ocurra el suceso (falla).
- Las consecuencias que se generan cuando ocurre la falla.
- La viabilidad y practicidad de prevenirlos.

Tabla 2-4: Consideraciones requeridas

para el análisis de modos de fallo

Likelihood	Consequences	PM Feasibility
High	Hazard	Feasible
Medium	High Cost	Not Feasible
Low	Low Cost	

Fuente: OMCS Internacional 2009

Para el análisis nos enfocamos en las áreas grises de la tabla, esto representa la minoría de fallas ya que en el diseño de los equipos ya se minimiza la probabilidad de ocurrencia de fallas peligrosas o catastróficas.

Tabla 2-5: Forma de análisis de modos de fallos de RCM y de PMO.

RCM		
Función	Falla Funcional	Modo de falla
Proveer 20 HP de potencia al motor para que el ventilador corra a 200 rpm	Falta de potencia	Desgaste de engranaje
	Falta de potencia	Fatiga de engranaje
	Falta de potencia	falla de acople por desgaste
	Falta de potencia	Desgaste de rodamiento
Asegurar la caja de engranaje a la cimentación	Pernos flojos en caja de engranajes	Alta vibración de caja de engranajes
PMO		
Tarea	Modo de falla analizado	
Análisis de vibraciones en caja de engranajes	Desgaste de engranaje, Fatiga de engranaje, falla de acople por desgaste, Desgaste de rodamiento, Alta vibración de caja de engranajes	

Fuente: OMCS Internacional 2009

Realizado por: M Villacís, 2015

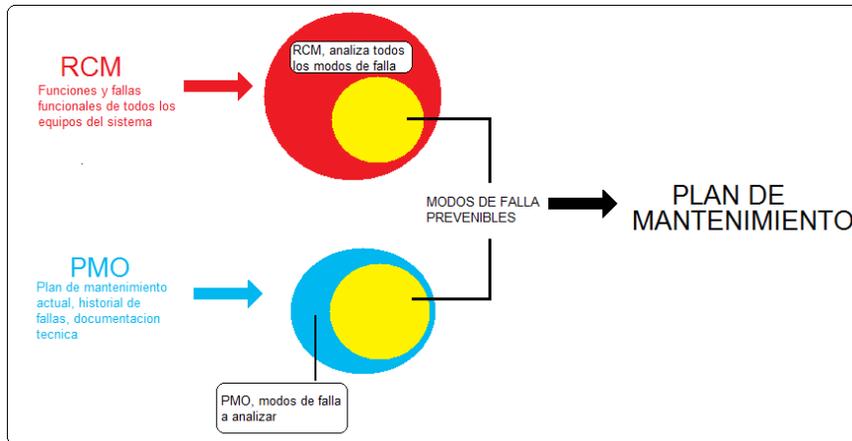


Figura 2-14. Creación de un plan de mantenimiento desde RCM y PMO.

Fuente: OMCS Internacional.2009

El *PMO* filtra los modos de falla para eliminar tiempos improductivos como los que tiene el RCM.

Los modos de fallos son más concretos en la metodología *PMO*, en donde se reflejan directamente en el plan de mantenimiento que se crea a partir del análisis de los equipos.

## 2.5 Mantenimiento Productivo Total

El TPM se orienta a crear un sistema de Gestión corporativo que maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo un sistema que previene las pérdidas en todas las operaciones de la empresa. Esto incluye “cero accidentes, cero defectos y cero fallos” en todo el ciclo de vida del sistema productivo. Se aplica en todos los sectores, incluyendo producción, desarrollo y departamentos administrativos. Se apoya en la participación de todos los empleados de la empresa, desde la alta dirección hasta los niveles operativos. La obtención de cero pérdidas se logra a través del trabajo de pequeños grupos de trabajo. (Sexto. 2014, p.13).

Se fundamenta en ocho pilares siguientes:

- Mantenimiento autónomo

- Mejora Focalizada
- Mantenimiento planeado
- Mejoramiento para la calidad
- Control inicial
- TPM en los departamentos de apoyo
- Capacitación
- Seguridad higiene y medio ambiente

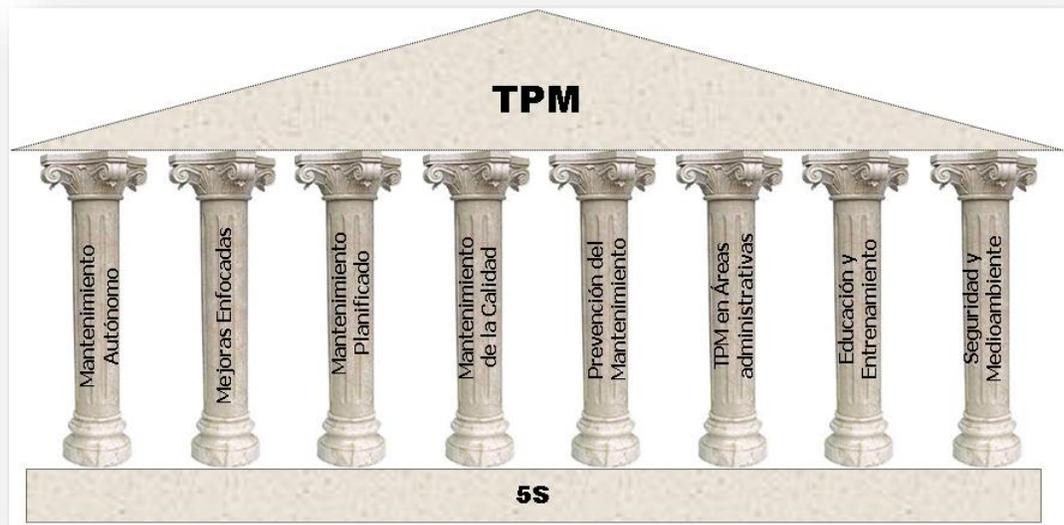


Figura 2-15. Pilares del TPM

Fuente: IM&C Internacional 2006

Estos 8 pilares a su vez se soportan en la filosofía de las 5S. Las 5S es una herramienta que fue desarrollada como programa en Toyota para conseguir mejoras desde el punto de vista del producto pero especialmente con la calidad de vida de los empleados en todos los niveles, además de aumentar la motivación del personal y su sentido de pertenencia. Su nombre deriva de 5 palabras que inician con S y que son:

1. Seiri: Organización / Separar innecesarios
2. Seiton: Orden / Situar necesarios
3. Seiso: Limpieza / Suprimir suciedad
4. Seiketsu: Mantener la limpieza, estandarización o señalar anomalías

## 5. Shitsuke: Disciplina o seguir mejorando

Más que la de imple traducción las 5S deberán llegar a ser parte de la cultura de la organización.

El TPM busca:

- Maximizar la eficacia del equipo.
- Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo para toda la vida del equipo.
- Involucrar activamente a todos los empleados, desde la alta dirección hasta los operadores de la planta
- Promover el TPM a través de motivación, con actividades autónomas de pequeños grupos
- Lograr cero averías, cero accidentes, cero pérdidas. (AICEM, 2014. p.22, p-25)

De los ocho pilares fundamentales del TPM se encuentra el mantenimiento autónomo el mismo que consta de 7 pasos y que básicamente consiste en el empoderamiento de los operadores sobre las máquinas y/o equipos. Cada operario aprende a diagnosticar y prevenir fallas eventuales en el equipo a su cargo, de modo de prolongar la vida útil del mismo. No se trata de que el operador asuma las funciones del técnico de mantenimiento, sino que cada uno cuide y conozca el equipo, ya que quien mejor que los operadores para reconocer alguna variación de parámetros de funcionamiento del mismo, por lo tanto ellos se hacen cargo de tareas de mantenimiento de los equipos. (Torres, 2005. p.182).

Los siete pasos del mantenimiento autónomo se resumen en:

1. Limpieza inicial (De polvo, grasa, fluidos etc.)
2. Eliminación de las fuentes de contaminación
3. Preparar procedimientos estándar de limpieza y lubricación
4. Inspecciones Generales (Check list de ayuda)
5. Inspecciones autónomas (Check list de ayuda)
6. Organización
7. Administración autónoma de las actividades

Los operadores de planta se dedican a realizar tareas menores como lubricación, limpieza e inspecciones visuales, en algunos casos como en las centrales eléctricas el registro de parámetros, que ayudan al mantenedor a realizar diagnósticos tempranos de un problema o de una falla potencial.

## **CAPITULO III**

### **3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Recopilación de Datos de mantenimiento y operaciones**

- Se recopila toda la información técnica, tanto de los grupos electrógenos, como de los sistemas auxiliares, dicha información principalmente consta de los manuales de operación y manuales de servicio o de mantenimiento.
- Se obtiene información del sistema de gestión de mantenimiento Máximo Oil&Gas, respecto a las órdenes de trabajo, horas de operación, tiempos de down time, planes y rutinas de mantenimiento, overhauls, de todos los equipos objeto de análisis.
- Se recopilan datos estadísticos de los archivos físicos (bitácoras) y digitales del personal de operaciones de la Central de generación Cuyabeno.
- Se revisa la información del departamento de operaciones sobre la evaluación de pérdidas de producción y costos asociados a la misma.
- Se consultan datos sobre costo de los activos de la central, año de adquisición, y movimientos.

#### **3.2 Población**

La población objeto de nuestro trabajo de investigación son los siete grupos electrógenos de a Central de generación Cuyabeno con los pozos productores del Pad Cuyabeno C, los cuales como se explicó en el capítulo 1 son alimentados directamente desde la central de generación Cuyabeno, por ser una población pequeña se trabajará totalmente con ella.

La central de generación Cuyabeno, como ya se indicó en el capítulo uno, dispone de siete grupos electrógenos de las características indicadas en la tabla 3-1, adicional dispone de sus sistemas auxiliares, como de transmisión de potencia, sistema de combustible, sistema de

control, el sistema de enfriamiento están dentro del patín, o incluidos en el conjunto del grupo electrógeno, así como el motor a combustión el generador (alternador) y el tablero de control, estos se muestran como subsistemas en la figura 3-1.

Tabla 3-1: Características técnicas de los grupos electrógenos Caterpillar 3412C

Características	Valor
Voltaje	480 V
Corriente	953 A
Potencia	635 KW
Frecuencia	60 Hz
Factor de Potencia	0,8
Fabricante	Caterpillar
Frame	595
Velocidad	1800 RPM
Modelo	3412C

Fuente: Central de generación Cuyabeno  
Realizado por: M Villacís, 2015

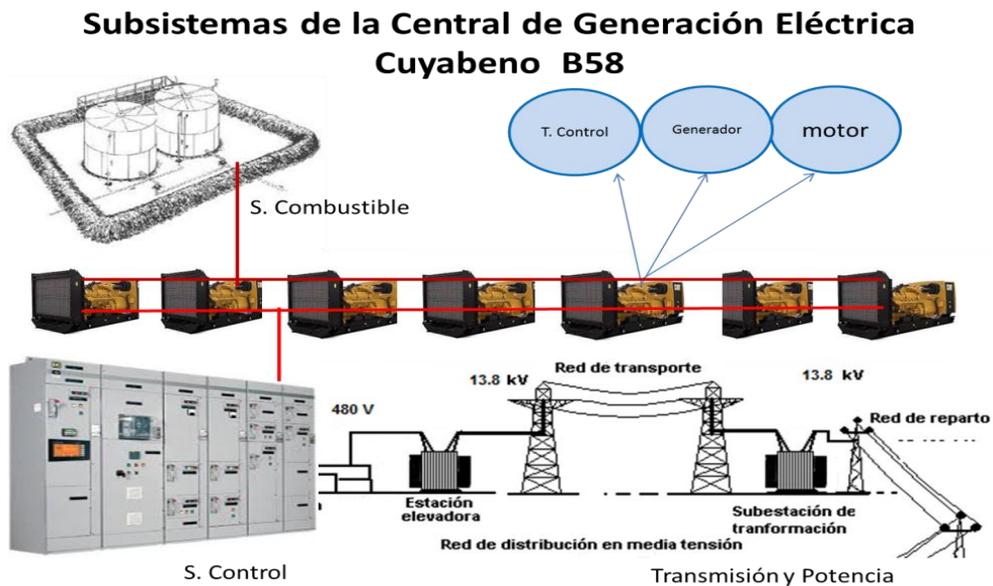


Figura 3-1. Subsistemas de la central de Generación eléctrica Cuyabeno B58

Fuente: Central de generación Cuyabeno Petroamazonas Ep

### 3.3 Parámetros antes de la aplicación del PMO

#### 3.3.1 Organigrama del Departamento de Mantenimiento

La Gerencia de Mantenimiento de PETROAMAZONAS EP, lleva adelante prácticas eficientes, seguras y sustentables de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, que brinden una óptima funcionalidad, disponibilidad y confiabilidad de los equipos, con personal capacitado, tecnología de punta y respeto por el medio ambiente.

Para lograr los objetivos el departamento de Mantenimiento del Bloque 58 cuenta con una estructura moderna apegada a los estándares internacionales, la misma que se resume en la siguiente figura:

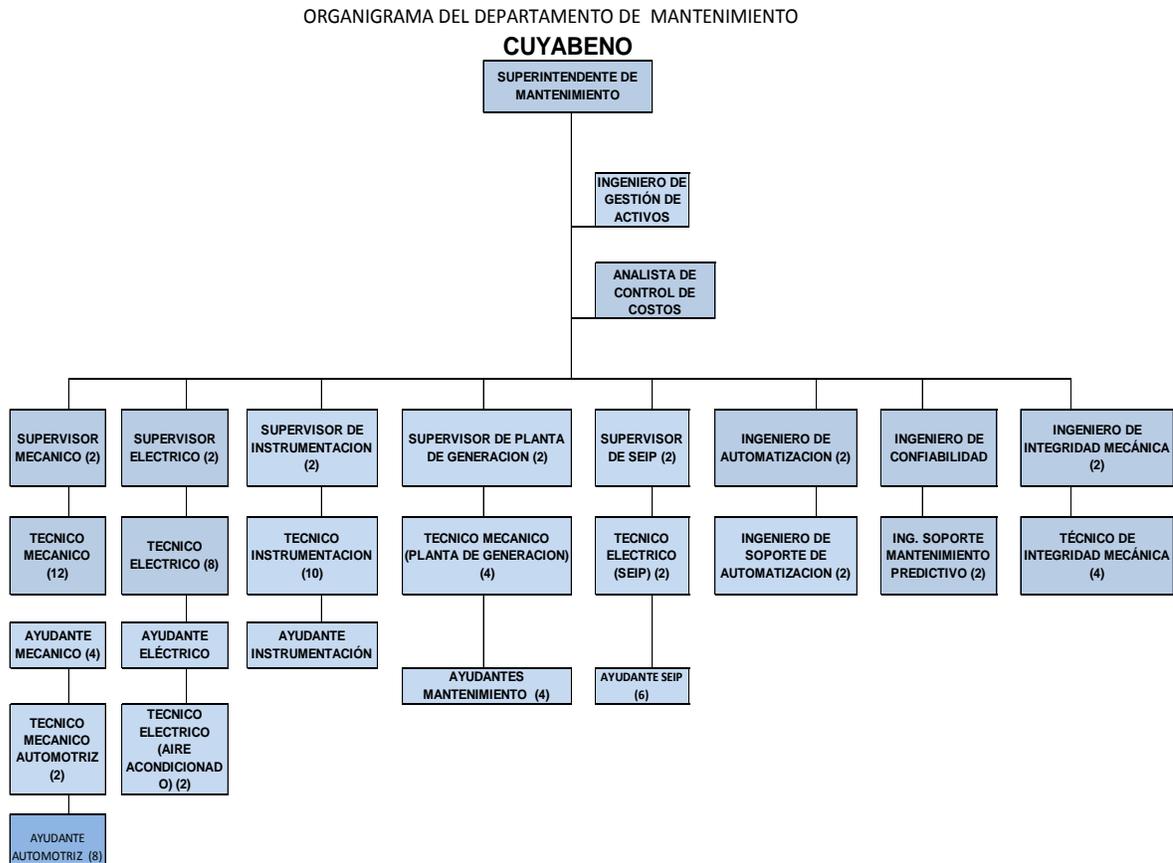


Figura 3-2. Organigrama del Departamento de Mantenimiento del Bloque 58 Petroamazonas EP

Realizado por. Milton Villacís, 2015

Los planes y programas de mantenimiento se procesan en el sistema informático EAM (Enterprise Asset Management) Máximo Oil&Gas, en cuál es un moderno sistema de Gestión de activos empresariales, es un producto de la solución de software producido por IBM y que se utiliza para operar, mantener y disponer de los activos de la empresa.

En el sistema Máximo están definidas tanto las jerarquías y taxonomía de acuerdo a la norma ISO 14224 (Intercambio de datos para la confiabilidad y mantenimiento de equipos de la industria petrolera).

Según la norma mencionada la clasificación se estructura de acuerdo a la pirámide mostrada en la figura 3-4.



Figura 3-3. Beneficios del Sistema Máximo

Fuente: IBM, 2009

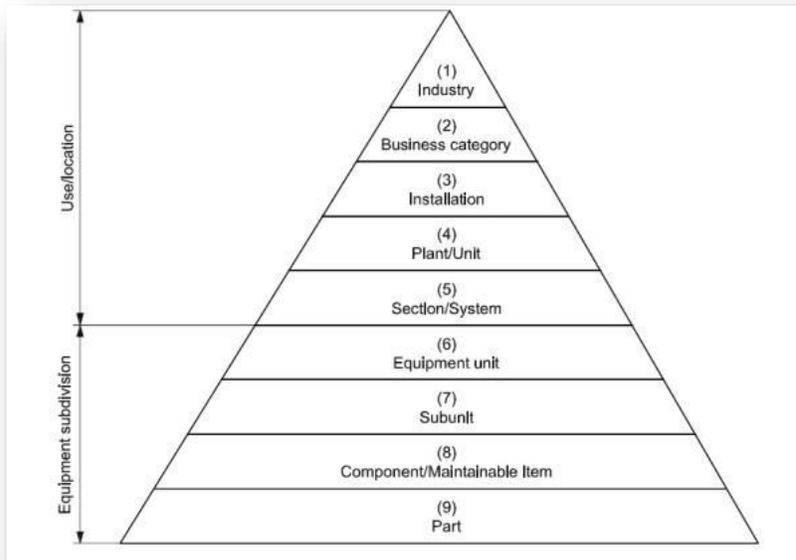


Figura 3-4. Pirámide de taxonomía de locaciones, sistemas, equipos, componente, etc.

Fuente: Iso14224

En el caso de la Central de generación Cuyabeno, la taxonomía se define de la siguiente manera:

1. Industria: P= Petróleo
2. Categoría de negocio: Mantenimiento
3. Instalación: Estación Central
4. Planta/Unidad: Planta de Generación
5. Grupo electrógeno CAT 3412
6. Equipo Padre: Motor
7. Equipo hijo: generador, Tablero de control etc.
8. Componente. Turbo, motor de arranque, alternador, etc
9. Elemento. Rodamiento, cable. Tarjeta electrónica, etc

Esta taxonomía puede variar de acuerdo a la complejidad de los Sistemas y equipos, pero para los grupos electrógenos puede quedar como se ha indicado en la tabla 3-2

Tabla 3-2: Componentes de los grupos electrógenos y sistemas auxiliares

GRUPO ELECTROGENOS	
Equipo	CÓDIGO
MOTOR	MCO
GENERADOR	GG
TABLERO DE CONTROL	CPG
SISTEMA DE FILTRADO	NA
TRANSFORMADOR	XFM
Líneas de Transmisión	NA

Fuente: Máximo Oil&Gas

Realizado por: M Villacís

### 3.3.2 Planes de Mantenimiento

Los planes de mantenimiento se ejecutan a través de la generación de órdenes de trabajo, las mismas que son enviadas por el sistema máximo al supervisor de planta de generación, de acuerdo a la programación prevista y distribuido de acuerdo a la especialidad, incluyendo las tareas de mantenimiento predictivo, de las cuales se encarga en departamento de Confiabilidad con el ingeniero de soporte de mantenimiento predictivo.

En la tabla 3-3 se muestran los planes de los grupos electrógenos, por ser los equipos críticos de la planta y de los sistemas auxiliares que tienen su propio Job Plan. En la tabla indicada se muestran sólo los planes que actualmente se ejecutan. Los nuevos planes se implementarán luego del análisis respectivo, y deberán subirse al sistema Máximo Oil&Gas previa la aprobación de las autoridades respectivas, dentro de los planes indicados pueden existir tareas a ser modificadas, o eliminadas, y en otros casos implementadas para la optimización de dichos planes.

