

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



**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS
EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303 DE LA
PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN DE PDVSA GAS**

Realizado por:

Duque H., Yineth C.

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

INGENIERO INDUSTRIAL

Anaco, Octubre 2017

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



DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS
EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303 DE LA
PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN DE PDVSA GAS

Revisado por:

M.Sc. Juan C., Bousquet
Asesor Académico

Anaco, Octubre 2017

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



**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS
EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303 DE LA
PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN DE PDVSA GAS**

Jurado Calificador:

El jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de:

APROBADO

M.Sc. Juan C., Bousquet
Asesor Académico

Ing. Ledezma, Melchor
Jurado Principal

Ing. Brizuela, Giovanni
Jurado Principal

Anaco, Octubre de 2017

RESOLUCIÓN

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

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

DEDICATORIA

Después de ver finalizada una de mis tan anheladas metas, quiero dedicar este triunfo a las personas que de una u otra manera me apoyaron en los momentos buenos y malos durante mis años de estudio:

Primeramente a Dios Todopoderoso y a la Virgen del Valle por iluminar mi camino, llenarme de bendiciones y de todo el entusiasmo para seguir adelante con todo lo que me proponga.

A mi madre Carolina Hernández, por enseñarme lo bello que tiene la vida y a tener paciencia en todos los momentos difíciles, este logro te lo dedico a ti por ayudarme, escucharme y además de ser mi madre, también eres mi padre, eres mi amiga, eres mi fuente de inspiración, lo logramos, te amo.

A Adolfo Duque, gracias por enseñarme a ser constante, luchadora y brindarme el apoyo para alcanzar esta meta.

A mi hermano Abelardo Duque por ser mi motivo de inspiración para el logro de esta meta y que esto te sirva de ejemplo para su futuro.

A mis familiares, en especial a mi abuela Honoria Rodríguez, por darme su apoyo incondicional y motivación desde el principio y final de esta etapa por su sonrisa, cariño y su pureza, los amo.

A todos mis amigos y amigas por brindarme su amistad sincera y por haberme acompañado en mis momentos de alegrías y tristezas.

Yineth Duque Hernández

AGRADECIMIENTOS

El siguiente trabajo de grado representa el logro de una de las metas más importantes que me he propuesto para la vida, es por esto que quiero agradecer a todos aquellos que, de una u otra forma, hicieron posible el cumplimiento de esta meta.

A DIOS, por permitirme ver la luz del día, cada día y por estar siempre a mi lado, sin importar que en ocasiones dude de su presencia.

A mi Madre, por hacer todo lo posible para que pudiese cumplir con todas mis metas planteadas.

A mi Tía María Victoria, por su constancia, dedicación y apoyo que necesite para la construcción de toda esta historia.

A mi hermano, abuela y demás familiares, por estar pendiente de mí, deseando siempre, cosas buenas para mi futuro.

A mis primas y primos, Daviana, Yerardith, Gabriel, Romer, y en especial a mi negra Oriana por brindarme todo su apoyo y dedicación al logro de esta gran meta. Las adoro muchísimo.

A mi gran amigo Alberto Rondon; que ha sido una gran motivación, por siempre estar pendiente, apoyándome en todo y especialmente en este logro. Deseándome siempre el mayor de los éxitos.

A mis amigos, que han sido como hermanos, especialmente a Ismar, Bárbara, Wilmer, Aileen, entre muchos otros; siempre tendiéndome la mano al momento que lo necesitara, sin esperar nada a cambio. Los quiero mucho.

A Bernardo Marchena, quien con su infinita paciencia siempre estuvo a disposición a cualquier hora para prestarme toda la información y apoyo necesario que necesite para que esto se llevará a cabo.

A mi asesor académico, M.Sc. Juan Carlos Bousquet por estar siempre disponible y dispuesto en todo momento a colaborar.

A la UNIVERSIDAD DE ORIENTE, Núcleo de Anzoátegui Extensión Región Centro-Sur, Anaco y sus profesores, por contribuir en mi formación, tanto académica como personal.

A la Planta de Extracción San Joaquín, PDVSA Gas, por permitirme desempeñar mi tesis en sus instalaciones, A la Sra. Ing. Eva Perozo. A la Sra. Ing. Roxcelis por ayudarme y guiarme en el desarrollo del trabajo. Al departamento de Mantenimiento de la Planta Extracción San Joaquín (ESJ), por estar pendiente de mí y por ayudarme en todo momento.

Yineth Duque Hernández

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



**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS
EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303 DE LA
PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN DE PDVSA GAS**

Autor: Duque H., Yineth C.

Tutor: M.Sc. Bousquet, Juan C.