Tabla 3-3: Rutinas de Mantenimiento preventivo de la Central de Generación Cuyabeno

RUTINAS DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS DE LA CENTRAL CUYABENO				
Description	Asset Location	Frec. (hrs)	Equipo	Priority
MCO-MOTOR COMB.(D) 1039 HP; MNTO. 400 HRS	CYP-GEL-SGGN	400	MOTOR	1
MCO- OVERHAUL MOTOR COMB.(D) 1039 HP; MNTO. 18000 HRS	CYP-GEL-SGGN	18000	MOTOR	1
MCO- ADICION ACEITE	CYP-GEL-SGGN	72	MOTOR	2
GG- GENERADOR 635 KW; 2800 HRS	CYP-GEL-SGGN	2800	GENERADOR	1
CPG- TABLERO DE CONTROL; 2160 HRS	CYP-GEL-SGGN	2160	TABLERO DE CONTROL	1
SISTEMAS AUXILIARES				
RUTA CAMBIO DE FILTROS EN SISTEMA FILTRADO	CYP-GEL	30 DIAS	SISTEMA DE FILTRADO	1
XFM-0299 - TRANSFORMADOR 75 KVA; SEMESTRAL	CYP-GEL	6 MESES	TRANSFORMADOR	2
RUTA INSPECCION TERMOGRAFIA SECCIONADORES Y LINEAS DISTRIBUCION	CYP-GEL	6 MESES	Líneas de Transmisión	2
RUTA DE MANTENIMIENTO #1 DE LINEAS ELECTRICAS ENERGIZADAS-CUYABENO-ALIMENTADOR NORTE; BIENAL	CYP-GEL	24 MESES	Líneas de Transmisión	2

Fuente: Máximo Oil&Gas

Realizado por: Milton Villacís,2015

### 3.3.3 Indicadores

Como parte de la gestión de mantenimiento y el plan estratégico empresarial, actualmente se calculan algunos indicadores, de los cuales vamos a analizar los del objeto de la presente investigación.

#### 3.3.3.1. Pérdidas de Producción 2014

Este índice se refiere a las pérdidas de producción asociadas a los eventos de falla de las centrales de Generación o a su vez sistemas de generación aislada, es decir grupos electrógenos o plantas de generación ubicadas en locaciones remotas no centralizadas, que han salido de operación por algún motivo asociado a mantenimiento o falla funcional.

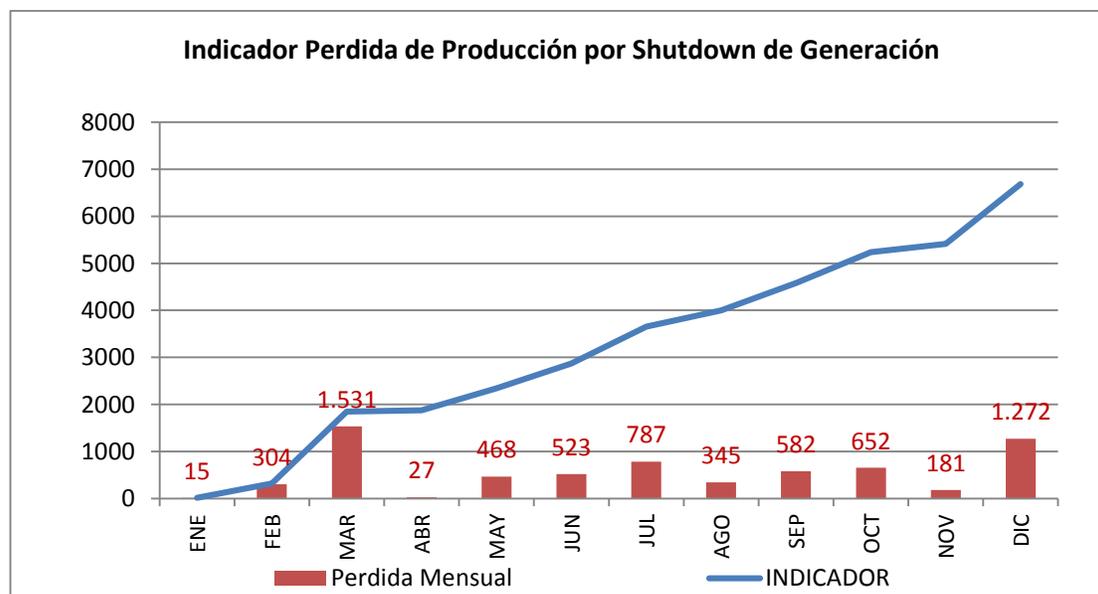


Figura 3-5. Gráfico del Indicador de pérdida de producción por Shutdown de las centrales de generación

Fuente: Petroamazonas Ep, 2015

### 3.3.3.2 Porcentaje de mantenimientos proactivos

Este indicador es igual al número de mantenimientos preventivos de la central de generación Cuyabeno sobre el total de los mantenimientos realizados en el año. Desde la alta dirección se establece un Target del 87%.

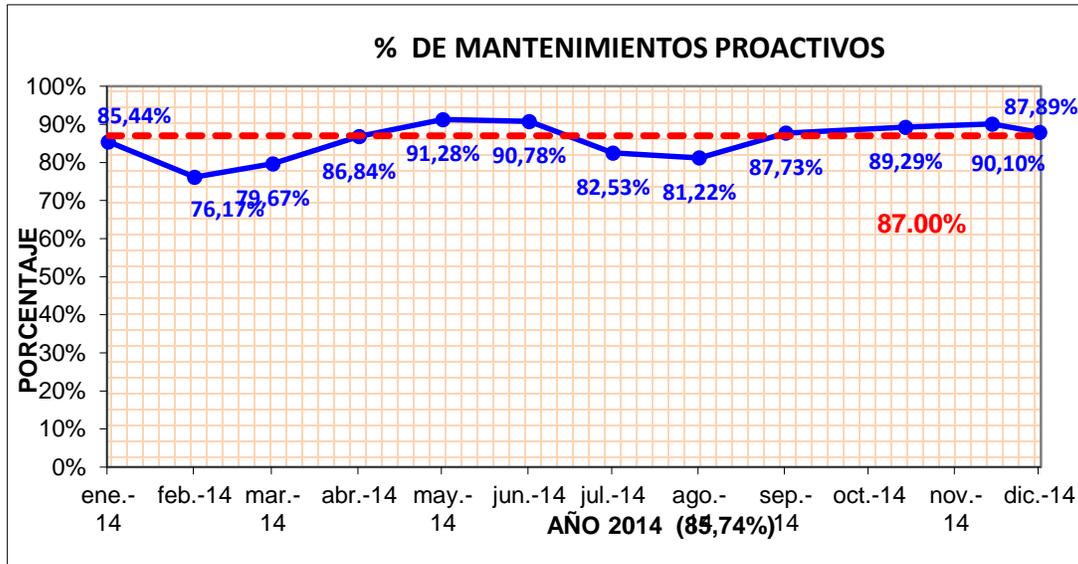


Figura 3-6. Gráfico del Indicador de Mantenimientos Proactivos.

Fuente: Petroamazonas Ep, 2015

La Figura anterior representa al porcentaje de mantenimientos proactivos de todo el bloque 58, sin embargo, en lo referente a la central de generación, el año 2015, en relación a años anteriores, la tasa de mantenimientos correctivos ha bajado considerablemente, sin embargo éste valor puede mejorar.

### 3.3.3.3 Disponibilidad Operativa, MTBF y MTTR

La Disponibilidad se muestra como indicador clave de desempeño, adicional se indican los índices Tiempo medio entre fallas, y tiempo medio de reparaciones para los siete grupos

electrógenos de la central Cuyabeno, estos valores se calculan en base a las fórmulas estudiadas en el capítulo 2 (fórmula: 2.1, 2.2 y 2.4).

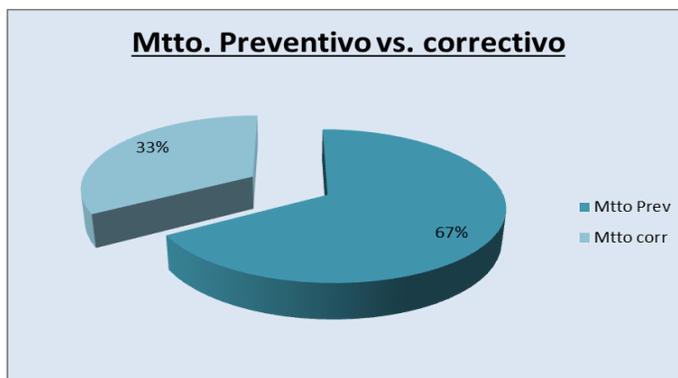


Figura 3-7. Gráfico de Tareas de mantenimiento 2015

Fuente: Petroamazonas Ep, 2015

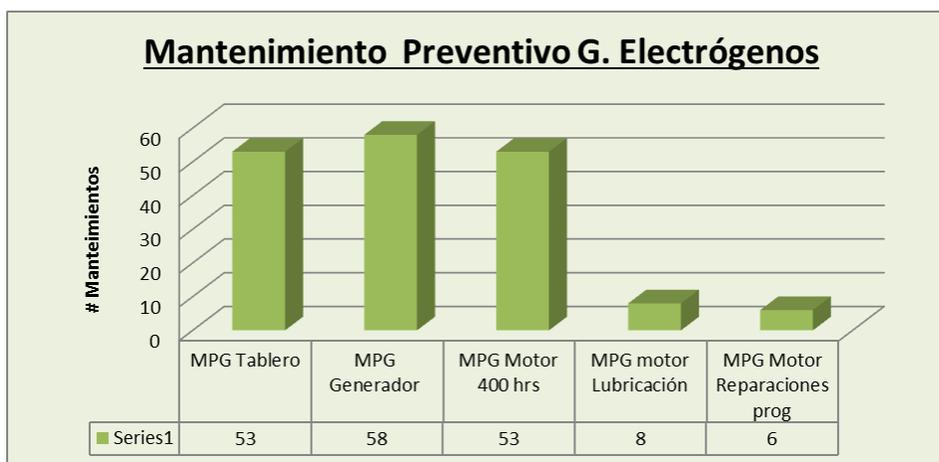


Figura 3-8. Gráfico de Cantidad de Mantenimiento Preventivo 2015

Fuente: Máximo Oil&Gas, 2015

Tabla 3-4: Indicadores Técnicos de Mantenimiento en la Central de Generación Cuyabeno 2014

	HRS. OP	HRS. STOP	HRS. RES	TOTAL	No. Fallas	MTBF	MTRR	DISPONIBILIDAD
G1	5746,08	79,75	2811,67	8640	12	478,84	6,65	98,63%
G2	5905,33	2271,75	462,92	8640	13	454,26	174,75	72,22%
G3	4777,08	3231,25	639,67	8648	5	955,42	646,25	59,65%

G4	4311,25	4039	293,75	8644	7	615,89	577,00	51,63%
G5	8066,58	83,2	494,22	8644	16	504,16	5,20	98,98%
G6	3999,35	3136,5	1504,15	8640	19	210,49	165,08	56,05%
G7	4300,25	4258,75	83	8642	21	204,77	202,80	50,24%

Fuente: Petroamazonas, Ep

Realizado por: Milton Villacís, 2015

### 3.3.3.4 Análisis de Fiabilidad

De los valores obtenidos en la tabla 3-3 se ha realizado un análisis de Fiabilidad para los siete grupos electrógenos, y para el sistema mediante un modelo exponencial.

Los gráficos del siguiente análisis se han realizado para un período de 1000 horas, la primera gráfica nos muestra las curvas de fiabilidad de los siete grupos electrógenos, la segunda curva nos muestra la curva de fiabilidad de todo el sistema en paralelo, es decir la configuración actual de los siete equipos en la central de generación, éste análisis es referencial, pues se pueden tener análisis más detallados, separando los grupos por sus componentes (motor, generador, tablero de control), o más detallado aún.

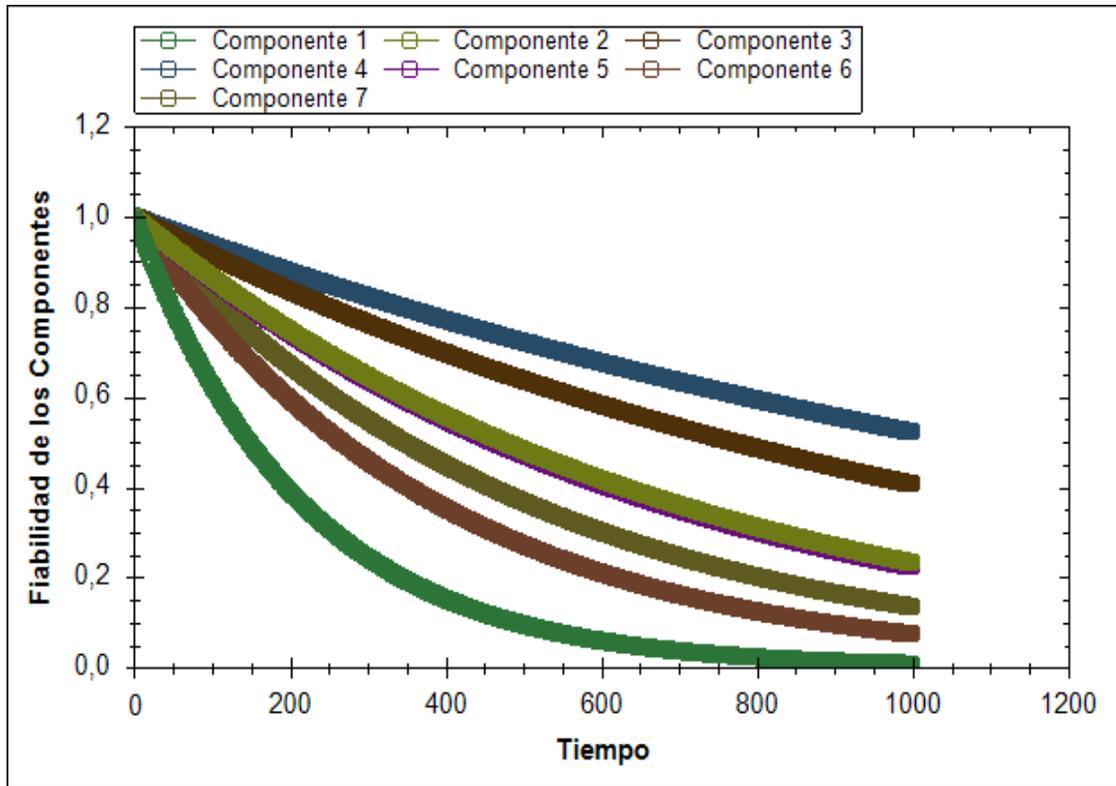


Figura 3-9. Gráfico del Análisis de Fiabilidad de los grupos electrógenos

Realizado por: Milton Villacís, 2015

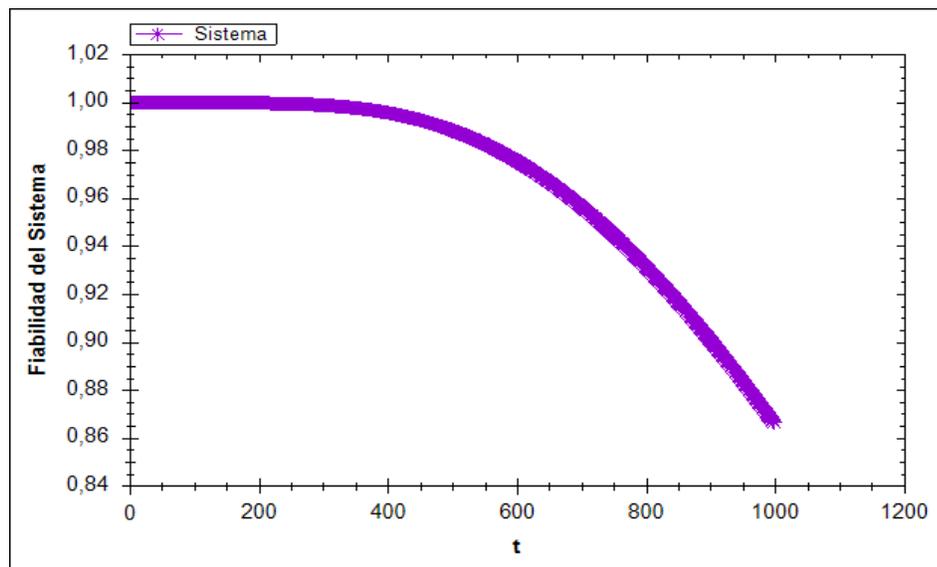


Figura 3-10. Gráfico del Análisis de Fiabilidad total del sistema

Realizado por: Milton Villacís, 2015

### **3.4 Aplicación del PMO en la Central de Generación Cuyabeno**

Para la aplicación de la Metodología del PMO en la Central de Generación Cuyabeno vamos a tener como base la metodología propuesta por Steve Tunner, pero aplicando procedimientos de análisis modal de efectos de falla, ya establecidos en la empresa y se cuenta con un procedimiento basado en métodos y normas ya anteriormente descritas, utilizando el análisis RCM basado en la norma SAE JA1012. Se evaluará la situación actual, para proponer la optimización de tareas, y por ende costos destinados a mejorar los indicadores departamentales y de la organización.

El manejo de información constituye en una empresa el pilar fundamental en la implementación de la táctica de mantenimiento, en pro de la decisión que se toma sea la adecuada se sigue con una secuencia lógica de pasos, para que el manejo de incidentes sea el adecuado y que en un futuro próximo estos puedan ser evitados.

- ¿Qué tareas de mantenimiento se llevan a cabo por parte del personal de mantenimiento y operaciones (recopilación de tareas)?
- ¿Cuáles son los modos de falla asociados a una inspección de la planta (análisis de modos de falla)?
- ¿Qué funciones se perderían si cada modo de falla se presentara de forma inesperada (funciones)?
- ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla (efectos de falla)?
- ¿En qué forma afecta cada falla (consecuencia de falla)?
- ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas y sus intervalos)?
- ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva no previene la falla (acciones por omisión)?

#### **3.4.1 Recopilación de Tareas**

Se han recopilado las de tareas de mantenimiento que están siendo ejecutadas en los equipos a analizar, ya sean formales e informales, se busca reunir toda la información relacionada con todas las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y rutinario que se ejecutan al equipo de estudio además de organizar las tareas de forma adecuada para el análisis indicado.

Los pasos siguientes se han considerado para la recolección de las tareas, las mismas que luego del análisis deben ser optimizadas.

- Las actividades de mantenimiento, formales e informales ejecutadas por el personal de mantenimiento de la planta se recopilan y se someten a análisis.
- Las tareas de mantenimiento realizadas por el personal de operaciones.
- Las tareas de mantenimiento se recopilan en un mismo formato, en un mismo documento.
- Los especialistas en mantenimiento y las frecuencias deben de estar idénticas para cada tarea.
- El tipo de tarea está identificada plenamente.

Tabla 3-5: Identificación de tareas de mantenimiento de los grupos electrógenos de la Central Cuyabeno

COMPONENTE	TAREA	RESPONSABLE	FRECUENCIA
MOTOR	Verificar nivel de aceite y refrigerante	Mecánico	24
	Registro operacional	Operador	24
MOTOR	Cambio de aceite	Mecánico	400
	Cambio de filtros aceite y combustible	Mecánico	400
	Inspección de polea del ventilador	Mecánico	400
	Toma de muestra para análisis de aceite	Mecánico	400
	Inspección de bandas	Mecánico	400
MOTOR	Overhaul	Mecánico	1800
GENERADOR	Ajuste terminales cables de fuerza	Eléctrico	2800
GENERADOR	Lubricación de rodamientos	Mecánico	720
	Limpieza e inspección del generador	Eléctrico	2800

GENERADOR	Prueba de aislamiento de bobinas	Eléctrico	2800
GENERADOR	Mantenimiento mayor generador	Eléctrico	2800
BREAKER PRINCIPAL	Limpieza de componente	Eléctrico	2800
SENSORES	Verificación transmisor temperatura de agua	Instrumentación	2160
	Verificación transmisor de presión de aceite	Instrumentación	2160
	Verificación transmisor de velocidad (pick-up)	Instrumentación	2160
TABLERO DE CONTROL	Calibración indicadores (voltaje, corriente, presión, velocidad, temperatura)	Instrumentación	2160
	Verificar estado de cableado en general	Instrumentación	2160
	Calibración de regulador de voltaje	Instrumentación	2160
	Calibración de regulador de velocidad	Instrumentación	2160
TABLERO DE CONTROL	Limpieza e inspección del regulador de voltaje y regletas de conexión	Instrumentación	2160
CARGADOR DE BATERIAS	Limpieza de contactos	Instrumentación	2160
G. ELECTROGENO	Análisis de vibraciones	Predictivo	720
G. ELECTROGENO	Termografía	Predictivo	800

Fuente : Máximo Oil&Gas

Realizado por: Milton Villacís, 2015

### 3.4.2 *Análisis de Modos, Efectos de Falla y sus Consecuencias (Fmeca)*

El departamento de mantenimiento de Petroamazonas Ep, realiza análisis de modos y efectos de fallas y sus consecuencias, para lo cual dispone de un formato establecido y aprobado por el departamento de control de calidad, que se sustenta en la norma SAE JA1012 el mismo que muestra en el anexo C y su diagrama de decisiones en el anexo B.

Este formato además dispone de una columna en la que se sugiere la nueva tarea a realizar con su respectiva frecuencia, esto nos ayudará a establecer una nueva tarea y optimizar nuestro plan de mantenimiento.

Para la evaluación de los riesgos y las consecuencias el formato se basa en los métodos de William Fine y Relex descritos en el numeral 2.4.5.4. Las fallas en los grupos electrógenos son registradas en un formato ya definido en el departamento de mantenimiento el mismo que se muestra en la tabla 3-7

### 3.4.3 Selección de las Tareas.

Las tareas se crean para dar solución a cada uno de los modos de falla, pueden existir una cantidad de tareas infinitas para cada modo de falla, pero solamente se debe asignar una tarea para cada modo de falla, al elegir se avanza al siguiente modo de falla.

Para entender cómo se llega a la selección de las tareas, se ha diseñado un flujo grama de ayuda, en el cual sigue el diagrama de decisión de la norma SAE JA1012 (anexo B). Así mismo se detallan los tipos de mantenimiento, en los cuales se incluirán las tareas seleccionadas de acuerdo a la matriz FMECA

Los reportes de falla son elaborados en un formato ya establecido, y luego ingresados al sistema informático Máximo Oil&Gas, dicho formato es mostrado en la tabla 3-7. El formato de análisis FMECA establecido en departamento de mantenimiento de Petroamazonas Ep, es mostrado en la tabla 3-8.

Tabla 3-6: Tipos de Mantenimiento

Type	Description	Organization
PMT	MANT. PREVENTIVO POR TIEMPO	PAM
PMP	MANT. PREDICTIVO (INSPECCION-MONITOREO)	PAM
PYT	PROYECTOS	PAM
RRR	REEMPLAZO/REUBICACION	PAM
CMP	MANT. CORRECTIVO DE UN PMT	PAM
CME	MANT. CORRECTIVO DE EMERGENCIA	PAM
PBP	MANT. PREVENTIVO EN BASE A PREDICTIVO	PAM

Fuente: Máximo Oil&Gas. 2015

Relazado por: M Villacés

Hay tres estrategias de mantenimiento para mitigar o eliminar los modos de falla evidentes, estas son:

- Monitoreo por condición (Mantenimiento Predictivo) (PMP)
- Reemplazo o reparación programada (CMP)

- Reemplazo del equipo a falla (RTF)

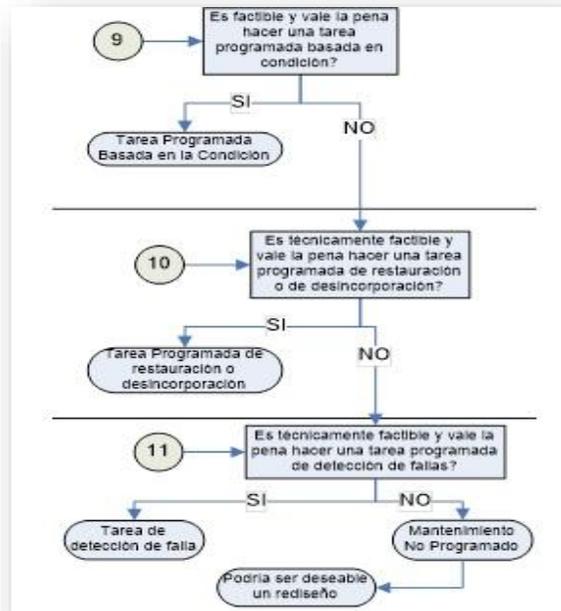


Figura 3-11. Selección de tareas para modos de fallas evidentes.

Fuente: SAE JA1011 Diagrama de decisión

Tabla 3-7: Reporte de Fallas de la central de Generación Cuyabeno

 <b>PETROAMAZONAS EP</b> <i>la nueva era petrolera</i>		REPORTE DE FALLAS DE SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA			
		AREA:	CUYABENO		
		TAG MOTOR:	MCO-0414	TAG GENERADOR:	GG-0205
FECHA (mm/dd/aa):	HORA FUERA DE SERVICIO	HORA QUE ENTRA OPERATIVO	DOWN TIME (HORAS)	CAUSA DE EVENTO DE FALLA	
11/08/2015	0:05	14:00	13:55	RODAMIENTOS Y EJE EN MAL ESTADO DE LA POLEA DEL VENTILADOR	
16/08/2015	21:45	12:05	14:20	ALARMAS AL 10,111,3 Y ANALOG OUT AL LIMITE	
30/09/2015	14:30	14:30	24:00	BAJA PRESION DE ACEITE	
03/10/2015	16:05	18:05	2:00	FILTROS SUCIOS, LIMPIEZA DE FILTROS DE COMBUSTIBLE Y CAMBIO DE FILTRO TRAMPA DE AGUA	
08/10/2015	18:50	18:55	0:05	STOP AUTO ALARMA PWM OUT AL LIMETE RESETEA ALARMA CONTINUA TRABAJANDO RESERVA	
04/11/2015	1:45	2:05	0:20	FALLA ALARMA AL 12	
12/11/2015	23:05	1:35	0:40	ROPTURA DE CAÑERIS DE COMBUSTIBLE	
07/11/2015	22:35	23:50	1:15	BAJO VOLTAJE BATERIA	
16/11/2015	0:10		0:10	ALARMA IN 14GENCON Y EN EL MOTOR 566(7)	
26/10/2015	2:05	2:15	0:10	ALRMAS AL 11 Y ANALOG OUT AL LIMITE	

Fuente : Máximo Oil&Gas

Tabla 3-8: Análisis de las consecuencias de fallas en Sistemas de la Central Cuyabeno

GRUPOS ELECTROGENOS CENTRAL CUYABENO															
ITEM	SUBSISTEMA	OCURRENCIA		CONSECUENCIA						EXPOSICIÓN		VALOR DE RIESGO	CATEGORÍA RIESGO		
				SEGURIDAD Y SALUD		MEDIO AMBIENTE		MNT						PROD	
1	CONTROL	$30 \geq MTBF$ <i>12 o más fpy</i>	10	(-----)	0	(-----)	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	$0\% \leq \text{ProdT} \leq$ 20%	2	20 - 24 h	10	300	ALTO (IMPORTANTE)
2	MOTOR A COMBUSTIÓN	$30 \geq MTBF$ <i>12 o más fpy</i>	10	(-----)	0	(-----)	0	> USD\$ 50000,00	15	$0\% \leq \text{ProdT} \leq$ 20%	2	20 - 24 h	10	1700	INTOLERABLE (CRITICO)
3	GENERADOR	$30 \geq MTBF$ <i>12 o más fpy</i>	10	Incidente	5	(-----)	0	USD\$ 50000,01 – 100000,00	4	$0\% \leq \text{ProdT} \leq$ 20%	2	20 - 24 h	10	1100	INTOLERABLE
4	SISTEMA DE COMBUSTIBLE	$30 \geq MTBF$ <i>12 o más fpy</i>	10	(-----)	0	leak	2	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	$0\% \leq \text{ProdT} \leq$ 20%	2	20 - 24 h	10	500	INTOLERABLE
5	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO	$360 >$ $MTBF \geq$ <i>180 DÍAS</i> <i>1 fpy</i>	3	Incidente	5	(-----)	0	USD\$ 10000,01 - 50000,00	2	$0\% \leq \text{ProdT} \leq$ 20%	2	20 - 24 h	10	270	ALTO
6	SWITHGEARS	$MTBF >$ <i>360 DIAS</i> <i>(menos de</i> <i>una falla</i> <i>por año)</i>	1	(-----)	0	(-----)	0	USD\$ 10000,01 - 50000,00	2	$0\% \leq \text{ProdT} \leq$ 20%	2	20 - 24 h	10	40	MODERADO (TOLERABLE)

7	TRANSFORMADORES	<i>MTBF &gt; 360 DIAS (menos de una falla por año fpy)</i>	1	Incidente	5	<i>leak</i>	2	USD\$ 50000,01 – 100000,00	4	$0\% \leq \text{ProdT} \leq 20\%$	2	20 - 24 h	10	130	NOTABLE (TOLERABLE)
---	-----------------	--	---	-----------	---	-------------	---	----------------------------------	---	-----------------------------------	---	-----------	----	-----	------------------------

Fuente : Máximo oil&Gas

Realizado por: Milton Villacís, 2015

### 3.4.4 Agrupación y Revisión

Las tareas de mantenimiento se agrupan por especialidad, responsable y frecuencias y se revisan los resultados del análisis para establecer los medios eficientes y efectivos para asegurar la política de mantenimiento este alineada con los objetivos tanto de mantenimiento como con los de la organización.

En el sistema Máximo se cuenta ya agrupadas las tareas con la respectiva clasificación área responsable de su ejecución, de requerirse alguna modificación al Job Plan, se envía las mismas al Ingeniero de Gestión de Activos para su respectivo ingreso.

Tabla 3-9: Clasificación de tareas de Mantenimiento por especialidad (Mantenimiento Mecánico)

PM	Description	Area	Job Plan	JP Description	Asset Location	Tag Pam	Priority	Status
PM-GN-GN-0205-001-10	GG-0205 - GENERADOR 635 KW; 2800 HRS	CR - CU - M S	JP-CU-GN-GN-001-10	GENERADOR ELECTRICO; REVISION DE COJINETES DESLIZAMIENTO Y ENGRA-SADO; 2800 HRS	CYP-GEL-SGGN-01	GG-0205	1	ACTIVO

Fuente: Máximo Oil&Gas Petroamazonas Ep

Realizada Por: Milton Villacís, 2015

En el Anexo F, se muestra un ejemplo de profesiograma utilizado en la empresa por el departamento de mantenimiento y aprobado por el departamento de SSA (Seguridad, Salud y Ambiente), a fin de establecer a los responsables de cada tarea específica de acuerdo a cada área.

### 3.4.5 Costos de Mantenimiento

Los costos de mantenimiento del año 2015, tanto correctivo como preventivo se muestran en la tabla 3-10, los mismos que, gracias a la implementación de tareas de mantenimiento predictivo, y otras políticas adoptadas por el departamento de mantenimiento de Petroamazonas Ep han bajado en relación a los años 2013 y 2014.

Otra de las razones de la reducción de costos es la implementación de la estructura del departamento de mantenimiento, creando las, entre otras las áreas de Mantenimiento Predictivo, Automatización, Gestión de activos, las mismas que con un trabajo en equipo se suman a las tareas realizadas por las áreas convencionales de mantenimiento han sumado a cumplir los objetivos departamentales y organizacionales.

Tabla 3-10: Costos de Mantenimiento

COSTOS MANTENIMIENTO		
Grupo	Preventivo	Correctivo
SGNN-01	\$ 4.188,60	\$ 37.652,22
SGNN-02	\$ 4.970,16	\$ 47.933,94
SGNN-03	\$ 6.065,27	\$ 81.371,16
SGNN-04	\$ 4.700,57	\$ 45.912,72
SGNN-05	\$ 5.476,79	\$ 52.396,01
SGNN-06	\$ 4.700,57	\$ 45.912,72
SGNN-07	\$ 3.715,44	\$ 28.223,24
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 33.817,40</b>	<b>\$ 339.402,01</b>

Fuente: Máximo Oil&Gas Petroamazonas Ep

Realizada Por: Milton Villacís, 2015

## CAPITULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Análisis de Modos y efectos de falla.

Se puede deducir mediante el análisis de Pareto las fallas recurrentes en nuestro sistema las cuales se han realizado los respectivos análisis de causa raíz, mostrados en los anexos D y E para determinar los modos de falla.

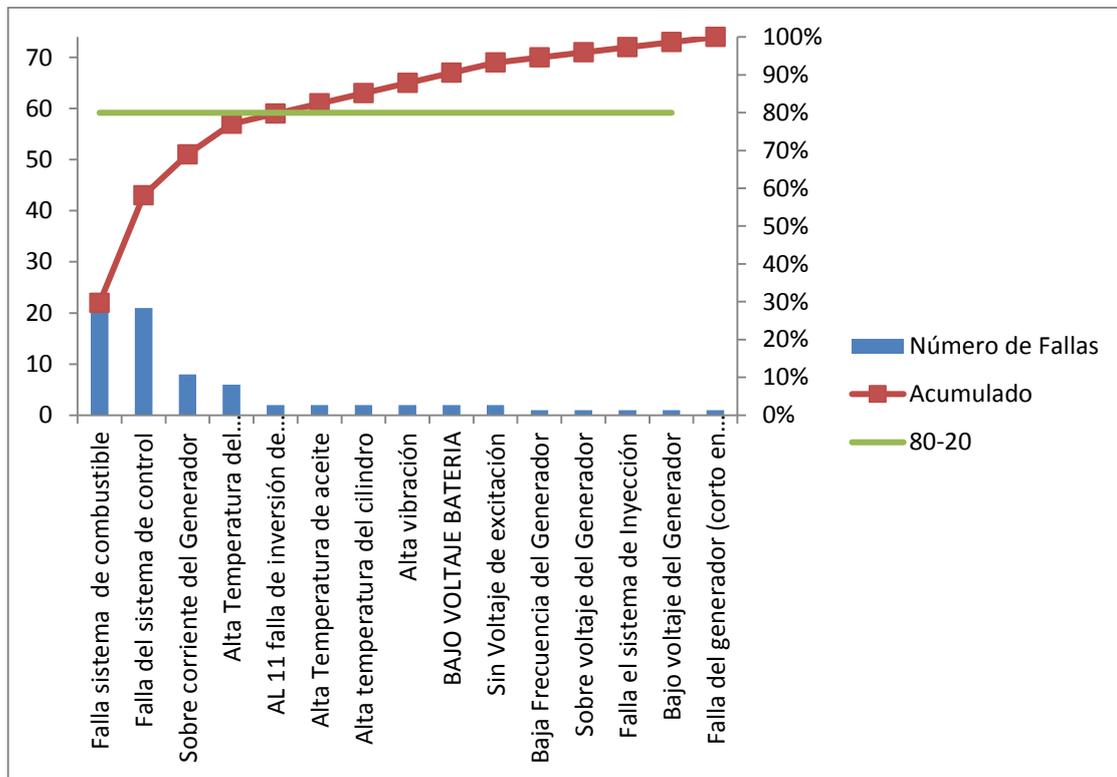


Figura 4-1. Gráfico del Análisis de Fallas de la central Generación Cuyabeno

Fuente: Datos obtenidos de la Central de generación Cuyabeno Petroamazonas, EP

Como se puede observar la mayor parte de fallas se debe a problemas relacionados al combustible, en este capítulo se analizará esta recurrencia, pues se han asignado las fallas del sistema de combustible a los grupos electrógenos, esto se puede ver en el mismo análisis con las causa de las fallas mostradas en la tabla 4-1.

Tabla 4-1: Fallas en los grupos electrógenos de la Central Cuyabeno 2015

Fallas	No. Eventos	Acumulado
Falla sistema de combustible	22	30%
Falla del sistema de control	21	58%
Sobre corriente del Generador	8	69%
Alta Temperatura del Refrigerante del motor	6	77%
AL 11 falla de inversión de corriente	2	80%
Alta Temperatura de aceite	2	82%
Alta temperatura del cilindro	2	85%
Alta vibración	2	88%
BAJO VOLTAJE BATERIA	2	91%
Sin Voltaje de excitación	2	93%
Baja Frecuencia del Generador	1	95%
Sobre voltaje del Generador	1	96%
Falla el sistema de Inyección	1	97%
Bajo voltaje del Generador	1	99%
Falla del generador (corto en bobinas)	1	100%

Fuente: Máximo Oil&Gas 2015

Realizado por: Milton Villacís, 2015

## 4.2 Evaluación de las consecuencias

### 4.2.1 Modos de falla evidentes con consecuencias a la seguridad, Salud y Ambiente

De nuestro análisis mostrado en el formato estándar del anexo A, se puede observar que en nuestro sistema tiene una afectación menor al Medio Ambiente, en lo que se refiere a las fallas que producen altas emisiones, por el escape de cada grupo, y la otra es en caso de las fallas mencionada en los conductos del combustible, lo que ha producido contaminación del suelo.

El departamento de mantenimiento de Petroamazonas Ep, dentro de sus políticas sostiene prácticas que sean amigables para el medio ambiente, por esa razón y por exigencia

ministerial, se realizan en los grupos electrógenos mediciones trimestrales, de estas emisiones, a fin de tomar acciones correctivas en caso de sobrepasar los límites permisibles.

Para el caso de la falla de ductos de combustible que suponen afectación al suelo por derrame o goteo del fluido, se sugieren tareas a realizar por el operador las cuales consisten en inspecciones visuales diarias, del estado de las mangueras, conectores, acoples y tuberías de todo el sistema de combustible, entregándole de ser posible un check list (Anexo A) para este trabajo.

#### ***4.2.2 Modos de falla evidentes con consecuencias económicas***

Estas consecuencias están divididas en dos: la primera, se refiere a la pérdida de producción que es análoga a la consecuencia operacional, y la segunda que se refiere a costos de mantenimiento, tanto directos e indirectos.

En el presente análisis, sólo una falla ha sido relevante en el período analizado, la cual supone el cambio y/o reparación del alternador (generador) del grupo electrógeno, el resto ha sido previsto dentro del tiempo de desgaste de las partes mecánicas, y han estado dentro del presupuesto programado para el efecto.

Dentro de las tareas que se han implementado destaca la medición del aislamiento de las bobinas. Se pueden implementar tareas de mantenimiento predictivo como termografías y medición de descargas parciales en el generador, así como también en los sistemas auxiliares de transmisión de potencia, y disyuntores, breakers y circuitos eléctricos de todo el sistema.



Figura 4-2. Termografía de transformador elevador 480 VAC a 13,8 kV

Fuente: Departamento de Mantenimiento Predictivo Petroamazonas EP

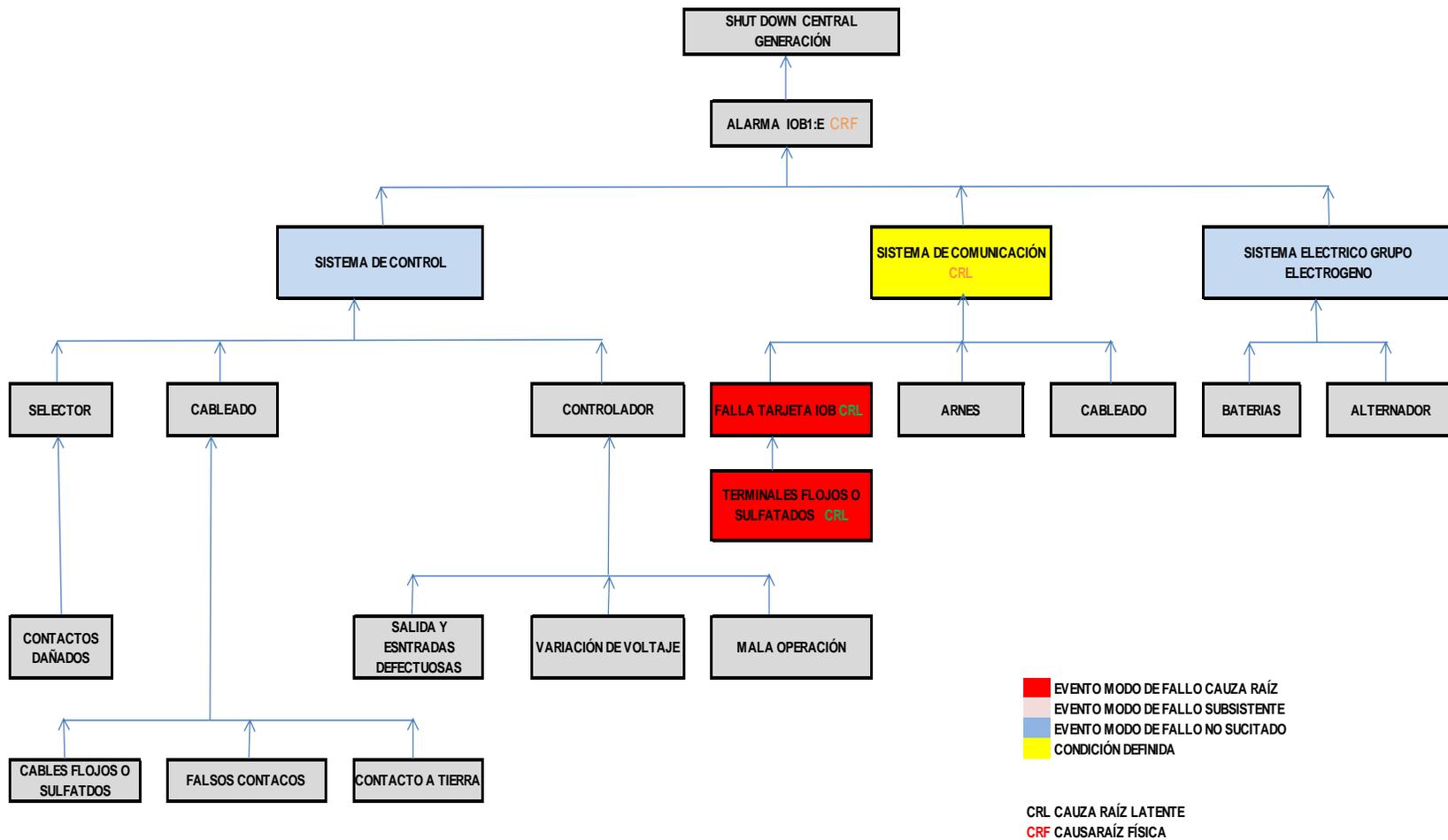


Figura 4-3. Árbol de fallas del Sistema de control de los grupos electrógenos de la Central de Generación Cuyabeno