Fecha: Octubre de 2017

RESUMEN

El proyecto de investigación consistió en la descripción de actividades de mantenimiento preventivo a los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303 de la Planta de ESJ basado en el MCC, para garantizar la continuidad operativa y la generación oportuna del servicio eléctrico para cubrir la demanda del SEN. Inicialmente, se describió el problema que estos equipos tienen para que el Turbogenerador se mantenga operativo. Luego, se describieron los aspectos metodológicos enlistando los veinticuatro (24) equipos, constituidos en: bombas, motores, compresores y enfriadores. La investigación fue de tipo descriptiva, con un diseño de campo. Se describió el contexto operacional para luego identificar las características técnicas del Turbogenerador. Se aplicó la técnica AMEF por lo que se esquematizaron los resultados obtenidos en las hojas de información correspondientes. Se determinaron las veintiún (21) tareas de mantenimiento a través del ALD. Así mismo, se elaboró el plan de mantenimiento según lineamientos expuestos en la norma ISO 10013. Finalmente, se estimaron los costos para la puesta en marcha del plan propuesto. Se identificaron ocho (08) funciones; quince (15) fallas funcionales y treinta y nueve (39) modos de fallas. Ante estos resultados, se recomendó poner en marcha de manera inmediata lo propuesto en el plan de mantenimiento.

Descriptores: Mantenimiento, plan, MCC, AMEF, Turbogenerador, norma ISO 10013.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I.....	17
EL PROBLEMA	17
1.1.- Planteamiento del Problema	17
1.2.-Objetivos de la Investigación.....	21
1.2.1.- Objetivo General.....	21
1.2.2.-Objetivos Específicos	21
1.3.- Justificación de la Investigación	21
1.4.- Generalidades De La Empresa.....	23
1.4.1.- Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima Gas (PDVSA Gas).	23
1.4.1.1.- Visión, Misión y Objetivo de PDVSA Gas	23
1.4.1.2.- Historia PDVSA GAS	24
1.4.2.- Complejo Criogénico de Oriente (CCO)	25
1.4.3.- Generalidades de la Planta Extracción San Joaquín	26
1.4.3.1.-Misión	26
1.4.3.2.- Visión.....	26
1.4.3.3.- Objetivos de la Calidad.....	27
1.4.3.4.- Reseña Histórica	27
1.4.3.5.- Organigrama Funcional de la Planta Extracción San Joaquín.....	29
1.4.3.6.- Ubicación de las Áreas Internas de la Planta de Extracción San Joaquín	31
CAPÍTULO II	32
MARCO TEÓRICO.....	32
2.1.- Antecedentes de la investigación.....	32
2.2.- Bases Teóricas	36
2.2.1.- Definición de Mantenimiento	37
2.2.2.- Objetivos del Mantenimiento	37
2.2.3.- Recursos de Mantenimiento	38
2.2.4. Principios Generales del Mantenimiento	39
2.2.5. Tipos de Mantenimientos.....	39
2.2.5.1.- Mantenimiento Rutinario.....	40

2.2.5.2.-Mantenimiento Programado	40
2.2.5.3.-Mantenimiento por Avería o Reparación.....	40
2.2.5.4.-Mantenimiento Correctivo	41
2.2.5.5.-Mantenimiento Circunstancial	41
2.2.5.6.-Mantenimiento Mayor	42
2.2.5.7.- Mantenimiento Predictivo.....	42
2.2.5.8.- Mantenimiento Preventivo.....	42
2.2.6.- Contexto Operacional	43
2.2.7.- Equipo Natural de Trabajo.....	43
2.2.8.-Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).....	44
2.2.9.- Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF).....	44
2.2.10.- Funciones	45
2.2.11.-Estructuración del AMEF	46
2.2.12.- Consecuencia de las Fallas	47
2.2.13.- Árbol lógico de Decisión (ALD)	48
2.2.14.- Actividades Preventivas.....	49
2.2.15. Actividades “a falta de”	51
2.2.16.- Planes de Mantenimiento.....	51
2.2.17.- Turbina de Gas.....	52
2.2.18.-Generador	52
2.2.19.- Bomba.....	53
2.2.20.- Compresor.....	53
CAPÍTULO III	55
MARCO METODOLÓGICO	55
3.1.- Tipo de Investigación.....	55
3.2.- Diseño de la Investigación	55
3.3.- Población y Muestra	56
3.3.1.- Población	56
3.3.2.- Muestra	56
3.4.- Unidad de Estudio.....	57
3.5.- Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	58
3.5.1.- Entrevista no Estructurada.....	58
3.5.2.- Revisión Documental.....	59
3.5.3.- Observación Directa	59
3.5.4.- Lluvia de Ideas.....	60
3.6.-Técnicas de Análisis de Datos	60
3.6.1.-Fichas Técnicas.....	60
3.6.2.-Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).....	61
3.6.3.-Árbol lógico de Decisión (ALD)	61
3.7.- Desarrollo Sistémico de los Objetivo	62
3.7.1.-Definición del Contexto Operacional del Turbogenerador F30- 36303 y sus Equipos Auxiliares.....	62