Fuente: Departamento Mantenimiento Petroamazona Ep, 2015

Tabla 4-2: Análisis FMEA de los Grupos electrógenos Parte 1

FMEA GRUPO ELECTROGENO CATERPILLAR 3412C				
COMPONENTE ÍTEM MANTENIBLE	FUNCIÓN	FALLA (FF)	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
TABLERO DE CONTROL DE GRUPO ELECTÓGENO	CONTROL Y PROTECCION DEL GRUPO MOTOR-GENERADOR	PERDIDA DE CONTROL Y PROTECCIÓN DEL GRUPO	FALLA EN ENERGIA, BREAKER PRINCIPAL DE AC ACCIONADO	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA
			SOBRECALENTAMIENTO, TERMINALES CON SIGNOS DE ALTA TEMPERATURA	PERDIDA DE CONTROL DEL GRUPO ELECTROGENO
			CORTOCIRCUITO, PERDIDA DE AISLAMIENTO EN REGLETA DE BORNERAS DE DISTRIBUCION DC	I/O A FALLA SEGURA
			PANEL DE CONTROL Y/O CONTROLADOR DAÑADO	PARADA DEL MOTOR
CABLEADO	TRANSFERIR ENERGIA ENTRE CONEXIONES	NO TRANSFERIR ENERGÍA ENTRE CONEXIONES	CORTO/CIRCUITO ABIERTO ARNES DE CABLES	PERDIDA DE CONTROL DEL GRUPO ELECTROGENO
			FALLA HUMANA, APAGADO DEL SERVIDOR INVOLUNTARIO	PERDIDA DE VISUALIZACION Y CONTROL DEL GRUPO
			CIRCUITO ABIERTO, CABLE ROTO EN LINEA LP	APAGADO DE GRUPO ELECTROGENO
RED MODBUS	TRANSFERIR DATOS ENTRE CONTROLADORES	NO TRANSFIERE DATOS ENTRE CONTROLADORES	CORTOCIRCUITO, CABLES PELADOS LOS AISLAMIENTOS ENTRE SALA DE CONTROL Y GENERADOR	APAGADO DE GRUPO ELECTROGENO
			FALLA HUMANA, ACCIDENTALMENTE ROMPEN AL CABLE DE RED	APAGADO DE GRUPO ELECTROGENO

	Y MONITORES DE POTENCIA	Y MONITORES DE POTENCIA	FACTOR AMBIENTAL, LA HUMEDAD PROVOCAN FALLA DE AISLAMIENTO PROVOCANDO ERROR EN COMUNICACIONES	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA
			CORTOCIRCUITO, MALLA Y CONDUCTOR INTERNO UNIDOS PRODUCEN ERROR EN LA RED	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA
			SIN SEÑAL, CABLE ROTO INTERRUMPE LAS COMUNICACIONES	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA

Fuente: Departamento de Confiabilidad Cuyabeno B-58

Realizado por: Milton Villacís, 2015

Tabla 4-3: Análisis FMEA de los Grupos electrógenos Parte 2

FMEA GRUPO ELECTROGENO CATERPILLAR 3412C				
COMPONENTE ÍTEM MANTENIBLE	FUNCIÓN	FALLA (FF)	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
MOTOR A COMBUSTIÓN	GENERAR LA FUERZA MOTRIZ AL GENERADOR	NO GENERAR LA FUERZA MOTRIZ AL GENERADOR	BAJO NIVEL DE REFRIGERANTE EN EL RADIADOR	PARO DEL GRUPO ELECTROGENO
			MECANICOS, TUBERIA DE SALIDA DEL AGUA ROTA	PARO DEL GRUPO ELECTROGENO
			AVERÍA EN BOMBA DE AGUA DEL MOTOR	PARO DEL GRUPO ELECTROGENO
			RADIADOR SUCIO	ALARMA DE ALTA TEMP. DEL REFRIGEANTE DEL MOTOR
GENERADOR ELÉCTRICO	GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA	DIODOS QUEMADOS	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA
			VARISTOR EN CORTO	PERDIDA DE GENERACION

			REGULADOR DE VOLTAJE QUEMADO O DESCONFIGURADO	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA
			BOBINAS EN CORTO/ CIRCUITO ABIERTO	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA
TABLERO DE CONTROL DE GRUPO ELECTÓGENO	EJECUTAR RUTINAS DEL CONTROLADOR GENCO Y MEDICIONES ELÉCTRICAS	PÉRDIDA DE CONTROL Y MONITOREO	PERDIDA DE TIERRA INTERMITENTE POR FALTA DE AJUSTE	SHUTDOWN DE GRUPO ELECTROGENO
			UPS EN FALLA	SHUTDOWN DE GRUPO
			FALLA EN ENERGIA, PERDIDA DE CONFIGURAIÓN CONTROLADOR GENCO	SHUTDOWN DE GRUPO ELECTROGENO
			CONTROLADOR GENCO DAÑADO	SHUTDOWN DE GRUPO ELECTROGENO
TABLERO DE CONTROL DE GRUPO ELECTÓGENO	CONTROL Y PROTECCION DEL GRUPO MOTOR-GENERADOR	PERDIDA DE CONTROL Y PROTECCION DEL GRUPO	FALLA HUMANA, PULSACION ACCIDENTAL DEL BOTON DE ESD	SHUTDOWN DE GRUPO ELECTROGENO

Fuente: Departamento de Confiabilidad Cuyabeno B-58

Realizado por: Milton Villacís, 2015

Tabla 4-4: Análisis FMEA de los Grupos electrógenos Parte 3

FMEA GRUPO ELECTROGENO CATERPILLAR 3412C				
COMPONENTE ÍTEM MANTENIBLE	FUNCIÓN	FALLA (FF)	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA
PLANTA DE FILTRADO	TRATAMIENTO DE COMBUSTIBLE PARA GRUPOS ELECTROGENOS	COMBUSTIBLE SIN TRATAMIENTO ADECUADO	FALLA DE BOMBA DE TRANSFERENCIA	PERDIDA DE GENERACION DE ENERGIA
			FILTROS SATURADOS	PERDIDA DE GENERACION DE ENERGIA
LINEAS DE COMBUSTIBLE	SURTIR DE DIESEL GRUPOS ELECTROGENOS	NO SURTIR COMBUSTIBLE A LOS MOTORES DE LOS GRUPOS ELECTROGENOS	BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE	PERDIDA DE GENERACION DE ENERGIA
			ROTURA DE TANQUE DIARIO	PERDIDA DE GENERACION DE ENERGIA
			FALLA HUMANA, MAL ALINEAMIENTO DE VALVULAS	SHTDOWN DE LA PLANTA
MOTOR A COMBUSTIÓN	GENERAR LA FUERZA MOTRIZ AL GENERADOR	NO GENERAR LA FUERZA ELECTROMOTRIZ	FALLA INSTRUMENTOS	SHUTDOWN DEL GRUPO ELECTROGENO
			BAJA PRESION DE ACEITE	PERDIDA DE GENERACION DE ENERGIA
			CAVITACION DE LA BOMBA DE ACEITE	SHUTDOWN DEL GRUPO ELECTROGENO
			ALTA TEMPERATURA DE ACEITE	SHUTDOWN DEL GRUPO ELECTROGENO
			ALTA PRESION DEL CARTER	SHUTDOWN DEL GRUPO ELECTROGENO
			ROTURA DE ACOPLE FLEXIBLES	SHUTDOWN DEL GRUPO ELECTROGENO

Fuente: Departamento de Confiabilidad Cuyabeno B-58

Las fallas en el sistema de control se deben a algunos factores que se analizan en los análisis causa raíz realizados cada vez que suceden estos eventos, este análisis se presenta de manera detallado en el anexo D, y básicamente se basa en el siguiente árbol de falla:

#### ***4.2.3 Modos de falla evidentes con consecuencias operacionales***

La mayoría de fallas de la central de generación terminan en la consecuencia operacional de la pérdida de producción, afectando directamente el indicador mostrado en el numeral 3.3.3.1, el cual se carga directamente al departamento de mantenimiento, por lo que es necesario realizar todas las acciones necesarias para garantizar la operatividad de los equipos, con el PMO podemos lograr este objetivo, ya que vamos a ver en los análisis como mejoramos los índices de disponibilidad y confiabilidad. En las siguientes tablas vamos a indicar los modos de fallas de la matriz del análisis modal de fallas y sus consecuencias.

#### ***4.2.4 Modos de falla ocultos***

Estos modos de falla se manifiestan en su mayoría en el sistema de control, ya que todas las protecciones tanto del grupo electrógeno, como del sistema eléctrico en general, están inmersas dentro de esta clasificación, las salva guardas y protecciones de seguridad se configuran en el sistema de control, así como los puntos de ajuste de las variables, las mismas que combinadas en la mayoría de los casos resultan en una falla oculta, por lo complejo del sistema.

La Central de generación no cuenta con un sistema individual de seguridad, por ello las fallas ocultas encontradas han sido cargadas a los grupos electrógenos. La causa principal de que no se tomen acciones correctivas a tiempo en el sistema de control, es principalmente que para realizar ajustes y pruebas o alguna tarea de mantenimiento mayor, es necesario muchas veces realizar una parada de planta, la misma que no se la puede programar, sino en casos muy particulares, el sistema de control por su arquitectura y función es un sistema enlazado que trabaja en comunicación con los siete grupos, enlazados mediante una Red Modbus.

#### 4.2.5 Selección de las tareas

Del análisis realizado se observa que para los sistemas auxiliares en donde existe el mayor número de fallas recurrentes no existe un Job plan asignado a los mismos. Para lo cual se crean nuevos Job Plan y se ingresan al sistema informático máximo Oil&Gas, en los formatos establecidos por el departamento de control de calidad y Mantenimiento (Tabla 4-5).

##### 4.2.5.1 Sistema de combustible

Está conformado por los tanques de almacenamiento, líneas de conducción y sistemas de filtrado, actualmente las fallas en este sistema han sido registradas como fallas de los grupos electrógenos y no al sistema como tal, por esta razón es necesario crear este subsistema como una parte de la Central de generación a fin de poder generar un Job plan para intervención en los componentes del mismo.



Figura 4-4. Tanques de almacenamiento de combustible Central de generación Cuyabeno

Fuente: Central de Generación Cuyabeno 2009

Luego del análisis de fallas se seleccionan las tareas a implementar en los sistemas con mayor número de fallas en la central de generación Cuyabeno, es decir al sistema de control y al

sistema de combustible que está formado: los tanques de almacenamiento, tuberías accesorios y los sistemas de filtrado, en todos los componentes de éste sistema se deberán aplicar las tareas de mantenimiento que se indican en la tabla 4-5.



Figura 4-5. Equipos de filtrado del Sistema de combustible de la central de generación Cuyabeno.

Fuente: Central de Generación Cuyabeno 2015

Estos Sistemas no constan como parte de la Central de generación, por lo que se deben crear un Plan para los mismos con tareas y frecuencias.

#### 4.2.5.2 Sistema de Control.

Para el sistema de control también se han determinado nuevas tareas de mantenimiento, las mismas que se indican en la tabla 4-6 con su respectiva frecuencia. Todas las tareas indicadas para estos sistemas deben ser ingresados al sistema Máximo Oil&Gas, para que se ejecuten inmediatamente y se realice la respectiva orden de trabajo, para su evaluación y registro.

Las tareas seleccionadas parten del análisis de modal de fallas y sus consecuencias FMECA, y de todas las consideraciones estudiadas en el marco teórico, las frecuencias se han

establecido de acuerdo a dicho análisis y a la criticidad de los equipos que forman parte de este sistema.

Tabla 4-5: Tareas de Mantenimiento del Sistema de Combustible

		SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD			
		MATRIZ RCM			
		FECHA:	LOCACION:	CUYABENO	
SECCIÓN: MANTENIMIENTO		PROGRAMA DE MANTENIMIENTO			
SISTEMA DE COMBUSTIBLE CENTRAL DE GENERACIÓN CUYABENO					
Tareas de Mantenimiento	DIARIO	1 MES	6 Meses	12 Meses	
<b>Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)</b>					
CHEQUEO DEL ESTADO DE LAS LÍENAS DE COMBUSTIBLE	X				
LECTURA Y REGISTRO DE LA PRESIÓN DIFERENCIAL DE LOS FILTROS DE COMBUSTIBLE	X				
CHEQUEO DE FUGAS EN BASES DE FILTROS, CONECTORES ETC.	X				
LIMPIEZA PROGRAMADA DE TANQUES DE COMBUSTIBLE					X
VERIFICAR VALORES DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA	X				
REAJUSTE DE CONECTORES			X		
<b>Rediseño</b>					
INSTALAR FILTRADO REDUNDANTE EN DONDE NO EXISTE					
REINDUCCION Y ENTRENAMIENTO ESPECIFICO EN EL PROCESO DE FILTRADO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO					X
<b>RTF</b>					
CAMBIO DE VÁLVULAS Y ACCESORIOS	A LA FALLA				
<b>Tareas de inspección y Mantenimiento Basado en Condición (CBM)</b>					
INSPECCION TERMOGRAFICA DE TANQUES DE COMBUSTIBLE					X
MEDICION DE CALIDAD DE COMBUSTIBLE		X			

Fuente: Departamento de Mantenimiento Bloque 58 Cuyabeno  
 Realizado por: M Villacís



Figura 4-6. Panel principal del Sistema de control de la central de generación Cuyabeno

Fuente: Central de generación Cuyabeno 2015

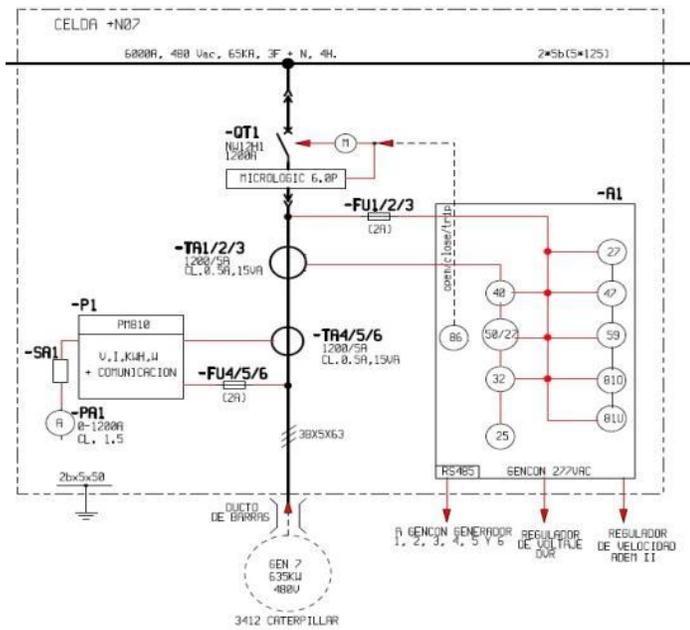


Figura 4-7. Diagrama Sistema de Control del Grupo electrógeno

Fuente. Central de Generación Cuyabeno 2015

Tabla 4-6: Tareas de Mantenimiento del Sistema de control Parte 1

		SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD			
		MATRIZ RCM			
SECCIÓN: MANTENIMIENTO		FECHA	LOC:	CUYABENO	
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO		SISTEMA DE CONTROL DE GENERADORES CATERPILLAR 3412C			
Tareas de Mantenimiento	3 Meses	4 Meses	6 Meses	12 Meses	
<b>Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)</b>					
LIMPIEZA DE TABLEROS Y BORNERAS EN PANELES	X		X		
PRUEBA FUNCIONAL DE EDSs					X
REAJUSTE DE TERMINALES Y BORNERAS EN PANELES			X		
REALIZAR PRUEBA FUNCIONAL DE SISTEMA			X		
REALIZAR PRUEBAS DE CONTINUIDAD DE CABLES DE CONTROL					X
RECOLECCION DE REGISTROS DE CALIBRACION DE RELES	X				
REVISION DE PARAMETROS DE ALIMENTACION DE LA FUENTES			X		
VERIFICACION DE VOLTAJES DE ALIMENTACION DE TARJETAS DE COMUNICACIONES			X		
<b>Rediseño</b>					
INSTALAR RED REDUNDANTE DE COMUNICACIONES					
REINDUCCION Y ENTRENAMIENTO ESPECIFICO EN LOS SISTEMAS DE CONTROL A PERSONAL RESPONSABLE					X
<b>RTF</b>					
CAMBIO DE CONTROLADOR GENCO	A LA FALLA				
CAMBIO DE PANEL DE CONTROL CAT EMCP II +	A LA FALLA				
<b>Tareas de inspección y Mantenimiento Basado en Condición (CBM)</b>					
MONITOREO DE DESCARGAS PARCIALES EN GENERADOR					X
ACTUALIZAR PARCHES DE SOFTWARE CUANDO ESTEN DISPONIBLES					X
INSPECCION TERMOGRAFICA EN PANELES ELECTRICOS			X		

MEDICION DE CALIDAD ENERGIA DE ALIMENTACION			X	
MEDICION DE VOLTAJES DE ALIMENTACION DE PLC			X	
MEDICIONES DE VOLTAJES EN FUENTE			X	
PRUEBAS DE CONECTIVIDAD			X	
PRUEBAS DE CONTINUIDAD DE CABLES				X
PRUEBAS DE TRAFICO DE RED				X
REAJUSTE DE TERMINALES Y BORNERAS EN PANELES			X	

Fuente: Departamento de Mantenimiento Bloque 58 Cuyabeno

Realizado por: Milton Villacís, 2015

Tabla 4-7: Tareas de Mantenimiento del Sistema de control Parte 2

	<b>SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD</b>		
	<b>MATRIZ RCM</b>		
<b>FECHA</b>	<b>LOC:</b>	<b>CUYABENO</b>	

**SECCIÓN: MANTENIMIENTO**

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO**

**SISTEMA DE CONTROL DE GENERADORES CATERPILLAR 3412C**

Tareas de Mantenimiento	3 Meses	4 Meses	6 Meses	12 Meses
<b>Tareas de inspección y Mantenimiento Basado en Condición (CBM)</b>				
REALIZAR MONITOREO DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA CON EBUTTON		X	X	
REALIZAR PRUEBAS DE CONECTIVIDAD ENTRE REDES PAM				X
REINDUCCION Y ENTRENAMIENTO ESPECIFICO EN LOS SISTEMAS DE CONTROL A PERSONAL RESPONSABLE				X
REVISION DE ERRORES INTERNOS DE CONTROLADORES GENCO	X			
VERIFICACION DE CANALES DE SISTEMA DE CONTROL			X	
VERIFICACION DE PARAMETROS OPERATIVOS DEL MODULO Y LA RED MODBUS	X			

Fuente: Departamento de Mantenimiento Bloque 58 Cuyabeno

Realizado por: Milton Villacís, 2015

#### 4.2.6 Agrupación y revisión de Planes

Actualmente la frecuencia de mantenimiento preventivo es de 400 horas, de la investigación realizada se concluye que no existe un justificativo técnico que indique porque se redujo dicha frecuencia, la frecuencia indicada por el fabricante es de 500 horas, esto ha elevado los costos de mantenimiento de los sistemas instalados.

De acuerdo a la Norma SAE JA 1011, las tareas programadas deben ser técnicamente factibles, aplicables y efectivas (NORMA SAE-JA-1012. Society of Automotive Engineers Inc. Guía para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). 2002, p. 28).

Las tareas propuestas para los grupos electrógenos Caterpillar 3412C y sus sistemas auxiliares, son técnicamente factibles ya que al aplicarlas, se reducirán las consecuencias del modo de fallo. Los componentes de los grupos electrógenos ingresados al Sistema Máximo se muestran en la tabla 4-8

Tabla 4-8: Componentes de Grupos electrógenos y sistemas auxiliares de la Central Cuyabeno

GRUPO ELECTROGENOS	
Equipo	CÓDIGO
MOTOR	MCO
GENERADOR	GG
TABLERO DE CONTROL	CPG
SISTEMA DE CONTROL	
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	
SISTEMA DE FILTRADO	NA
TRANSFORMADOR	XFM
Líneas de Transmisión	NA

Fuente: Máximo Oil&Gas

Realizado por: Milton Villacís, 2015

Se plantea además la implementación de uno de los pilares del Mantenimiento productivo total (TPM), la cual consiste en el mantenimiento autónomo, el mismo que permite al operador de planta de generación la ejecución de tareas menores de inspección, lubricación, control visual y manual de variables etc. Esto también contribuirá en gran manera a reducir las consecuencias de los modos de fallo analizados, si bien es cierto algún de las tareas planteadas a nivel del operador, éste las ejecuta, sin embargo es necesario plasmarlas en un check list o registro diario de cumplimiento de las mismas, un ejemplo de esta lista se muestra en el anexo A

Los nuevos planes de mantenimiento con sus tareas quedarían definidos de la manera que muestra la tabla 4-9.

Tabla 4-9: Planes de mantenimiento a incluir en la central de generación

RUTINAS DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS DE LA CENTRAL CUYABENO			
Description	Job Plan	Frecuencia (hrs)	Equipo
MCO-MOTOR COMB.(D) 1039 HP; MNTO. 400 HRS	JP-CU-MO-CD-074-10	500	MOTOR
MCO- OVERHAUL MOTOR COMB.(D) 1039 HP; MNTO. 18000 HRS	JP-MO-CD-074-50	18000	MOTOR
MCO- ADICION ACEITE	JP-CU-MO-CD-073-AD	72	MOTOR
GG- GENERADOR 635 KW; 2800 HRS	JP-CU-GN-GN-001-10	2800	GENERADOR
CPG- TABLERO DE CONTROL; 2160 HRS	JP-TC-PG-001-10	2160	TABLERO DE CONTROL
CP- SISTEMA DE CONTROL-	JP-XX	2160	SISTEMA DE CONTROL
MCO- TEAR DOWN MOTOR COMB.(D) 1039 HP; MNTO. 9000 HRS	JP-MO-XX	9000	MOTOR
MCO- MOTOR COMB.(D) 1039 HP; MNTO. 6000 HRS	JP-MO-XX	6000	MOTOR
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	JP-XX	24 MESES	SISTEMA DE COMBUSTIBLE

RUTA CAMBIO DE FILTROS EN SISTEMA FILTRADO	JP-CU-FL-FH-05	30 DIAS	SISTEMA DE FILTRADO
XFM-0299 - TRANSFORMADOR 75 KVA; SEMESTRAL	JP-TR-TR-001-10	6 MESES	TRANSFORMADOR
RUTA INSPECCION TERMOGRAFIA SECCIONADORES Y LINEAS DISTRIBUCION	JP-SEC-LE-CU-001-10	6 MESES	Líneas de Transmisión
RUTA DE MANTENIMIENTO #1 DE LINEAS ELECTRICAS ENERGIZADAS-CUYABENO-ALIMENTADOR NORTE; BIENAL	JP-LE13,8KV-CU-001-30	24 MESES	Líneas de Transmisión

Fuente Máximo Oil&Gas

Realizado por: Milton Villacís, 2015

Una vez definidas las nuevas rutinas de mantenimiento, las tareas **óptimas** de mantenimiento se enlistan en la tabla 4-10, las tareas en amarillo son las incrementadas o revisadas de acuerdo a los análisis realizados.

Tabla 4-10: Listado de tareas de los equipos de la Central de Generación Cuyabeno. Parte 1.

COMPONENTE	TAREA	RESPONSABLE	FRECUENCIA
MOTOR	Verificar nivel de aceite y refrigerante	Operador	24
	Registro operacional	Operador	24
MOTOR	Cambio de aceite	Mecánico	500
	Cambio de filtros aceite y combustible	Mecánico	500
	Inspección de polea del ventilador	Mecánico	500
	Toma de muestra para análisis de aceite	Mecánico	500
	Inspección de bandas	Mecánico	500
MOTOR	Calibración de válvulas	Mecánico	3200
MOTOR	Inspección y/o reemplazo de bomba de agua	Mecánico	6400
	Cambio de inyectores	Mecánico	6400
	Inspección de motor de arranque y alternador	Mecánico	6400
	Inspección de turbo cargador	Mecánico	6400
MOTOR	Overhaul	Mecánico	180000
MOTOR	Tear Down	Mecánico	9000
GENERADOR	Ajuste terminales cables de fuerza	Eléctrico	2800
GENERADOR	Lubricación de rodamientos	Mecánico	720
	Limpieza e inspección del generador	Eléctrico	2800

GENERADOR	Prueba de aislamiento de bobinas	Eléctrico	2800
GENERADOR	Mantenimiento mayor generador	Eléctrico	18000
BREAKER PRINCIPAL	Limpieza de componente	Eléctrico	2800
SENSORES	Verificación transmisor temperatura de agua	Instrumentación	2160
	Verificación transmisor de presión de aceite	Instrumentación	2160
	Verificación transmisor de velocidad (pick-up)	Instrumentación	2160
TABLERO DE CONTROL	Calibración indicadores (voltaje, corriente, presión, velocidad, temperatura)	Instrumentación	2160
	Verificar estado de cableado en general	Instrumentación	2160
	Calibración de regulador de voltaje	Instrumentación	2160
	Calibración de regulador de velocidad	Instrumentación	2160
TABLERO DE CONTROL	Limpieza e inspección del regulador de voltaje y regletas de conexión	Instrumentación	2160
CARGADOR DE BATERIAS	Limpieza de contactos	Instrumentación	2160
GRUPO ELECTROGENO	Análisis de vibraciones	Predictivo	720
GRUPO ELECTROGENO	Termografía	Predictivo	800

Fuente: Máximo Oil&Gas

Realizado por: Milton Villacís, 2015

Tabla 4-11: Listado de tareas de los equipos y componentes de la Central de Generación Cuyabeno. Parte 2.

COMPONENTE	TAREA	RESPONSABLE	FRECUENCIA
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	CHEQUEO DEL ESTADO DE LAS LÍNEAS DE COMBUSTIBLE	Operador	24
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	CHEQUEO DE FUGAS EN BASES DE FILTROS, CONECTORES ETC.	Operador	24
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	LIMPIEZA PROGRAMADA DE TANQUES DE COMBUSTIBLE	Mecánico	9000
SISTEMA DE CONTROL	VERIFICAR VALORES DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA	Operador	24

SISTEMA DE CONTROL	PRUEBA FUNCIONAL DE EDSs	Instrumentación	9000
SISTEMA DE CONTROL	REALIZAR PRUEBAS DE CONTINUIDAD DE CLABLES DE CONTROL	Instrumentación	2160
SISTEMA DE CONTROL	RECOLECCION DE REGISTROS DE CALIBRACION DE RELES	Instrumentación	2160
SISTEMA DE CONTROL	REVISION DE PARAMETROS DE ALIMENTACION DE LA FUENTES DE VOLTAJE	Instrumentación	2160
SISTEMA DE CONTROL	VERIFICACION DE VOLTAJES DE ALIMENTACION DE TARJETAS DE COMUNICACIONES	Automatización	2160

Fuente: Máximo Oil&Gas

Realizado por: Milton Villacís, 2015

### 4.3 Análisis de Indicadores

Una vez ingresados los nuevos Job plan y tareas al sistema informático Máximo Oil&Gas, se han consultado los nuevos indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los últimos 6 meses, obteniendo los valore mostrados en la tabla 4- 10, los mismos que han mejorado en relación al año anterior. En la figura 4-8 se muestran la gráfica comparativa de los valores de disponibilidad de los últimos años, como se puede observar las nuevas tareas han contribuido a mejorar este indicador, mientras que en la figura 4-9 se muestra el porcentaje de mantenimiento proactivos, un índice que es general a nivel departamental, pero demuestra que con la aplicación del PMO, ha mejorado con respecto a los valores analizados en el capítulo 3.

Tabla 4-12: Indicadores Técnicos de Mantenimiento en la Central de Generación Cuyabeno 2015

	HRS. OP	HRS. STOP	HRS. RES	TOTAL	No. Fallas	MTBF	MTTR	DISP.
G1	2575,33	1386,25	4798,42	8760	11	670,34	126,02	84,18%
G2	8235,16	161,25	365,59	8762	12	716,73	13,44	98,16%

G3	4443,85	3990,25	325,9	8760	4	1192,44	997,56	54,45%
G4	7588,33	787	384,67	8760	5	1594,6	157,4	91,02%
G5	7761,67	504,52	493,81	8760	12	687,96	42,04	94,24%
G6	7996,06	302,25	463,69	8762	21	402,85	14,39	96,55%
G7	7489,78	656,5	613,72	8760	15	540,23	43,77	92,51%

Fuente: Máximo Oil&Gas

Realizado por: Milton Villacís, 2015

Tabla 4-13: Indicadores Técnicos de Mantenimiento en la Central de Generación Cuyabeno 2016

Grupo	HRS. OP	HRS. STOP	HRS. RES	TOTAL	No. Fallas	MTBF	MTTR	DISP.
G1	3822,16	439,34	118,5	4380	2	1911,08	219,67	89,97%
G2	2862,25	1300,75	217	4380	7	408,89	185,82	70,30%
G3	4198,08	30,62	151,3	4380	1	4198,08	30,62	99,30%
G4	3236,25	357,75	786	4380	5	647,25	71,55	91,83%
G5	3900	223,9	256,1	4380	3	1300,00	74,63	94,89%
G6	4063	100,5	216,5	4380	2	2031,50	50,25	97,71%
G7	3498	302	580	4380	4	874,50	75,50	93,11%

Fuente: Máximo Oil&Gas

Realizado por: Milton Villacís, 2015

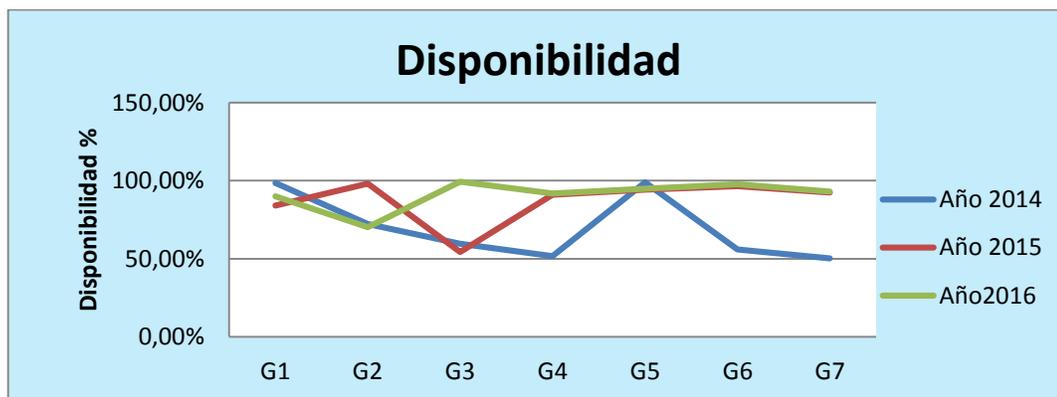


Figura 4-8. Gráfico de la Disponibilidad de los Grupos Electrógenos

Fuente: Máximo Oil&Gas, 2016

Uno de los objetivos de la Optimización de mantenimiento es la reducción de costos operativos, en el caso del siguiente indicador se nota una reducción del costo de mantenimiento por barril tal como muestra la siguientes gráfica.

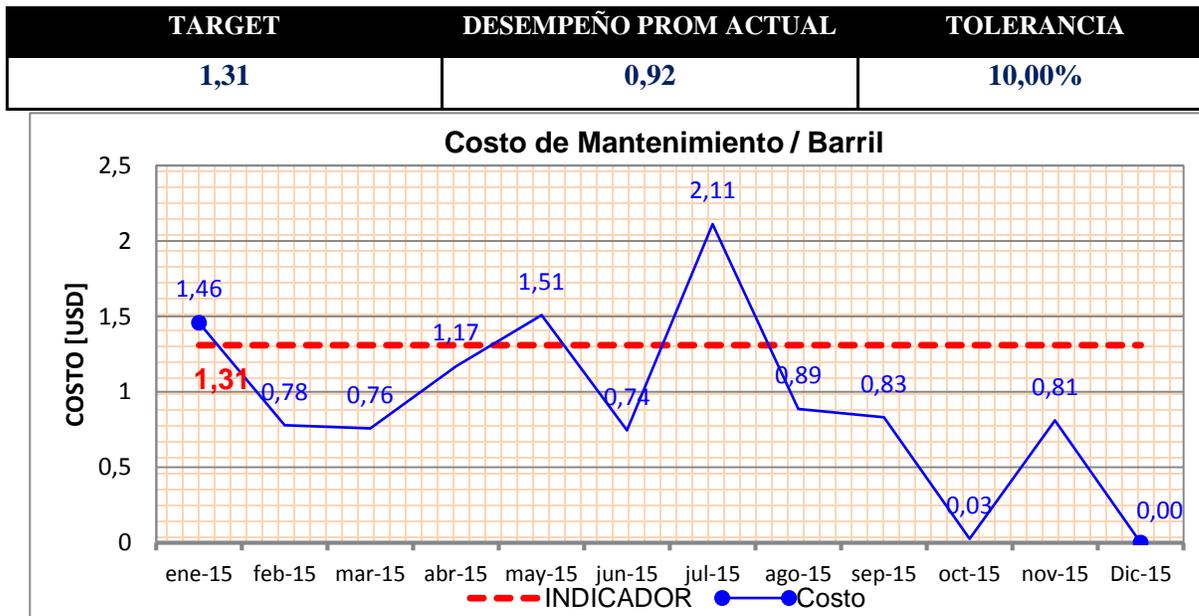


Figura 4-9. Gráfico del costo de mantenimiento por barril 2015

Fuente: Máximo Oil&Gas 2015

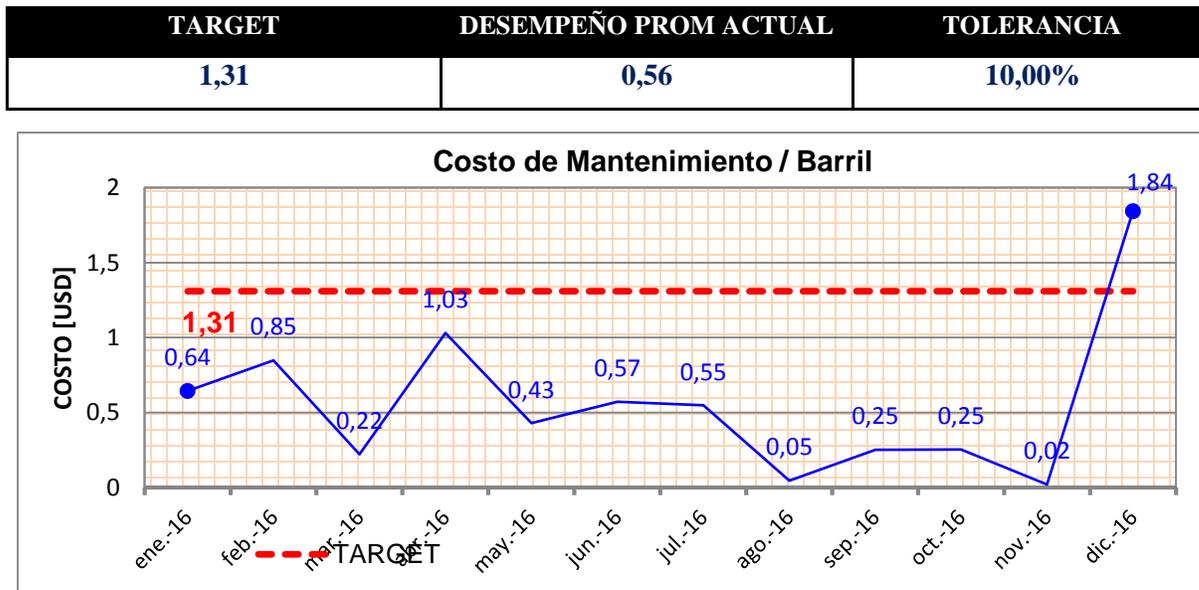


Figura 4-10. Gráfico del costo de mantenimiento por barril 2016

Fuente: Máximo Oil&Gas 2016

El porcentaje de mantenimientos proactivos, ha mejorado considerablemente, en relación al valor analizado en el capítulo anterior el cual era del 86,36%