3.7.2.- Determinación de las Fallas Funcionales de los Equipos Auxiliares que Pertenecen al Turbogenerador F30-36303 Utilizando la Metodología de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)	63
3.7.3.-Establecimiento de las Actividades de Mantenimiento Mediante el Árbol Lógico de Decisión de los Equipos Auxiliares del Turbogenerador F30-36303	65
3.7.4.-Elaboración de los Planes de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los Equipos Auxiliares que Pertenecen al Turbogenerador F30-36303	66
3.7.5.- Estimación de los Costos de la Propuesta.....	67
CAPÍTULO IV	68
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	68
4.1.- Definición del Contexto Operacional del Turbogenerador F30-36303 y sus Equipos Auxiliares.....	68
4.1.1.- Generalidades del Turbogenerador Modelo F30-36303.....	68
4.1.2.- Descripción de los Equipos Auxiliares del Turbogenerador F30-36303.....	72
4.2.- Determinación de las Fallas Funcionales de los Equipos Auxiliares que Pertenecen al Turbogenerador F30-36303 Utilizando la Metodología de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)	79
4.2.1.- Equipo Natural de Trabajo.....	80
4.2.2.- Análisis Confiabilidad y Mantenibilidad.....	97
4.2.2.1.- Confiabilidad:	98
4.2.2.2.- Distribución Exponencial	98
4.2.2.3.- Mantenibilidad:.....	100
4.3.- Establecimiento de las Actividades de Mantenimiento Mediante el Árbol Lógico de Decisión de los Equipos Auxiliares del Turbogenerador F30-36303	101
4.4.- Elaboración de los Planes de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los Equipos Auxiliares que Pertenecen al Turbogenerador F30-36303	106
4.5.- Estimación de los Costos de la Propuesta.....	124
4.5.1.- Costos por de Materiales y/o Repuestos	124
4.5.2.- Costos por Implementación	126
4.5.3.- Costo global de la Propuesta.....	127
CAPÍTULO V	128
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	128
5.1.- Conclusiones	128
5.2.- Recomendaciones	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
ANEXOS	135
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1.- Cargos y especialidades del personal de PESJ	57
Tabla 3.2.- Descripción de los equipos auxiliares.....	58
Tabla 4.1.- Descripción técnica del Turbogenerador F30-36303	70
Tabla 4.2.- Jornada laboral.....	71
Tabla 4.3.- Descripción de los equipos auxiliares del turbogenerador	72
Tabla 4.4.- Descripción técnica – Bomba de lubricación (grandes)	75
Tabla 4.5.- Descripción técnica –Bomba de lubricación (pequeñas).....	76
Tabla 4.6.- Descripción técnica – Enfriador de aceite lubricante	77
Tabla 4.7.- Descripción técnica – Enfriador de gas de sello.....	78
Tabla 4.8.- Descripción técnica – Compresor	79
Tabla 4.9.-Equipo natural de trabajo (ENT)	80
Tabla 4.10.-Hoja de información AMEF - Bomba de lubricación	81
Tabla 4.11.-Hoja de información AMEF – Motor Eléctrico.....	83
Tabla 4.12.-Hoja de información AMEF – Enfriador de aceite lubricante.....	85
Tabla 4.13.-Hoja de información AMEF – Motor Eléctrico.....	87
Tabla 4.14.-Hoja de información AMEF – Enfriador de gas de sello	89
Tabla 4.15.-Hoja de información AMEF – Motor Eléctrico.....	91
Tabla 4.16.-Hoja de información AMEF - Compresor	93
Tabla 4.17.-Hoja de información AMEF – Motor Eléctrico.....	95
Tabla 4.18.- Historial de tiempos de fallas.	97
Tabla 4.19.- Variables obtenidas para el análisis.....	100
Tabla 4.20.- Confiabilidad y Mantenibilidad para la bomba de lubricación.	100
Tabla 4.21.-Hoja de información ALD – Bomba de lubricación.....	104
Tabla 4.22.- Actividades de mantenimiento - equipos auxiliares Turbogenerador F30-36303	113
Tabla 4.23.- Costos por materiales y/o repuestos	125
Tabla 4.24.- Costos por implementación	126
Tabla 4.25.- Costos global de la propuesta	127