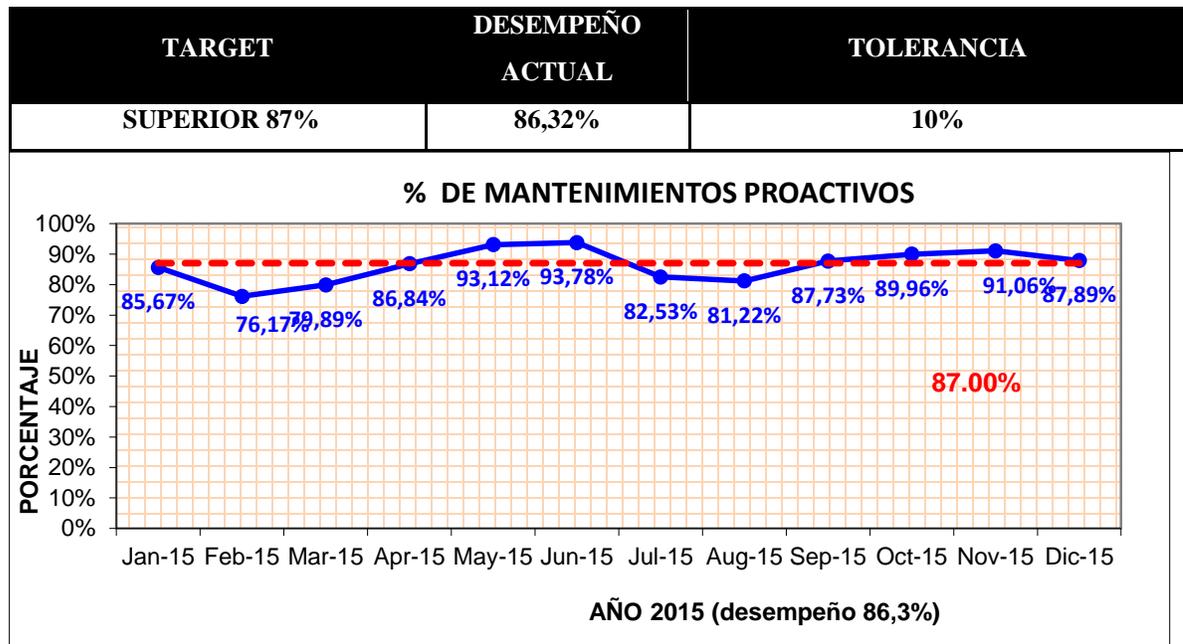


Figura 4-11. Gráfico del Indicador de mantenimientos proactivos 2016

Fuente: Máximo Oil&Gas 2016

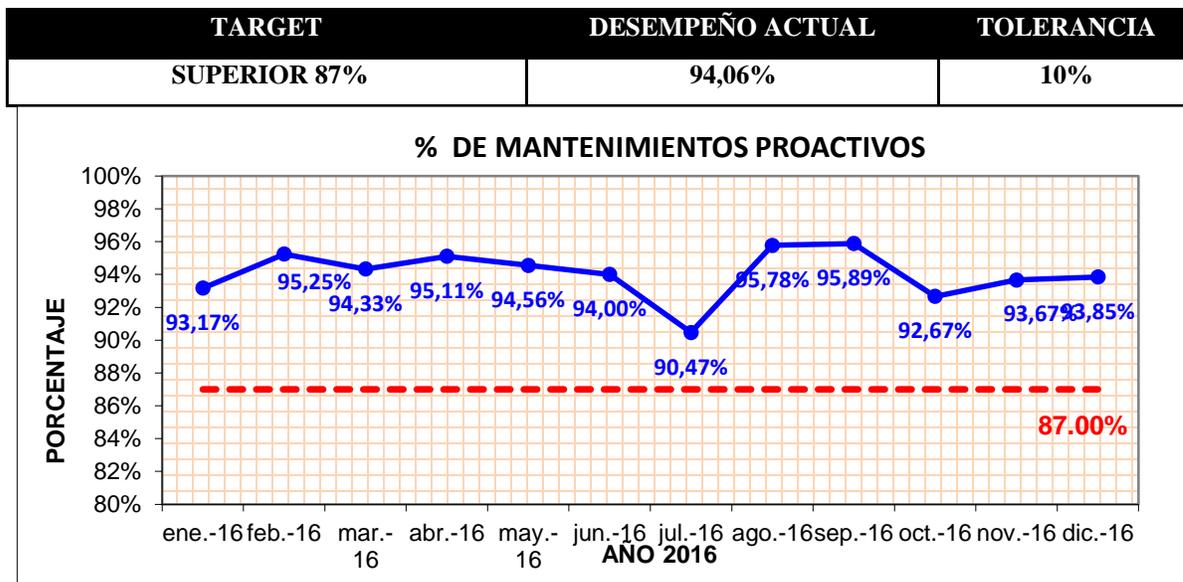


Figura 4-12. Gráfico del Indicador de mantenimientos proactivos 2016

Fuente: Máximo Oil&Gas 2016

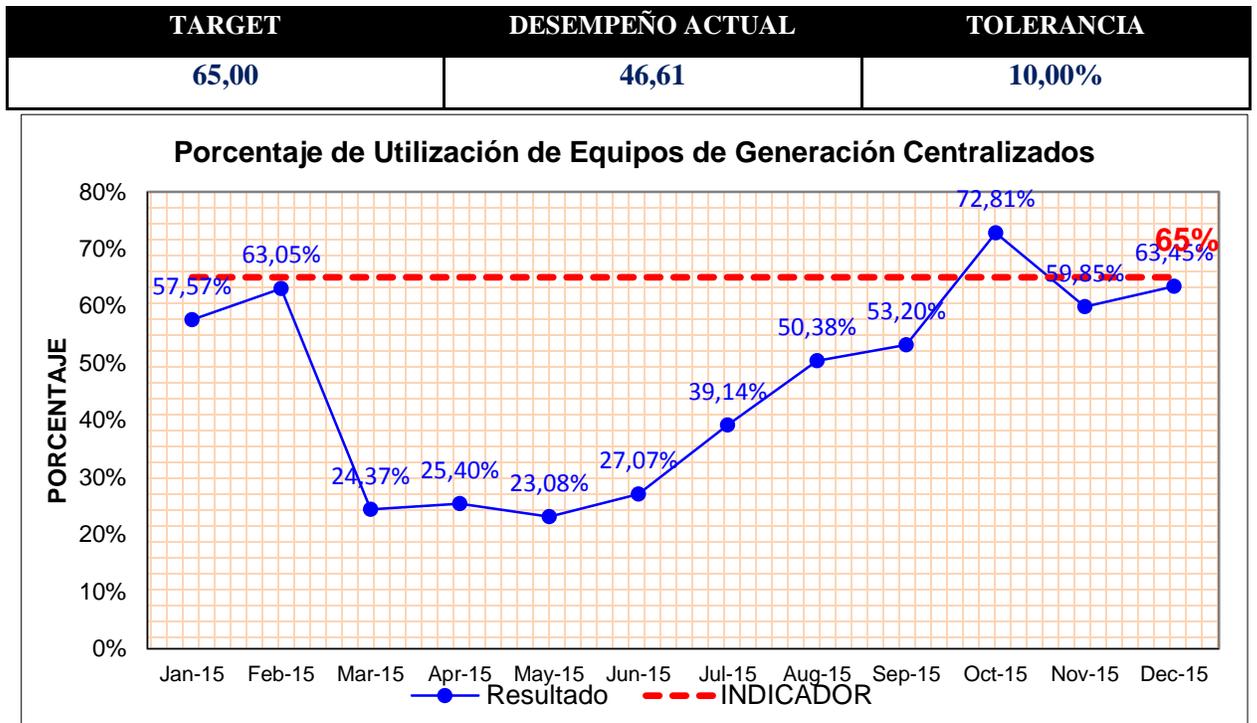


Figura 4-13. Gráfico del Indicador de mantenimiento 2015

Fuente: Máximo Oil&Gas 2016

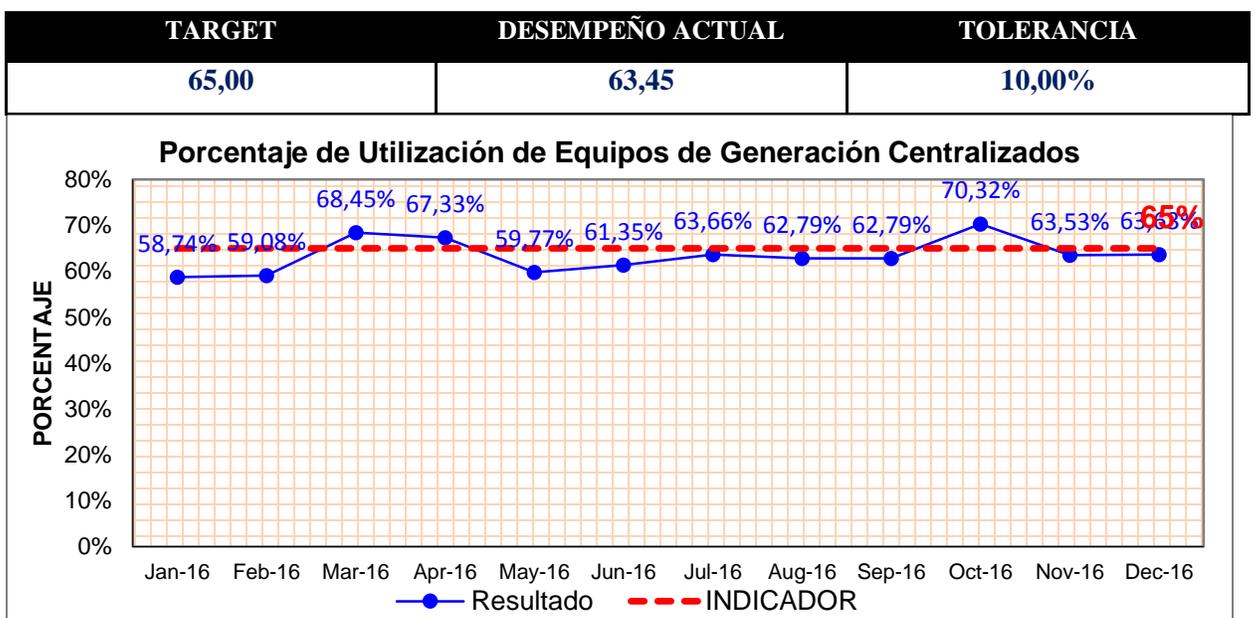


Figura 4-14. Gráfico del Indicador de mantenimiento 2016

Fuente: Máximo Oil&Gas 2016

Tabla 4-14: Pérdidas de producción Pad C Cuyabeno 2014-2016

PERDIDAS DE PRODUCCION PAD CUYABENO C			
POZO	2014	2015	2016
CUYABENO C013 UI	977,03	237,56	285,38
CUYABENO C021 TS	35,4	54,88	536,95
CUYABENO C021 UI	1422,88	411,29	0
CUYABENO C024 UI	561,67	330,87	64,4
CUYABENO C024 US	350,91	391,47	16,89
CUYABENO C034 TS	85	144,56	5,48
CUYABENO C034 UI	868,6	750,3	102,77
CUYABENO C035 UI	486,03	239,46	310,2
CUYABENO C060 UI	78,16	210,41	71,03
CUYABENO C060 UM	85,45	336,57	71
CUYABENO C068 UI	0	9,5	0
CUYABENO C068 US	0	849,93	324,16
<b>TOTAL</b>	<b>6965,13</b>	<b>5981,8</b>	<b>3804,26</b>

Fuente: Máximo Oil&Gas

Realizado por: Milton Villacís, 2015

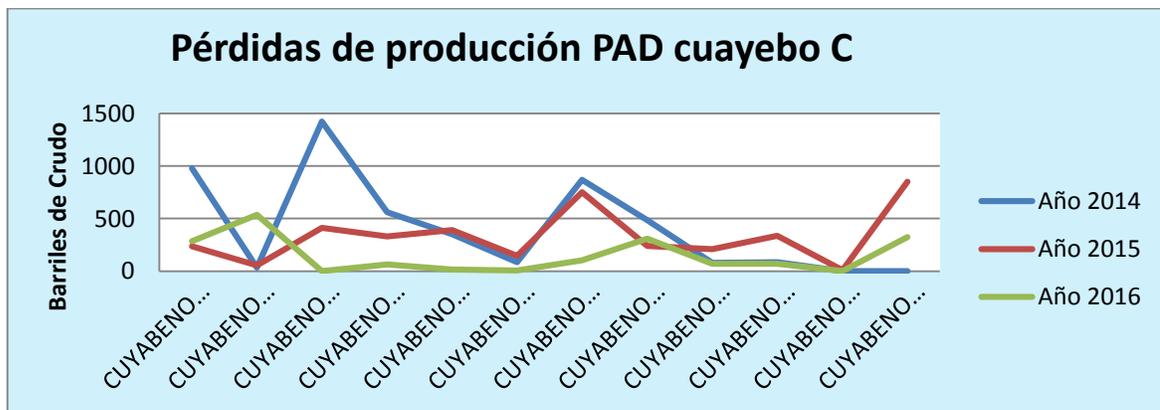


Figura 4-15. Gráfico del Indicador de Pérdidas de Producción

#### **4.4 Demostración de la hipótesis.**

Dada la comparación de las pérdidas de producción generadas, debido a las paradas imprevistas de la central de generación Cuyabeno en los años 2014 y 2015, y parte del 2016, en el PAD Cuyabeno C, nace la necesidad de realizar una comprobación estadística de la hipótesis planteada en el este estudio y que se describe a continuación, “Aplicando la Metodología PMO (Optimización del Mantenimiento Planificado) se pueden optimizar las tareas de Mantenimiento y sus recursos, reduciendo las pérdidas de producción por paradas imprevistas”.

La hipótesis se aceptara o rechazara analizando la información proporcionada en este estudio

##### ***4.4.1 Variables operacionales***

Para la prueba de la hipótesis estadísticamente es necesario establecer y seleccionar el tipo de variables operativas:

Variable cualitativa e independiente: en esta variable definimos a los pozos de producción de petróleo crudo y que estuvieron operativos durante los años 2014 y 2015.

Variable cuantitativa y dependiente: para la dependencia se consideran las pérdidas de producción generadas en el PAD Cuyabeno C en los años 2014 y 2015.

##### ***4.4.2 Planteamiento de la hipótesis.***

La prueba de hipótesis es utilizada ampliamente como soporte a la investigación científica sobre el planteamiento de un reclamo o conjetura que necesitamos comprobar estadísticamente (Meneses A, 2013), dentro de este procedimiento se inicia con el planteamiento de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

Hipótesis nula:  $H_0$  = Que la aplicación de la metodología PMO reduce las pérdidas de producción de los pozos del PAD Cuyabeno C del año 2015 con relación al año 2014.

Hipótesis alternativa:  $H_1$  = Las pérdidas de producción son mayores en el año 2015 con relación al 2014.

#### ***4.4.3 Nivel de significancia.***

Para ser muy cuidadosos en no cometer el error tipo 1, debemos especificar la probabilidad de rechazar  $H_0$ , denotada por  $\alpha$ . A ésta se le llama nivel de significancia. Es decir que estimamos el error absoluto en el intervalo estudiado, por lo general los investigadores y literatura revisada establecen que un buen nivel de confianza es del 95% por lo cual asumiremos para nuestro estudio este nivel de significancia que puesto en probabilidad sería del 0.05.

#### ***4.4.4 Análisis de datos.***

En el análisis de datos se consideran las variables ya definidas como son los pozos en operación del PAD Cuyabeno C en los años 2014 y 2015, y las pérdidas de producción debidas a las paradas imprevistas de la Central de generación Cuyabeno bloque 58.

#### ***4.4.5 Selección del modelo estadístico de prueba de la hipótesis.***

Para este caso de estudio se toma el modelo estadístico del t-student, para la validación de la hipótesis, debido que las variables a utilizar son muestras pareadas de dos años, tomando en consideración también que son cuantitativas y el número de muestras son menor a 30, con lo cual establecemos que es el modelo más adecuado para el análisis.

#### 4.4.6 Prueba de Hipótesis.

En la tabla 4-se presentan los pozos productores del PAD Cuyabeno C con las pérdidas de producción en los años respectivos, dando como resultado que el año 2015, dichas pérdidas bajaron hasta un 11% menos que el año anterior, sin embargo esto lo vamos a demostrar estadísticamente si es correcta nuestra apreciación o no.

Tabla 4-15: Pérdidas de Producción del Pad Cuyabeno C (2014-2015)

PERDIDAS DE PRODUCCION PAD CUYABENO C		
POZO	2014	2015
CUYABENO C013 UI	977,03	237,56
CUYABENO C021 TS	35,4	54,88
CUYABENO C021 UI	1422,88	411,29
CUYABENO C024 UI	561,67	330,87
CUYABENO C024 US	350,91	391,47
CUYABENO C034 TS	85	144,56
CUYABENO C034 UI	868,6	750,3
CUYABENO C035 UI	486,03	239,46
CUYABENO C060 UI	78,16	210,41
CUYABENO C060 UM	85,45	336,57

Fuente: Departamento de producción Cuyabeno B58

Realizado por: Milton Villacís, 2016

#### 4.4.7 Cálculo del valor estadístico.

Ya definido todos los elementos necesarios para la prueba de hipótesis, utilizando el software Excel y se procede a realizar el cálculo estadístico que presentamos a continuación

#### 4.4.8 Análisis y Decisión.

La evaluación de los resultados presentados en la tabla 4.xx nos demuestran que el punto estadístico  $p(1.4554) > 0.05$  cumpliendo el primer paso para afirmar que se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), de igual manera observamos que  $p(t \leq t)$  de una cola y  $p(t \leq t)$  de dos colas son menores al punto crítico del t-student.

Tabla 4-16: Prueba de hipótesis t-student 2014-2015

	Variable 1	Variable 2
Media	495,113	310,737
Varianza	219888,586	36055,0474
Observaciones	10	10
Coefficiente de correlación de Pearson	0,536042181	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	1,455414202	
P(T<=t) una cola	0,089765309	
Valor crítico de t (una cola)	1,833112933	
P(T<=t) dos colas	0,179530617	
Valor crítico de t (dos colas)	2,262157163	

Fuente: Microsoft Excel 2010

Realizado por: Milton Villacís, 2016

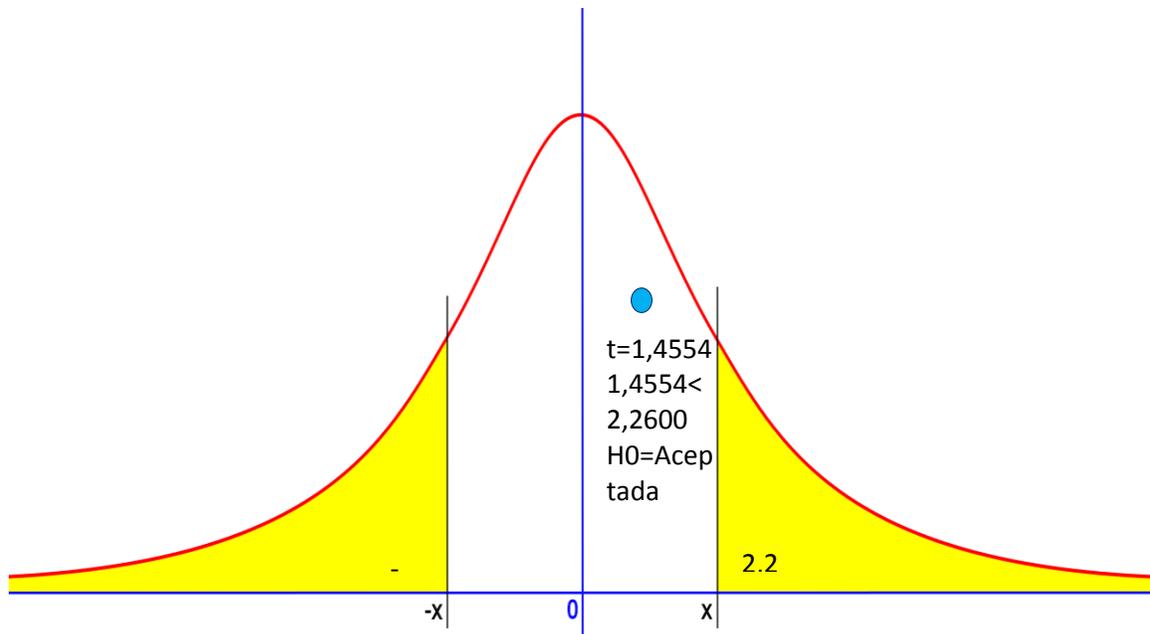


Figura 4-16. Punto de aceptación de la hipótesis para las muestras 2014-2015

Fuente: Excel 2010

Realizado por: Milton Villacís, 2016

Tabla 4-17: Prueba de hipótesis t-student (muestras 2015-2016)

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	330,5666667	149,0216667
Varianza	63749,96906	29971,08211
Observaciones	12	12
Coefficiente de correlación de Pearson	0,001205667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>2,055420523</b>	
P(T<=t) una cola	0,032185803	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884819	
P(T<=t) dos colas	0,064371605	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,20098516</b>	

Fuente: Microsoft Excel 2010

Realizado por: Milton Villacís, 2016

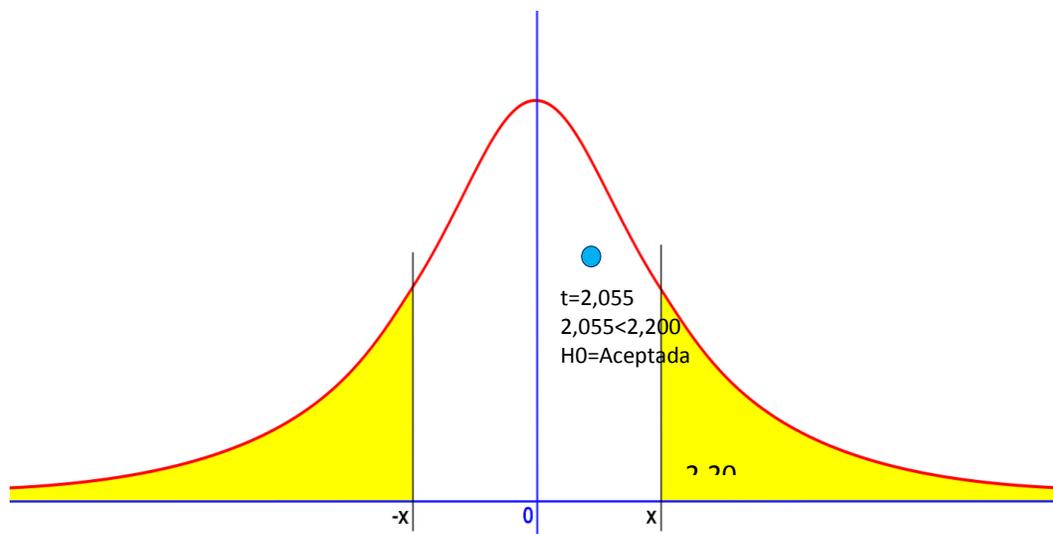


Figura 4-17. Punto de aceptación de la hipótesis para las muestras 2015-2016

Fuente: Microsoft Excel 2010

Realizado por: Milton Villacís, 2016

En el gráfico 4.17 graficamos el punto estadístico  $p(t) 1.4554 < 2.048$  con lo cual concluimos que con la aplicación de la metodología PMO reducimos las pérdidas de producción del PAD Cuyabeno C

## CONCLUSIONES

- Se han optimizado las tareas de mantenimiento de la Central de generación Cuyabeno, aplicando la metodología PMO (Optimización del mantenimiento Planificado)
- Se investigó la metodología PMO analizando las actividades desde el actual programa de mantenimiento, lo cual permitió depurar las actividades de un área del departamento de mantenimiento en particular, realizadas en un equipo o planta, convirtiéndolo en un valor agregado cuando se considera que alguna de las actividades son inefectivas o poco eficientes y añadiendo otras que son necesarias para la buena gestión del departamento de mantenimiento.
- Se ha realizado el análisis de modos de falla y se ha realizado su respectiva clasificación en la matriz FMECA, sin encontrarse modos de falla críticos.
- Se han analizado los índices de Confiabilidad, Disponibilidad y mantenibilidad, logrando mejorar estos, aplicando la metodología PMO
- Se han generado nuevas Tareas Proactivas, principalmente en componentes que no estaban ingresados al sistema informático, sino como parte de los grupos electrógenos creando los planes y tareas para estos, a fin de minimizar los efectos de falla y sus consecuencias.
- Se han consolidado todas las tareas y enviado al coordinador de mantenimiento para su ingreso al sistema informático Máximo Oil&Gas, a fin de que los planes ingresen de manera inmediata al programa de mantenimiento.
- Luego de observar los resultados obtenidos se concluye que la táctica de mantenimiento PMO es altamente efectiva en equipos que presentan numerosos modos de falla y en donde la gran mayoría de estos suelen ser aleatorios.
- El PMO, al igual que RCM, tiene en cuenta criterios como el medio ambiente, seguridad industrial y las pérdidas de producción, el número de fallas que afectan directamente estos tres ítems elevan la criticidad del equipo, además permite que se manejen de manera rápida y concisa.

- El *PMO* permite optimizar rápidamente los activos, mediante la planificación eficaz de las paradas programada e intervención de los equipos, permite además un buen manejo del presupuesto de mantenimiento y una amplia cobertura sobre los equipos.
- El *PMO* maximiza el beneficio que puede lograrse con el uso del sistema de gestión de activos EAM Máximo Oil&Gas, la revisión de las tareas y frecuencias de mantenimiento se actualizan en el sistema y se optimizan recursos
- El *PMO* no garantiza la cero ocurrencia de fallas evidentes simultaneas (pero esto tampoco lo garantiza ninguna otra táctica de mantenimiento), pero esto es lo que hace posible que esta táctica de mantenimiento sea fácilmente ejecutable y rentable para las diferentes empresas.
- Se analizado indicadores de mantenimiento, observándose el mejoramiento de los mismos en los dos últimos años.

## **RECOMENDACIONES**

- Luego de la aprobación de las nuevas tareas, se recomienda el ingreso inmediato de las mismas al sistema Máximo Oil&Gas.
- Se debe realizar la revisión continua del Job Plan ingresados al sistema.
- Se recomienda la implementación del mantenimiento autónomo para las tareas encomendadas al personal de operaciones.
- Incentivar la ejecución de las tareas de mantenimiento predictivo que hasta momento son insuficientes.
- Fortalecer la ejecución de las tareas del sistema de control a fin de evitar las fallas ocultas.
- Aplicar la metodología a las demás centrales del bloque 58 Cuyabeno.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**COLOMBIA. AICEM, (2014).** *Guía de los Fundamentos de Mantenimiento y Confiabilidad.* Bogotá Colombia, AICEM, 2014, pp. 22-25

[Consulta: 2015-11-19]

[http://www.aciem.org/home/images/CDN/CGMC\\_ACIEM/Guia\\_Fundamentos.pdf](http://www.aciem.org/home/images/CDN/CGMC_ACIEM/Guia_Fundamentos.pdf)

**DHILON, B. S.** *Engineering maintenance: a modern approach.* Florida USA. CR PRESS LLC. p. 56

[Consulta: 2016-03-21]

[http://site.iugaza.edu.ps/sabdelall/files/2010/02/Engineering\\_Maintenance\\_a\\_modern\\_approach.pdf](http://site.iugaza.edu.ps/sabdelall/files/2010/02/Engineering_Maintenance_a_modern_approach.pdf)

**ESPINOSA FUENTES, F.** *Balanced Scorecard Aplicado al Mantenimiento.* Universidad de Talca-Chile, 2014. p.3

[Consulta: 2015-07-27]

[www.researchgate.net/publication/235991607\\_BALANCED\\_SCORECARD\\_APLICADO\\_AL\\_MANTENIMIENTO](http://www.researchgate.net/publication/235991607_BALANCED_SCORECARD_APLICADO_AL_MANTENIMIENTO). 2015-09-23

**ESTADOS UNIDOS. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION.** *RCM guide reliability-centered maintenance guide for facilities and collateral equipment.* United State: NASA,2008, pp. 5\_23-1\_1-4\_9

[Consulta: 2016-02-28]

[https://fred.hq.nasa.gov/Assets/Docs/2015/NASA\\_RCMGuide.pdf](https://fred.hq.nasa.gov/Assets/Docs/2015/NASA_RCMGuide.pdf)

**INGLATERRA. BIS.** *Pas 55-1 Gestión de Activos,* London UK. British Standar Institute, 2008, pp. 6-8

**JIMENEZ, YOLANDA DE LAS MERCEDES,** *Método de William Fine* (En línea). p.1

[Consulta: 2016-03-20]

<https://es.scribd.com/doc/150071326/Metodo-de-William-Fine-docx>,

**KNEZEVIC, JEZDIMIR.** Mantenibilidad. Madrid-España: Isdefe, 1996. p 24

**MÉXICO. COLLANTES BOHÓRQUEZ, J.** *Cómo Lograr la excelencia del mantenimiento en un país latinoamericano.* VI Congreso Panamericano Ingeniería de Mantenimiento, 2004. México D. F, p.1

[Consulta: 2015-11-19]

<http://www.cmcm.com.mx/>

**MOBLEY, R. KEITH.** Plant engineer's Handbook. Tenesse-USA: Butterwort-Heineman, 2001, p.872. ISBN: 978-0-7506-7328-0

[Consulta: 2016-02-18]

<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780750673280>

**MORA, GUTIÉRREZ - Alberto. 2009.** *Mantenimiento Industrial Efectivo.* [ed.] Alberto Mora Gutierrez. 2. Medellin : Coldi Limitada, 2009. pág. 340. Vol. 1.