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Ubicación geográfica de las plantas del complejo criogénico de Oriente.....	26
Figura 1.2. Ubicación geográfica de la Planta de Extracción San Joaquín (ESJ).	28
Figura 1.3 Constitución de las actividades de la PESJ	29
Figura 1.4 Estructura Organizacional de la Planta de Extracción San Joaquín.	30
Figura 1.5 Ubicación áreas internas	31
Figura 3.1.- Ficha de descripción técnica.....	63
Figura 3.2.- Representación del Equipo natural de trabajo (ENT)	64
Figura 3.3.- Hoja de información AMEF.....	65
Figura 3.4.- Hoja de Respuestas AMEF.....	66
Figura 3.5.- Hoja de descripción de costos	67
Figura 4.1.- Funcionamiento de los equipos auxiliares	73
Figura 4.2.- Resultados del Árbol lógico de Decisiones	105

INTRODUCCIÓN

Tras las últimas décadas, el mantenimiento en el área industrial ha estado experimentado importantes cambios que lo han hecho avanzar en niveles que abarcan aspectos tecnológicos, organizacionales, económicos, sociales y humanos. A este punto, en la actualidad, el mantenimiento ha dejado de ser visto como un área generadora de gastos, por lo que ahora se presenta como un aspecto que contribuye a la generación de utilidades y a la supervivencia de las organizaciones.

Ante la importancia que ha tomado el mantenimiento en las organizaciones, estas se han apoyado en sus ventajas para aplicar diversas estrategias y técnicas de mantenimiento con la finalidad de aprovechar al máximo sus beneficios y así, apegarse a mejoras continuas en el área de mantenimiento industrial. En conjunto, la filosofía de confiabilidad operacional es una de las modernas estrategias que ofrece a las organizaciones la oportunidad de mejorar en el área de mantenimiento, mediante la aplicación de metodologías dirigidas al mejoramiento de la confiabilidad de los activos.

Cabe destacar que, en la filosofía de confiabilidad operacional, se encuentra el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), la cual es una de las metodologías implementadas para optimar la confiabilidad de los activos, y a través de ella se obtienen las acciones de mantenimiento más adecuadas para mitigar las consecuencias de las fallas de los equipos con la organización y su entorno, sabiendo que estas se traducen en altos costos por periodos improductivos, mantenimientos correctivos, servicio al cliente, entre otros.

Considerando lo descrito anteriormente, en esta investigación se desarrollaron los pasos que logrará generar cambios en el mantenimiento de la planta de Extracción

San Joaquín (ESJ) de PDVSA Gas, redireccionando su objetivo y esfuerzos hacia una nueva cultura de mantenimiento, orientada bajo la filosofía de Confiabilidad Operacional de los activos.

Ante esto, en este proyecto de investigación se aplicó el estudio basado en MCC a los equipos auxiliares del equipo Turbogenerador perteneciente a la planta ESJ, buscando hacer más efectivas, eficientes y eficaces las acciones de mantenimiento, y en tal sentido se implementó para la elaboración de planes de mantenimiento de los equipos de dicho sistema.

Con el objetivo principal de elaborar y presentarlos planes de mantenimiento bajo la metodología MCC, para los equipos del sistema de estudio, se desarrolló este proyecto bajo modalidad de tipo descriptivo y diseño de campo y el cual está estructurado en cinco (05) capítulos, describiendo los a continuación:

Capítulo I. El Problema: inicialmente se describe la problemática de la empresa donde se desarrolló la investigación, se indicaron aspectos importantes con respecto al equipo Turbogenerador F30-36303 perteneciente a la planta ESJ, de igual forma se describió la necesidad que presenta la organización y en base a esto, se planteó el propósito de este estudio. En este mismo capítulo, se hizo referencia de los objetivos tanto generales como específicos que dieron cabida a la solución de la problemática planteada con anterioridad, de igual forma se desarrolló la justificación del problema y por último, se describieron aspectos relevantes de la empresa.

Capítulo II. Marco Teórico: en este capítulo, se expusieron las bases teóricas que sustentan el estudio así como los antecedentes vinculados a esta investigación. Cada uno de los tópicos desarrollados fue relacionado con el tema de proyecto a fin de dar un sentido más profundo a cada definición expuesta.

Capítulo III. Marco Metodológico: en esta sección se hace referencia a la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto. Se describe el tipo y diseño de investigación, las técnicas relevantes utilizadas para recolectar la información así como las que fueron aplicadas para analizar los resultados, finalmente se planteó todo aquello referido a la resolución de la problemática y alcance de los objetivos específicos.

Capítulo IV. Análisis de los Resultados: tras el desarrollo de los capítulos anteriores, se realizó la descripción detallada del procedimiento utilizado para alcanzar el logro de los objetivos. En cada objetivo, se mostró el resultado obtenido. Inicialmente en este capítulo, todo lo referido al equipo Turbogenerador, sus equipos auxiliares y el contexto operacional donde los mismos interactúan. Seguidamente, se realizó un análisis de fallas y posterior a esto, a través del uso del árbol lógico de decisiones se determinaron las acciones de mantenimiento requeridas para los equipos y finalmente, se presentó el plan de mantenimiento ajustado a los requerimientos de la organización.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones: en este último capítulo del proyecto se presentaron las conclusiones y recomendaciones emitidas a base de los objetivos propuestos y los resultados obtenidos en la investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1.- Planteamiento del Problema

La empresa Petróleos de Venezuela, Sociedad Anónima (PDVSA, S.A.) es la corporación estatal de la República Bolivariana de Venezuela que se encarga de la exploración, producción, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos, de manera eficiente, rentable, segura, transparente y comprometida con la protección ambiental; con el fin último de motorizar el desarrollo armónico del país, afianzar el uso soberano de los recursos, potenciar el desarrollo endógeno y propiciar una existencia digna y provechosa para el pueblo venezolano, propietario de la riqueza del subsuelo nacional y único dueño de esta empresa operadora. PDVSA cumple con todas las actividades propias del negocio petrolero, constituyéndose en una corporación verticalmente integrada, que abarca todos los procesos, desde la explotación hasta la comercialización de los hidrocarburos gaseosos y no gaseosos, y sus derivados.

Hablando de las empresas presentes en el territorio nacional tenemos a PDVSA GAS, filial de Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima, empresa energética que se dedica a la exploración y explotación de gas no asociado, así como a la extracción y fraccionamiento de Líquidos del Gas Natural (LGN), al transporte, distribución y comercialización del Metano. Esta a su vez a nivel funcional se divide en dos grupos regionales de operación: Región Oriente y Región Occidente. La Región Oriente la conforman las plantas: Fraccionamiento y Despacho JOSE, Extracción San Joaquín y

Extracción Jusepín, Extracción Santa Bárbara, las cuales conforman el Complejo Criogénico de Oriente (CCO).

La Planta de extracción San Joaquín una de las plantas pertenecientes al (CCO).Inició sus operaciones en el año de 1.985, para el procesamiento del gas natural cuenta con tres (03) trenes de proceso con capacidad para procesar 1.400 millones de pies cúbicos normales diarios (MMPCND) de Gas Natural y producir 78.000 barriles (Bls) de líquidos del Gas Natural (LGN) y 1.230 MMPCND de Gas Residual. Esta planta está constituida, en su estructura organizacional, por el departamento de Mantenimiento Operacional, que es el encargado de realizar la gestión oportuna de la ejecución de los mantenimientos adecuados que permitan mantener los equipos operativos, reduciendo en lo posible la aparición de fallas que perjudiquen el cumplimiento de las operaciones a través del cumplimiento de actividades de forma planificada o de acciones de restauración y reparación a los equipos cuando fallan.

En la planta de extracción San Joaquín existe un área de servicios comunes a los trenes de procesos, el cual se conoce como estación externa (Offsite) y en él residen las sub-estaciones eléctricas que alimentan a todos los equipos de la Planta extracción San Joaquín, los Centro de Control de Motores (CCM), así como también se encuentra la sala de control principal, desde donde se controla todo el proceso que lleva a cabo la misma. La planta eléctrica está localizada en esta área de servicios además de la sub-estación Criogénica de 69 Kilo Voltios (KV), zona donde se realiza el enlace con el Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

El sistema eléctrico de la Planta de Extracción San Joaquín, posee tres (03) Turbogeneradores a Gas, de los cuales dos (02) son marca GENERAL ELECTRIC (GE), con capacidad de generar 20 Megavatios (MW) cada uno y 60 Hertz (Hz) de frecuencia de operación, estos suministran los requerimientos de potencia de esta

planta, la cual es de aproximadamente 5 MW, quedando en teoría un excedente de 35 MW que se exporta al SEN. La interconexión con el sistema mencionado anteriormente, sirve de respaldo en caso de presentarse alguna falla con la autogeneración, para así abastecer las cargas críticas al momento de presentarse algún inconveniente con la fuente de alimentación principal.

El tercer Turbogenerador F30-36303, puesto en servicio a finales del año 2.013, de la marca SIEMENS SGT-600 posee la misma capacidad y frecuencia de operación de los dos (02) anteriores y fue concebido para exportar al SEN 20 MW y así poder contribuir con la demanda eléctrica de la población de Anaco en el estado Anzoátegui. Este equipo a su vez está integrado por veinticuatro (24) equipos auxiliares que son considerados equipos críticos, ya que de presentar alguna falla pudiesen dejar fuera de servicio al equipo mayor, en este caso el Turbogenerador F30-36303. Están conformados por seis (06) bombas de lubricación, seis (06) motores eléctricos de 50 (Hz), dos (02) enfriadores de aceite lubricante, dos (02) motores eléctricos de los enfriadores de aceite lubricante, dos (02) compresores de aire para instrumentos, dos (02) motores eléctricos de los compresores de aire para instrumentos, dos (02) enfriadores de gas de sello y dos (02) motores eléctricos de los enfriadores de gas de sello.