[Consulta: 2015-10-13]

<https://www.freelibros.org/informatica/mantenimiento-alberto-mora-gutierrez.html>

**MORA GUTIERREZ, Alberto.** *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de Servicios.* 1 ed. Medellin. Editorial AMG, 2005. 306 p

[Consulta: 2015-10-13]

<https://www.freelibros.org/informatica/mantenimiento-alberto-mora-gutierrez.html>

**MOUBRAY, JOHN MITCHELL.** RCM Reliability Centered Maintenance - Industrial Press Inc. [ed.] Guilford and Rob Lockhart Biddles Limited. [trad.] Sueiro y Asociados - Argentina Ellman. Primera en castellano. Leicestershire : Aladon Limited, 2004, pp.17-19-21.

**NORUEGA. NORSOK ESTÁNDAR, Anexo A Z-CR-008,** *Criticality analysis for maintenance purposes,* Noruega 2001, p.6.

**NORMA ISO 14224.** *Petroleum, petrochemical and natural gas industries-Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment* . **Switzerland ISO. 2006,** pp.18-19

**NORMA UNE-EN-15341.** *Indicadores Clave de rendimiento del mantenimiento.* Madrid-España. AENOR. 2008. p.14

**NORMA SAE-JA-1012.** **Society of Automotive Engineers Inc.** *Guia para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).* USA,400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001 2002, p. 5)

**PALENCIA. O. G,** *Optimización Real del Plan de Mantenimiento,* Colombia, Universidad pedagógica y tecnológica, 2007, pp. 13-14.

**PARRA, C.** *Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).*Venezuela 2002, pp. 7-44

**SEXTO, L.F.** *Mantenimiento de Clase mundial.* Material de estudio en Maestría de Gestión del Mantenimiento Industrial. Febrero 2014, pp. .2-3-7

**SEXTO, L.F.** *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)* Ecuador,2014, Radical Management, p.6

**SEXTO, L.F.** *Mantenimiento Productivo Total (TPM),* Ecuador, 2014, Radical Management, pp. 13-19.

**ISO 55001-2014.** *Asset management Management systems Requirements,* Switerland, ISO, pp. 7-8)

**TORRES, LEANDRO DANIEL.** Mantenimiento su implementación y gestión. Córdoba-Argentina: Universitarias, 2005, pp. 123-130-182

[Consulta: 2016-03-13]

<http://www.mantenimientomundial.com/sites/Libro/>

**TURNER, Steve.** *PM Optimization Programs Maintenance.* OMCS latino America. [En línea] 2009. .pp. 8-4-21-22.

[Consulta: 2015-12-22]

[www.pmoptimization.com](http://www.pmoptimization.com).

**VALDERRAMA, María del Pilar.** *Optimización del Plan de Mantenimiento (PMO),* Colombia, 2010, OMCS p.19

[Consulta: 2015-10-13]

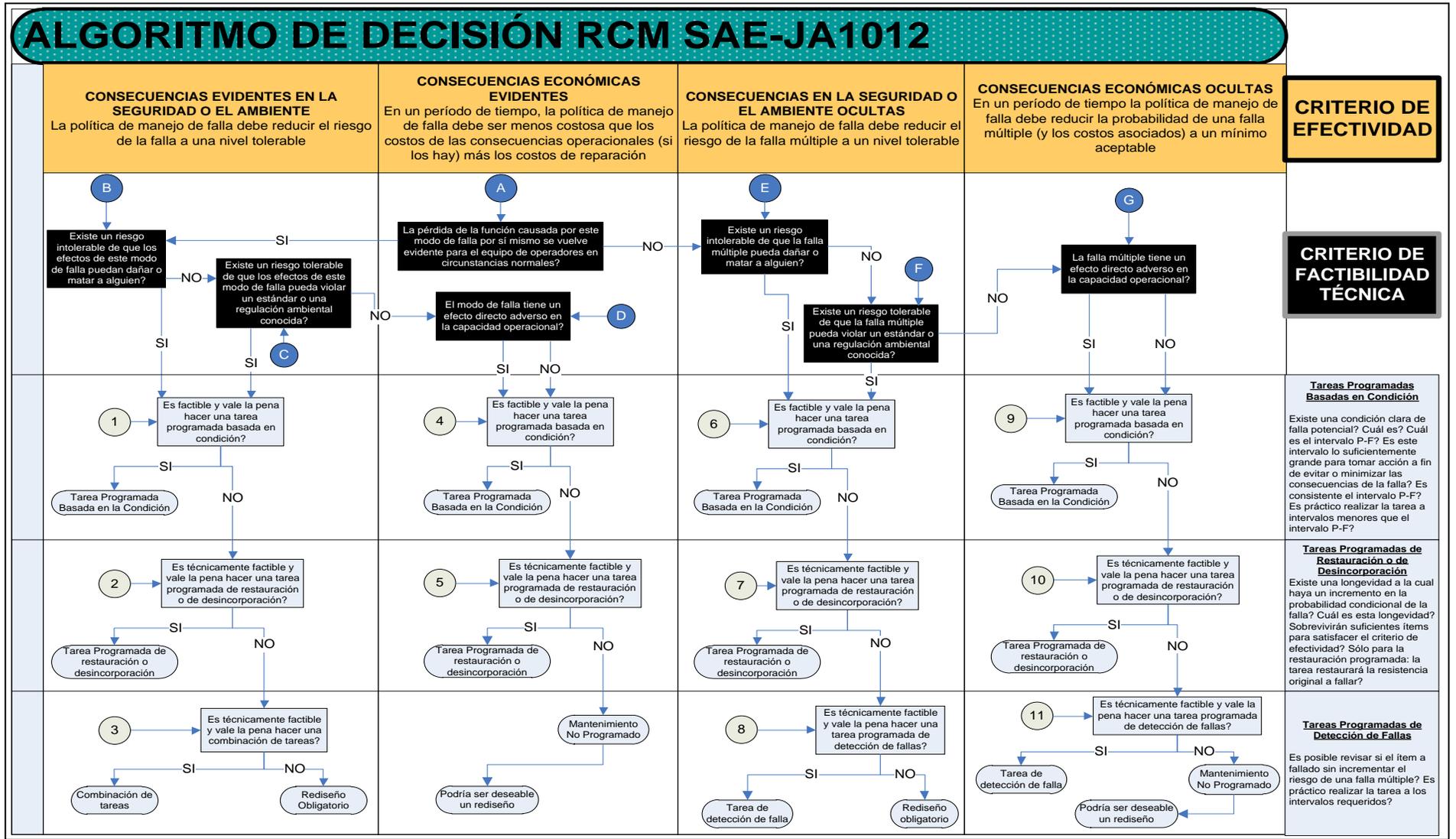
<https://reliabilityweb.com/assets/uploads/art/PDF/pmo.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO A. CHECK LIST DE OPERADOR (MANTENIMIENTO AUTÓNOMO)

CENTRAL DE GENERACIÓN CUYABENO				
Inspección Diaria				
Componente	Descripción de la Tarea	R	P	Obs.
MOTOR (1)	Chequeo de Nivel de Fluidos (Refrigerante, aceite) Para el aceite Verificar el nivel en la zona de la bayoneta motor en ON, si no dispone de indicador de nivel en el radiador realizar el chequeo de nivel de refrigerante sólo en motores apagados. De sr necesario realizar la completación en coordinación con el Técnico mecánico			
MOTOR (2)	Chequeo de Nivel de Fluidos (Refrigerante, aceite)			
MOTOR (3)	Chequeo de Nivel de Fluidos (Refrigerante, aceite)			
MOTOR (4)	Chequeo de Nivel de Fluidos (Refrigerante, aceite)			
MOTOR (5)	Chequeo de Nivel de Fluidos (Refrigerante, aceite)			
MOTOR (1)	Inspección de ruidos anormales			
MOTOR (2)	Inspección de ruidos anormales			
MOTOR (3)	Inspección de ruidos anormales			
MOTOR (4)	Inspección de ruidos anormales			
MOTOR (5)	Inspección de ruidos anormales			
GRUPO G1	DRENAJE DE FILTRO SEPARADOR (Racord) Drenar diariamente el agua y sedimentos del separador, drene hasta que vea la presencia de combustible limpio, no drene en exceso ya que pudiese ocasionar posteriores problemas de encendido.			
GRUPO G2	DRENAJE DE FILTRO SEPARADOR (Racord)			
GRUPO G3	DRENAJE DE FILTRO SEPARADOR (Racord)			
GRUPO G4	DRENAJE DE FILTRO SEPARADOR (Racord)			
GRUPO G5	DRENAJE DE FILTRO SEPARADOR (Racord)			
Sistema de Combustible	CHEQUEO DEL ESTADO DE LAS LÍENAS DE COMBUSTIBLE (Corrosión, deformación Liqueos, etc.)			
	LECTURA Y REGISTRO DE LA PRESIÓN DIFERENCIAL DE LOS FILTROS DE COMBUSTIBLE			
	CHEQUEO DE FUGAS EN BASES DE FILTROS, CONECTORES ETC.			
	VERIFICAR VALORES DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA			
	Chequeo visual del estado de Tanques de Almacenamiento			
GRUPO	Registro Operacional de Patio (llenar el formato)			
GRUPO	Registro operacional de Sala (Llenar el formato)			
	<b>R= Realizado P= Pendiente</b>			

## ANEXO B. DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM SEGÚN SAE-JA1012



ANEXO C. ANÁLISIS FMECA DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CUYABENO

	<b>SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD</b> <b>MATRIZ RCM</b> <b>03-RGT-007-01</b>	
	<b>ANÁLISIS FMECA</b>	<b>LOCACION: B-58</b>

SECCIÓN: MANTENIMIENTO

RCM GRUPO ELECTROGENO CATERPILLAR 3412C												
MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	DETECCION		SEVERIDAD	OCURRENCIA		VALOR DE RIESGO	CATEGORÍA RIESGO	TIPO DE MANTENIMIENTO SEGÚN SAE JA1012	TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA	FRECUENCIAS DE TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA	
FALLA EN ENERGIA, BREAKER PRINCIPAL DE AC ACCIONADO	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	15	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	AJUSTE DE TERMINALES	6 Meses
SOBRECALENTAMIENTO, TERMINALES CON SIGNOS DE ALTA TEMPERATURA	PERDIDA DE CONTROL DEL GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA	1	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	3	ACEPTABLE	Tareas de inspección y Mantenimiento Basado en Condición (CBM)	TERMOGRAFIA	12 Meses

CORTOCIRCUITO, PERDIDA DE AISLAMIENTO EN REGLETA DE BORNERAS DE DISTRIBUCION DC	I/O A FALLA SEGURA	NO DETECTABLE, SE DETECTA CUANDO ALGO HA FALLADO ANTES	10	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	NO HA SUCEDIDO	1	50	MODERADO	Tareas Combinadas (PMT-CBM)	INSPECCION Y LECTURA DE ESTATUS CONTROLADOR EMCP II	3 Meses
<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFEECTO DE FALLA</b>	<b>DETECCION</b>		<b>SEVERIDAD</b>		<b>OCURRENCIA</b>		<b>VALOR DE RIESGO</b>	<b>CATEGORÍA RIESGO</b>	<b>TIPO DE MANTENIMIENTO SEGÚN SAE JA1012</b>	<b>TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA</b>	<b>FRECUENCIAS DE TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA</b>
PANEL DE CONTROL Y/O CONTROLADOR DAÑADO	PARADA DEL MOTOR	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	15	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	LECTURA ESTATUS DEL CONTROLADOR	3 Meses
CORTO/CIRCUITO ABIERTO ARNES DE CABLES	PERDIDA DE CONTROL DEL GRUPO ELECTROGENO	NO DETECTABLE, SE DETECTA CUANDO ALGO HA FALLADO ANTES	10	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	150	NOTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	PRUEBAS DE CONTINUIDAD DE CABLES	12 Meses

FALLA HUMANA, APAGADO DEL SERVIDOR INVOLUNTARIO	PERDIDA DE VISUALIZACION Y CONTROL DEL GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA	1	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	3	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	INSPECCION TOMA CORRIENTES	4 Meses
CIRCUITO ABIERTO, CABLE ROTO EN LINEA LP	APAGADO DE GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE CON UN ANALISIS ESPECIFICO Y PARANDO EQUIPO	8	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 1000 USD	3	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	72	NOTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	REAJUSTE DE TERMINALES Y BORNERAS	6 Meses
CORTOCIRCUITO, CABLES PELADOS LOS AISLAMIENTOS ENTRE SALA DE CONTROL Y GENERADOR	APAGADO DE GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE CON UN ANALISIS ESPECIFICO Y PARANDO EQUIPO	8	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 1000 USD	3	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	72	NOTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	PRUEBAS DE CONTINUIDAD DE CABLES	12 Meses
<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFFECTO DE FALLA</b>	<b>DETECCION</b>		<b>SEVERIDAD</b>		<b>OCURRENCIA</b>		<b>VALOR DE RIESGO</b>	<b>CATEGORIA RIESGO</b>	<b>TIPO DE MANTENIMIENTO SEGUN SAE JA1012</b>	<b>TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA</b>	<b>FRECUENCIAS DE TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA</b>

FALLA HUMANA, ACCIDENTALMENTE ROMPEN AL CABLE DE RED	APAGADO DE GRUPO ELECTROGENO	NO DETECTABLE, SE DETECTA CUANDO ALGO HA FALLADO ANTES	10	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 1000 USD	3	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	90	NOTABLE	Rediseño	REINDUCCION Y ENTRENAMIENTO ESPECIFICO EN LOS SISTEMAS DE CONTROL A PERSONAL RESPONSABLE	12 Meses
FACTOR AMBIENTAL, LA HUMEDAD PROVOCAN FALLA DE AISLAMIENTO PROVOCANDO ERROR EN COMUNICACIONES	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA	DETECTABLE POR UNA INSPECCION PREDICTIVA	5	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 1000 USD	3	MTBF < 30 DIAS (+12 veces año)	10	150	NOTABLE	Tareas de inspección y Mantenimiento Basado en Condición (CBM)	REALIZAR MONITOREO DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA CON EBUTTON	4 Meses
CORTOCIRCUITO, MALLA Y CONDUCTOR INTERNO UNIDOS PRODUCEN ERROR EN LA RED	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA	DETECTABLE CON UN ANALISIS ESPECIFICO Y PARANDO EQUIPO	8	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	120	NOTABLE	Tareas de inspección y Mantenimiento Basado en Condición (CBM)	PRUEBAS DE TRAFICO DE RED	12 Meses
SIN SEÑAL, CABLE ROTO INTERRUPE LAS COMUNICACIONES	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA	DETECTABLE CON UN ANALISIS ESPECIFICO Y PARANDO EQUIPO	8	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	120	NOTABLE	Tareas de inspección y Mantenimiento Basado en Condición (CBM)	PRUEBAS DE TRAFICO DE RED	12 Meses

MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	DETECCION	SEVERIDAD	OCURRENCIA	VALOR DE RIESGO	CATEGORÍA RIESGO	TIPO DE MANTENIMIENTO SEGÚN SAE JA1012	TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA	FRECUENCIAS DE TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA
BAJO NIVEL DE REFRIGERANTE EN EL RADIADOR	PARO DEL GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 1000 USD	3	9	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	CHEQUEO DE NIVEL DEL REFRIGERANTE DEL MOTOR	Diaria
MECANICOS, TUBERIA DE SALIDA DEL AGUA ROTA	PARO DEL GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	15	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	INSPECCION DE TUBERIAS Y PRUEBAS HIDROSTATICAS	6 Meses
AVERÍA EN BOMBA DE AGUA DEL MOTOR	PARO DEL GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	15	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	CAMBIO DE BOMBA DE AGUA DEL MOTOR	18 Meses
RADIADOR SUCIO	ALARMA DE ALTA TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS	5	15	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	LIMPIEZA DE RADIADOR	Quincenal

	E DEL MOTOR			MENORES A 10000 USD	veces al año)							
DIODOS QUEMADOS	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	15	ACEPTABLE	RTF	CAMBIO DE PUENTE DE DIODOS	(-----)
<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA</b>	<b>DETECCION</b>		<b>SEVERIDAD</b>		<b>OCURRENCIA</b>		<b>VALOR DE RIESGO</b>	<b>CATEGORÍA A RIESGO</b>	<b>TIPO DE MANTENIMIENTO SEGÚN SAE JA1012</b>	<b>TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA</b>	<b>FRECUENCIAS DE TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA</b>
VARISTOR EN CORTO	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 1000 USD	3	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	9	ACEPTABLE	RTF	REEMPLAZO DE VARISTOR	(-----)
REGULADOR DE VOLTAJE QUEMADO O DESCONFIGURADO	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 1000 USD	3	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	9	ACEPTABLE	RTF	REEMPLAZO Y/O CONFIGURACIÓN DEL REGULADOR DE VOLTAJE	(-----)

BOBINAS EN CORTO O CIRCUITO ABIERTO	PERDIDA DE GENERACION ELECTRICA	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 1000 USD	3	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	9	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	MEGADO/PRUEBAS DE AISLAMIENTO DE BOBINAS	12 Meses
PERDIDA DE TIERRA INTERMITENTE POR FALTA DE AJUSTE	SHUTDOWN DE GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE CON UN ANALISIS ESPECIFICO Y PARANDO EQUIPO	8	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 1000 USD	3	NO HA SUCEDIDO	1	24	MODERADO	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	AJUSTE DE TERMINALES	6 Meses
UPS EN FALLA	SHUTDOWN DE GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 1000 USD	3	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	9	ACEPTABLE	Tareas de inspección y Mantenimiento Basado en Condición (CBM)	REVISION DE ESTATUS	3 Meses
<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFEECTO DE FALLA</b>	<b>DETECCION</b>		<b>SEVERIDAD</b>		<b>OCURRENCIA</b>		<b>VALOR DE RIESGO</b>	<b>CATEGORÍA RIESGO</b>	<b>TIPO DE MANTENIMIENTO SEGÚN SAE JA1012</b>	<b>TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA</b>	<b>FRECUENCIAS DE TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA</b>
FALLA EN ENERGIA, PERDIDA DE CONFIGURACIÓN CONTROLADOR GENCO	SHUTDOWN DE GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS	3	NO HA SUCEDIDO	1	3	ACEPTABLE	Tareas de inspección y Mantenimiento Basado en	REVISION DE ESTATUS	3 Meses

				MENORES A 1000 USD						Condición (CBM)		
CONTROLADOR GENCO DAÑADO	SHUTDOWN DE GRUPO ELECTROGE NO	<i>DETECTABL E A SIMPLE VISTA</i>	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMIC AS MENORES A 1000 USD	3	<i>MTBF &gt;180 DIAS (1 o menos veces al año)</i>	3	9	ACEPTABL E	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	REVISION DE ESTATUS	3 Meses
FALLA HUMANA, PULSACION ACCIDENTAL DEL BOTON DE ESD	SHUTDOWN DE GRUPO ELECTROGE NO	<i>DETECTABL E A SIMPLE VISTA</i>	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMIC AS MENORES A 1000 USD	3	<i>MTBF &gt;180 DIAS (1 o menos veces al año)</i>	3	9	ACEPTABL E	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	REVISAR SENALIZACION DE LOS PULSADORES	3 Meses
FALLA DE BOMBA DE TRANSFERENCIA	PERDIDA DE GENERACION DE ENERGIA	<i>DETECTABL E A SIMPLE VISTA</i>	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMIC AS MENORES A 1000 USD	3	<i>NO HA SUCEDID O</i>	1	3	ACEPTABL E	RTF	CAMBIO /REPARACIÓN DE BOMBA DE TRANSFERENCIA	(-----)
FILTROS SATURADOS	PERDIDA DE GENERACION DE ENERGIA	<i>DETECTABL E A SIMPLE VISTA</i>	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMIC AS	3	<i>MTBF &gt;180 DIAS (1 o menos</i>	3	9	ACEPTABL E	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	CAMBIO DE ELEMNTOS FILTRANTES	Mensual

MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	DETECCION	SEVERIDAD	OCURRENCIA	VALOR DE RIESGO	CATEGORÍA RIESGO	TIPO DE MANTENIMIENTO SEGÚN SAE JA1012	TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA	FRECUENCIAS DE TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA
BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE	PERDIDA DE GENERACION DE ENERGIA	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	15	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	REVISAR STATUS DE LAS LÍNEAS DE COMBUSTIBLE	Diaria
ROTURA DE TANQUE DIARIO	PERDIDA DE GENERACION DE ENERGIA	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	15	ACEPTABLE	RTF	MEDICION DE ESPESORES	2 Años
FALLA HUMANA, MAL ALINEAMIENTO DE VALVULAS	SHTDOWN DE LA PLANTA	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	15	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	CAPACITACION AL PERSONAL	12 Meses

FALLA INSTRUMENTOS	SHUTDOWN DEL GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	15	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	CUMPLIR CON FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO	
BAJA PRESION DE ACEITE	PERDIDA DE GENERACION DE ENERGIA	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	15	ACEPTABLE	Tareas de inspección y Mantenimiento Basado en Condición (CBM)	CUMPLIR CON FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO	
<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA</b>	<b>DETECCION</b>		<b>SEVERIDAD</b>		<b>OCURRENCIA</b>		<b>VALOR DE RIESGO</b>	<b>CATEGORÍA RIESGO</b>	<b>TIPO DE MANTENIMIENTO SEGÚN SAE JA1012</b>	<b>TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA</b>	<b>FRECUENCIAS DE TAREA DE MANTENIMIENTO NUEVA</b>
CAVITACION DE LA BOMBA DE ACEITE	SHUTDOWN DEL GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	MTBF >180 DIAS (1 o menos veces al año)	3	15	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	VENTEO DE SISTEMA DE LUBRICACION	12 Meses
ALTA TEMPERATURA DE ACEITE	SHUTDOWN DEL GRUPO ELECTROGENO	DETECTABLE A SIMPLE VISTA	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS	5	MTBF >180 DIAS (1 o menos	3	15	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	CUMPLIR CON FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO	

				MENORES A 10000 USD		<i>veces al año)</i>						
ALTA PRESION DEL CARTER	SHUTDOWN DEL GRUPO ELECTROGENO	<i>DETECTABLE A SIMPLE VISTA</i>	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	<i>MTBF &gt;180 DIAS (1 o menos veces al año)</i>	3	15	ACEPTABLE	Pruebas funcionales y/o Mantenimiento Preventivo (PMT)	LIMPIEZA DE INYECTORES	12 Meses
ROTURA DE ACOPLER FLEXIBLES	SHUTDOWN DEL GRUPO ELECTROGENO	<i>DETECTABLE A SIMPLE VISTA</i>	1	NO AFECTA A SSA, PERDIDAS ECONOMICAS MENORES A 10000 USD	5	<i>MTBF &gt;180 DIAS (1 o menos veces al año)</i>	3	15	ACEPTABLE	Tareas de inspección y Mantenimiento Basado en Condición (CBM)	CUMPLIR CON FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO	

## ANEXO D. ANÁLISIS CAUA RAIZ, PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CUYABENO B58

### OBJETIVOS:

- Determinar las causas que provocaron la parada imprevista de 3 grupos electrógenos de la central de generación Cuyabeno.
- Establecer las posibles fallas potenciales con la finalidad de mitigar o eliminar definitivamente las causas que ocasionen paros inesperados.