Se determinó que no existen planes de mantenimiento para los equipos auxiliares pese a la importancia que tienen al beneficio de SEN como a nivel social y del equipo Turbogenerador, teniendo en cuenta que de él depende el reforzamiento y mejor funcionamiento de la infraestructura del sistema de generación y transmisión de energía. Además, que se tiene proyectado para el próximo año 2.017 suministrar de manera confiable energía eléctrica a las diferentes plantas que aportan la dieta diaria de gas a la planta de extracción San Joaquín. Por esta razón, si a los equipos auxiliares del Turbogenerador no se les realiza su monitoreo y el mantenimiento preventivo a tiempo traería como consecuencia el desgaste de las piezas, pudiendo

ocasionar daños irreversibles a componentes internos, a nivel de estructura, estator, entre muchos otros, dependiendo de cada uno de los sistemas. Otra de las consecuencias será dejar de generar energía eléctrica de manera confiable a todo el sistema de compresión Gas Anaco quedando expuestos a las diferentes inestabilidades del SEN, afectando el suministro confiable de la dieta diaria a la planta extracción San Joaquín que es la encargada de mantener operativa a todo el parque termoeléctrico, refinador, petroquímico entre otros, del país. Es por ello que siempre debe mantenerse los equipos auxiliares en óptimas condiciones para prevenir posibles fallas al Turbogenerador y de esta manera poder garantizar la disponibilidad y confiabilidad del mismo.

Por todas estas razones, surgió la necesidad de diseñar un plan de mantenimiento preventivo a los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303 de la Planta de Extracción San Joaquín de PDVSA Gas. Para lograr este fin, fue necesario iniciar con la descripción de la problemática actual, posteriormente se realizó un análisis de los modos y efectos de fallas lo cual resultó beneficioso para proceder a determinar las tareas que conllevan al funcionamiento óptimo de los equipos auxiliares.

Al tener en cuenta el alcance de esta investigación, se considera que abarcó lo referente al diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303, por lo que el departamento de mantenimiento operacional de la planta de extracción San Joaquín, se deberá estar a cargo de la implementación efectiva.

La importancia de la investigación radica en que el mismo se convirtió en un elemento significativo a una necesidad manifestada por la Superintendencia de mantenimiento operacional y la empresa.

1.2.-Objetivos de la Investigación

1.2.1.- Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303 de la Planta de Extracción San Joaquín de PDVSA Gas.

1.2.2.-Objetivos Específicos

- Definir el contexto operacional del Turbogenerador F30-36303 y sus equipos auxiliares.
- Determinar las fallas funcionales de los equipos auxiliares que pertenecen al Turbogenerador F30-36303 utilizando la metodología de análisis de modos y efectos de falla (AMEF).
- Establecer las actividades de mantenimiento mediante el Árbol Lógico de Decisión de los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303.
- Elaborar los planes de mantenimiento centrado en confiabilidad a los equipos auxiliares que pertenecen al Turbogenerador F30-36303.
- Estimar los costos de la propuesta.

1.3.- Justificación de la Investigación

La directiva de la planta de Extracción San Joaquín de PDVSA GAS, tiene como meta orientar la filosofía actual de mantenimiento hacia un nuevo enfoque bajo la filosofía de confiabilidad operacional, la cual busca un mejoramiento continuo en los procesos y en la administración de los recursos de las organizaciones. Uno de los elementos de mayor importancia es contar con planes óptimos de mantenimiento preventivo, los cuales deben estar adecuados al contexto operacional de los equipos y

que permitan a los mismos cumplir con las funciones requeridas, además de alargar su ciclo de vida.

El desarrollo del presente proyecto permitió al personal de mantenimiento de la planta ESJ, contar con planes de mantenimiento preventivos, bajo la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), específicamente para los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303.

Los planes poseen la virtud de que fueron diseñados con la participación de diferentes disciplinas de la planta y de diferentes niveles, reunidas en el Equipo Natural de Trabajo, con lo que se logró integrar los conocimientos sobre el sistema de estudio, para así diseñar dichos planes.

Con la inclusión de diferentes puntos de vistas, se logró conocer más a fondo la filosofía de operación de los equipos, permitiendo la identificación y el análisis de los distintos modos de fallas, muchos de los cuales no se tenían en consideración anteriormente.

Además, los planes de mantenimiento en base a la metodología MCC, son diseñados considerando las consecuencias de los modos de fallas sobre la organización (operacionales, seguridad) y el entorno (seguridad y ambiente), y la misma metodología permite seleccionar las tareas o estrategias de mantenimiento más adecuadas, destinadas a evitar dichas consecuencias.

El proyecto servirá de guía efectiva para el desarrollo de proyectos similares en otros sistemas de la empresa.

1.4.- Generalidades De La Empresa

En este capítulo, se realizó la descripción de las características y especificaciones de la empresa, al igual que el levantamiento de la información sobre la opinión del personal que labora en el departamento de mantenimiento operacional de la planta de Extracción San Joaquín PDVSA Gas Anaco, con el propósito de ofrecer una visión completa y detallada de este.

1.4.1.- Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima Gas (PDVSA Gas).

PDVSA Gas se concibe como la filial de Petróleos de Venezuela, S. A. que se dedica a la exploración y explotación de gas no asociado, así como a la extracción y fraccionamiento de Líquidos del Gas Natural (LGN), al transporte, distribución y comercialización del Metano, dada su importancia esta industria está presente en casi todo el país.

1.4.1.1.- Visión, Misión y Objetivo de PDVSA Gas

Visión

Ser un conglomerado de empresas flexibles, dinámicas e innovadoras, de capital mixto, con socios de alta capacidad técnica y financiera, que participan en negocios de gas y conexos, que valorizan su base de recursos, comprometidas con las protecciones del ambiente, líderes y suplidoras preferidas en el mercado nacional y de exportación, ofreciendo productos y servicios de alta calidad, apoyados por tecnologías de punta y un recurso altamente calificado y de elevadas convicciones éticas.

Misión

PDVSA GAS, es una empresa comercial, cuyo accionista es el estado venezolano, que explora, produce y transporta, procesa, distribuye y comercializa Gas Natural y sus derivados, de manera rentable, segura y eficiente, con calidad en sus productos y servicios, en armonía con el ambiente y la sociedad, que propicia un clima organizacional favorable para los trabajadores y promueve la incorporación del sector privado en el desarrollo de la Industria del Gas.

Objetivo

Integrar las actividades de Exploración, Refinación, Transporte y Comercialización Nacional e Internacional de Crudos, Gas Natural y productos derivados del proceso de refinación de los hidrocarburos.

1.4.1.2.- Historia PDVSA GAS

Con la nacionalización del petróleo (1975-1976) el Ejecutivo Nacional crea a petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) a quien se le asignó la tarea de gestionar la industria petrolera una vez nacionalizada a través del decreto 1.1.23. En ese momento surgen catorce (14) empresas operadoras donde destacan cuatro, las cuales son: CORPOVEN, LAGOVEN, MARAVEN y MENEVEN, por ser las responsables de la explotación, producción, transporte, refinación y comercialización del petróleo y el gas tanto en el mercado nacional como en el internacional. El resto de las filiales eran: BITOR, INTREVEN, PALMAVEN, INTEVEP, BARIVEN, LLANOVEN, CARBOZULIA, PEQUIVEN, REFINERIA ISLA y PDV-MARINA.

Un nuevo proceso de integración que se realizó en 1998 dio origen a la nueva gerencia de petróleos de Venezuela S.A. para el procesamiento de gas, producto de

una fusión de las cuatro operadoras involucradas con la industria, luego tuvo lugar para el 1 de Enero de 1998, otro evento transcendental que fue la creación de PDVSA GAS, cuya principal integrante fue Corpoven, convirtiéndose en responsable del procesamiento, transmisión, distribución y comercialización de todo el LGN, metano y gas natural producido por la antigua organización.

1.4.2.- Complejo Criogénico de Oriente (CCO)

El complejo criogénico de oriente (CCO), constituye unas de las obras de mayor transcendencia para la industrialización del gas natural, su operación se inició a finales de 1985 para extraer los líquidos del mismo y acondicionarlos para su utilización como insumo o combustible industrial, petroquímico, comercial y doméstico.

Posteriormente, a mediados del año 1992 se iniciaron las obras de ampliación de infraestructuras, cuyo proyecto fue denominado ACCRO con el objeto de aumentar la capacidad de procesamiento de gas; en donde la planta paso de procesar 800 millones de pies cúbicos estándar de gas por día (MMPCND) a 1000 (MMPCND). Durante el año 2000, a raíz del auge que tuvo el gas, PDVSA GAS ha iniciado nuevos proyectos para una nueva ampliación del (CCO) con la participación del capital extranjero.

En la figura1.1 se muestra ubicación geográfica del Complejo Criogénico de Oriente.