### DEFINICIÓN DEL PROBLEMA:

<b>Qué</b>	<b>Problema (s)</b>	Parada imprevista de 3 grupos electrógenos central Cuyabeno.
	<b>Cuándo</b>	23 de Octubre del 2015
<b>Donde</b>	<b>Hora</b>	13H20 PM
	<b>Locación</b>	GENERACION CYB
<b>Impacto</b>	<b>Tarea que se estaba realizando</b>	Suministro eléctrico a ramal norte, unidades de transferencia de oleoducto.
	<b>Seguridad (SI/NO)</b>	NO
	<b>Medioambiente (SI/NO)</b>	NO
	<b>Producción (SI/NO)</b>	SI (364 Bbls)
	<b>Activo, propiedad (SI/NO)</b>	NO
	<b>Mano de obra, tiempo MNT(SI/NO)</b>	SI (65min).

### SECUENCIA DE EVENTOS (TIME LINE):

#### 23/10/2015, 13:20 pm – SHUT DOWN DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN

El día 23 de octubre del 2015 se encontraban en operación las unidades 1, 2, 3, 4, 5, y 7; siendo las 12:20 la unidad 2 de generación se apaga súbitamente sin presentar ningún alarma en el tablero, se procede apagar la unidad desde el tablero de la sala de control, a las 12:25 inesperadamente se cierra el breaker de la unidad 2 presentando alarma de **IOB1:E** lo que ocasiona que toda la central de generación vaya a Shut down.

Se revisa todas las alarmas en los equipos de la central de generación y tableros

#### 23/10/2015, 13:30 pm - ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA CON CARGA LA CENTRAL DE GENERACION

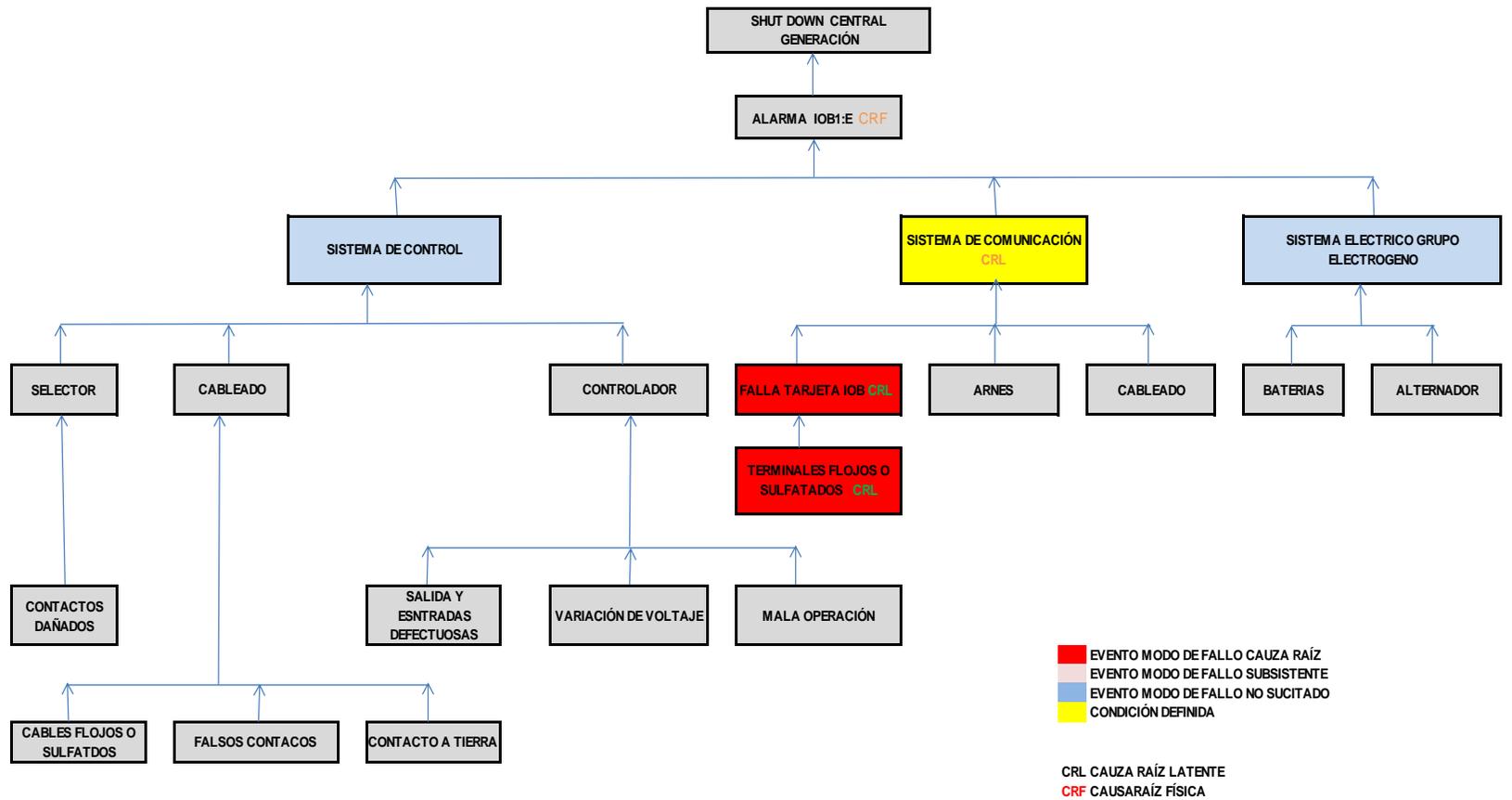
Inmediatamente se resetean las alarmas presentes y se encienden los grupos electrógenos, sistemas auxiliares se quedan sin energía por daños en el UPS, siendo necesario realizar conexiones del UPS existente (equipo Nuevo) para abastecer de energía a los sistemas auxiliares y realizar el arranque de las unidades.

Quedan en operación las unidades 1, 3, 4, 5,6, y 7 el generador 2 queda en correctivo, se comunica al departamento de producción que inicien el encendido de los variadores de los pozos PAD's CYB C, K. y bombas de oleoducto.

### MATRIZ DE DECISION PARA INICIO DE ACR

		Afectación	Responsable	Criterios	Target	Fuente
PROBABILIDAD	CONSECUENCIA	Producción	MNT	% producción diaria campo	Bbls	Portal de operaciones
	FALLAS RECURRENTES O CRÓNICAS	MTBF	MNT	Tasa de Fallos/ Tiempo de Operación	58.4	CMMS
		Disponibilidad	MNT	Tiempos de Operación/Tiempos de Mantenimiento	<99%	Horómetros/ Reportes de MNT

<b>OCURRENCIA</b> (Tiempo medio entre fallas)	<b>30 O MENOS</b>					
	<b>60 a 31</b>				X	
	<b>180 a 61</b>					
	<b>181 a 365</b>					
	<b>más de 365</b>					
Impacto al activo USD		0 a 10	11 a 100	101 a 1000	1000 a 10 Mil	10 Mil o más
Impacto a la Producción (bbl oil)		0 a 1	2 a 10	11 a 100	101 a 1000	1000 o más
<b>FRACAS – ACR</b>						
<b>MATRIZ DE DECISIÓN</b>		CONSECUENCIA				



**ARBOL DE FALLA (Fault Tree):**

## RESUMEN DE LA INSPECCIÓN Y HALLAZGOS:

### HALLAZGOS:

Tarjeta IOB defectuosa

### EFFECTOS DE FALLA:

Desabastecimiento de energía eléctrica de los PAD C y K, y las bombas de transferencia Cuyabeno, pérdida de 364 Bbls.

### CAUSAS DE FALLA / DESVIACION:

- **Causa Física:**
  - Controlador Gencon y tarjeta IOB Defectuosos.
- **Causa Humana:**
- **Causa Latente:**
  - Tarjetas IOB y controlador Gencon cumplieron vida útil.

### PLAN DE ACCIÓN:

ACCIONES A TOMAR	RESPONSABLE	PLAZO
Evaluar la calidad de energía de UPS	Supervisores de SEIP	Inmediato
cambio de controlador GENCON y tarjeta IOB	Supervisores de generación	6 Noviembre 2015
Chequeo de configuración de las unidades de generación de la central y análisis	Supervisores de Generación	6 Noviembre 2015
Verificación de ajuste de terminales de los tableros de la sala de control de generación	Supervisores de Generación	3 Noviembre 2015
Revisar Configuración de parámetros y sesteos de los disyuntores	Supervisores de Generación	3 Noviembre 2015

Instalación de ventilación forzada en uno de los paneles de control y posterior evaluación	Supervisores de Generación	15 Noviembre 2015
Medición de ultrasonido y detección de terminales flojos.	Confiabilidad	6 Noviembre 2015

#### CONCLUSIONES.

- Se realizó la orden de compra 268801 para la adquisición de tarjetas IOB con fecha 20 de Abril del 2015, la cual fue anulada.

## ANEXO E . ANÁLISIS CAUSA RAIZ EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN CUYABENO B58

### OBJETIVOS:

- Determinar las causas que provocaron la parada imprevista de 3 grupos electrógenos de la central de generación Cuyabeno.
- Establecer las posibles fallas potenciales con la finalidad de mitigar o eliminar definitivamente las causas que ocasionen paros inesperados.

### DEFINICIÓN DEL PROBLEMA:

<b>Qué</b>	<b>Problema (s)</b>	Parada imprevista de 3 grupos electrógenos central Cuyabeno.
	<b>Cuándo</b>	03 de Octubre del 2015
<b>Donde</b>	<b>Hora</b>	16H05 PM
	<b>Locación</b>	GENERACION CYB
<b>Impacto</b>	<b>Tarea que se estaba realizando</b>	Suministro eléctrico a ramal norte, unidades de transferencia de oleoducto.
	<b>Seguridad (SI/NO)</b>	NO
	<b>Medioambiente (SI/NO)</b>	NO
	<b>Producción (SI/NO)</b>	SI (230 Bbls)
	<b>Activo, propiedad (SI/NO)</b>	NO
	<b>Mano de obra, tiempo MNT(SI/NO)</b>	SI (55min).

### SECUENCIA DE EVENTOS (TIME LINE):

**03/10/2015, 16:05 pm – PARADA DE 3 GRUPOS ELECTROGENOS DE LA CENTRAL DE GENERACION**

El día 03 de octubre del 2015 a las 13H00 se reporta que hay problemas de baja presión de combustible en el grupo electrógeno N°7, de manera que se limpian los filtros del motor, así como las líneas de combustible y filtro de manga del sistema, y aproximadamente a las 16H05 se produce el shutdown de los grupos electrógenos N° 1, 2, 3, debido a la baja presión de combustible del sistema, por motivo de la contaminación del diésel que ingresa a las unidades, originando una fluctuación de energía en la red eléctrica que provoca

que se apaguen los equipos de superficie de los pozos del ramal norte PAD's CYB C, K, así como las bombas de transferencia de oleoducto.

Los generadores N° 4 y 5 de la central continuaron encendidos alimentando al ramal norte.

**03/10/2015, 17:00 pm - ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA CON CARGA LA CENTRAL DE GENERACION**

Inmediatamente se resetean las alarmas presentes y se encienden los grupos electrógenos N° 1, 2 y 3, luego a las 16H15 se comunica al departamento de producción que inicien el encendido de los variadores de los pozos PAD's CYB C, K.

A continuación se realiza un flushing del sistema de combustible, luego la limpieza de las tuberías de diésel, así como los filtros de combustible de las unidades N° 5, 6 y 7, a las 16H45 se finaliza el arranque de los equipos de superficie, posteriormente a las 17H00 se encienden los grupos electrógenos N° 5, 6, 7 y se normaliza el sistema de bombeo de oleoducto.

Finalmente se cambian los filtros primarios de combustible de las unidades restantes.

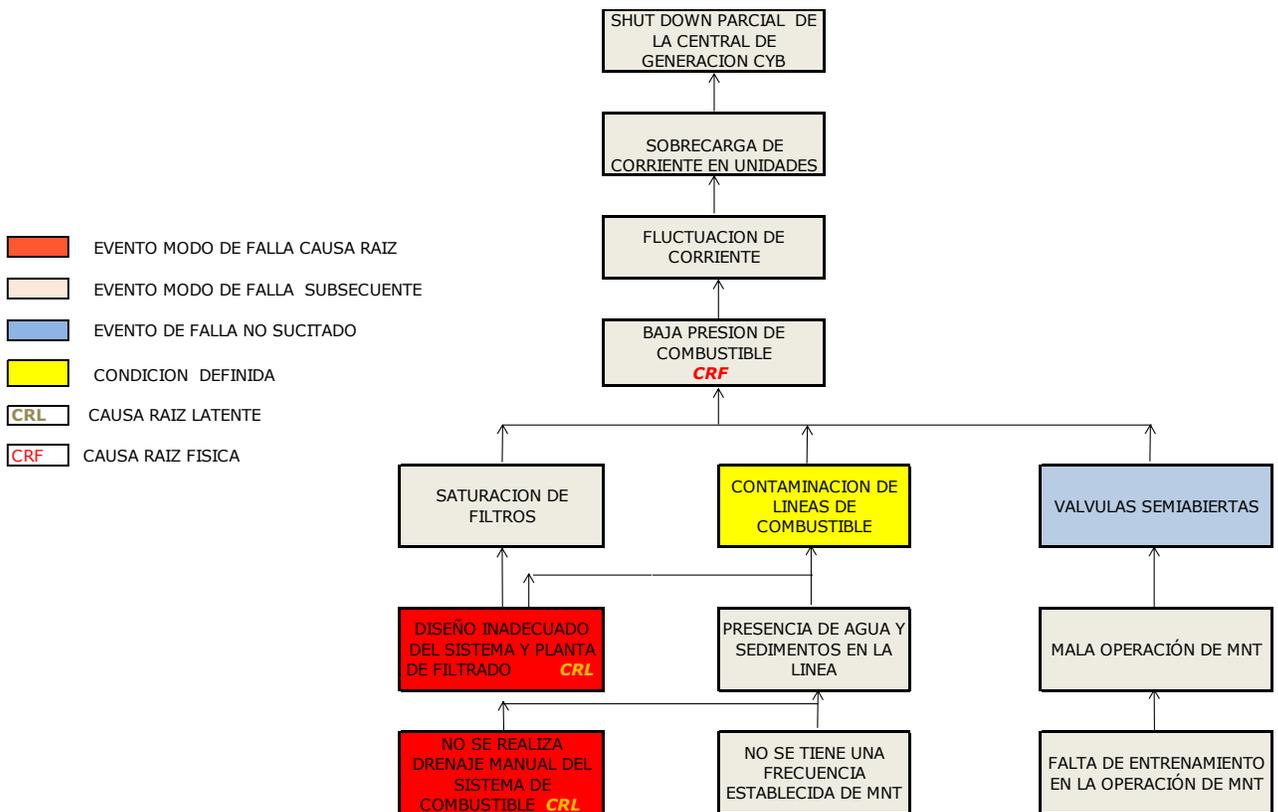
**MATRIZ DE DECISION PARA INICIO DE ACR**

		Afectación	Responsable	Criterios	Target	Fuente
PROBABILIDAD FALLAS RECURRENTE O CRÓNICAS	CONCECUENCIA FALLAS	Producción	MNT	% producción diaria campo	Bbls	Portal de operaciones
		MTBF	MNT	Tasa de Fallos/ Tiempo de Operación	60	CMMS
		Disponibilidad	MNT	Tiempos de Operación/Tiempos de Mantenimiento	<99%	Horómetros/ Reportes de MNT

OCURRENCIA Tiempo medio entre fallas	30 O MENOS					
	60 a 31				X	

	180 a 61					
	181 a 365					
	más de 365					
Impacto al activo USD	0 a 10	11 a 100	101 a 1000	1000 a 10 Mil	10 Mil o más	
Impacto a la Producción (bbl oil)	0 a 1	2 a 10	11 a 100	101 a 1000	1000 o más	
FRACAS – ACR MATRIZ DE DECISIÓN	CONSECUENCIA					

**ARBOL DE FALLA (Fault Tree):**



## RESUMEN DE LA INSPECCIÓN Y HALLAZGOS:

### HALLAZGOS:

Se encuentra gran cantidad de sedimentos en los filtros y líneas de combustible.



### EFFECTOS DE FALLA:

Desabastecimiento de energía eléctrica de los Pads C y K, y las bombas de transferencia Cuyabeno, pérdida de 230 Bbls.

### CAUSAS DE FALLA / DESVIACION:

- **Causa Física:**
  - Baja presión de combustible en el sistema.
- **Causa Humana:**
  - Mala operación en el MNT.
- **Causa Latente:**
  - Diseño inadecuado del sistema de combustible.

### PLAN DE ACCIÓN:

CAUSA	ACCIONES A TOMAR	RESPONSABLE	PLAZO
No se realiza el drenaje manual del tanque y pulmón	Establecer una rutina de drenaje del sistema de combustible	Supervisores de generación	Inmediato
Diseño inadecuado del sistema y planta de filtrado de combustible	Modificación del diseño de líneas y filtros del sistema de combustible.	Supervisores de generación	60 días
No se tiene establecida una frecuencia de MNT	Establecer una frecuencia análisis de combustible, MNT de limpieza filtros e ingresar en el CMMS.	IGA	30 días

## ANEXO F. PROFESIOGRAMA

 <b>PROFESIOGRAMA</b>		<b>PROFESIOGRAMA DE CARGOS PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN DE SSA</b>					SSA-PAM-01-2017
OPERATIVA							
CARGO	OBJETO DEL CARGO	ACTIVIDADES	MATERIALES	PERFIL EDUCATIVO	PERSONALIDAD	RIESGOS	
ASISTENTE DE MANTENIMIENTO	<p>DAR EL SOPORTE NECESARIO A LOS TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO DE LAS DIFERENTES ÁREAS DEL DEPARTAMENTO AYUDANDOLES A OPTIMIZAR LOS TIEMPOS, TAREAS, COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN CUYABENO BLOQUE 58</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Interpretar planos</li> <li>2. Conocer los procedimientos tanto de las tareas encomendadas como se SSA</li> <li>3. Preparar y acondicionar el material, herramientas y los repuestos a utilizar en las tareas de mantenimiento</li> <li>4. Ejecutar de manera eficiente las tareas asignadas, cumpliendo de manera prolija las normas de seguridad salud y medio ambiente</li> <li>5. Informar al o los técnicos cualquier condición insegura que pueda presentarse durante la ejecución de las tareas de mantenimiento</li> </ol>	<p>Herramientas manuales, Medidores de campo, material de limpieza, Equipo de protección personal (EPP), Desengrasante biodegradable</p>	<p>Bachiller técnico en mecánica, eléctrico, electrónico o industrial, Técnico superior, o Tecnólogo electromecánico</p>	<p>Persona proactiva, con capacidad de reaccionar ante situaciones de riesgo a la seguridad salud y medio ambiente, facilidad de relacionarse con otras áreas de la organización</p>	<p>Eléctricos, Trabajo en altura, contaminación, derrames, espacios confinados, vapores, humos,</p>	