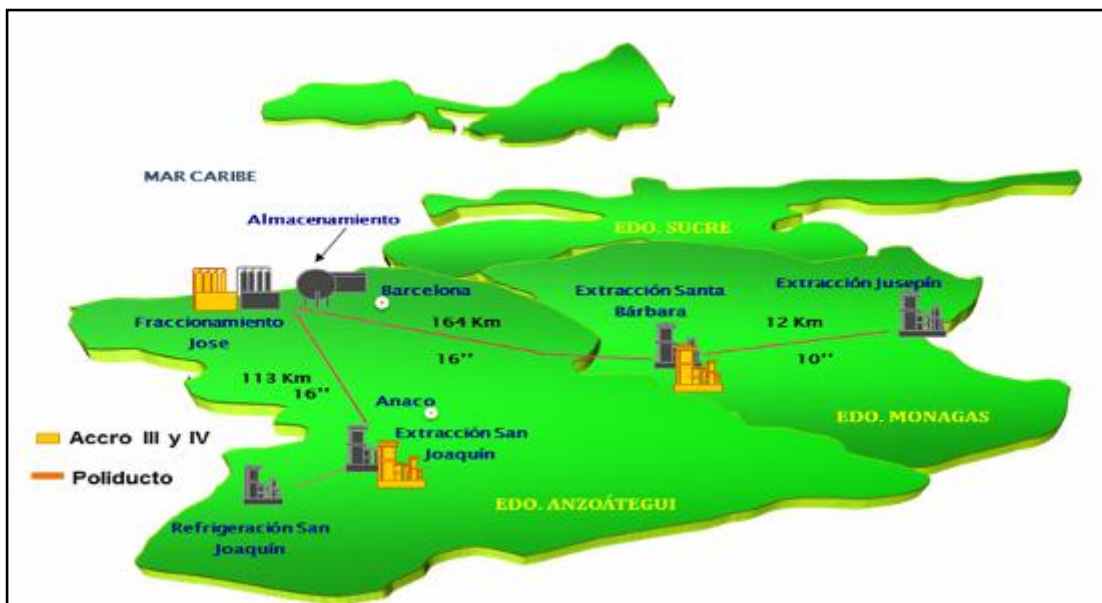


Figura 1.1 Ubicación geográfica de las plantas del complejo criogénico de Oriente.

Fuente: Centro de Información de la planta ESJ

1.4.3.- Generalidades de la Planta Extracción San Joaquín

1.4.3.1.-Misión

Extraer líquidos de alta calidad del gas natural, suministrar líquidos y metanos en forma segura y confiable con un recurso humano y una organización alineada con los objetivos estratégicos de PDVSA GAS, aportando al máximo valor a la nación.

1.4.3.2.- Visión

Ser una organización procesadora de gas natural, reconocida como suplidora confiable de líquidos del Gas Natural del Metano para contribuir eficazmente con el país y la integración energética Latinoamericana-Caribeña.

1.4.3.3.- Objetivos de la Calidad

- Garantizar la extracción de los líquidos del gas natural para lograr el cumplimiento del pronóstico de producción.
- Entregar productos en forma confiable y con la calidad requerida por nuestros clientes.
- Cumplir con las normas de seguridad, higiene y ambiente que nos permitan garantizar las condiciones de seguro de trabajo.
- Asegurar la eficacia del sistema de gestión de calidad y la mejora continua de los procesos.

1.4.3.4.- Reseña Histórica

La planta de Extracción San Joaquín está situada en el estado Anzoátegui, a 12km de la ciudad de Anaco y a 1000km de Barcelona, en el oriente venezolano; recibe gas natural enriquecido a una presión de 900 libras/pulgadas cuadradas (PSI) a través de gasoductos de 4 facilidades de producción ubicadas en la Región de Oriente de Venezuela (Santa Ana, Santa rosa, San Joaquín y el Toco).

Está diseñada para procesar 1000 millones de pies cúbicos estándar de gas por día (MMPCND) de gas natural enriquecido produciendo 48.000 barriles diarios (bbl/d) de líquido de gas natural (LGN) (C3 y superiores) y 920 MMPCND de gas residual, el (LGN) es enviado a través de un Poliducto a la planta de Fraccionamiento y Despacho de José para su posterior comercialización. La planta originalmente estaba constituida por dos trenes idénticos que producían 400 (MMPCND), diseñados por Fish Engineering and Construction Inc. Y contruidos por Brown and Root en 1985, año en que empezó a funcionar la planta. Estos trenes fueron ampliados a 500 (MMPCND) cada uno en 1992 por la compañía Fluor Daniel basado en tecnología

propia, permitiendo a la planta producir las estadísticas ya mencionadas. En la figura 1.2 se muestra la ubicación geográfica de la Planta ESJ

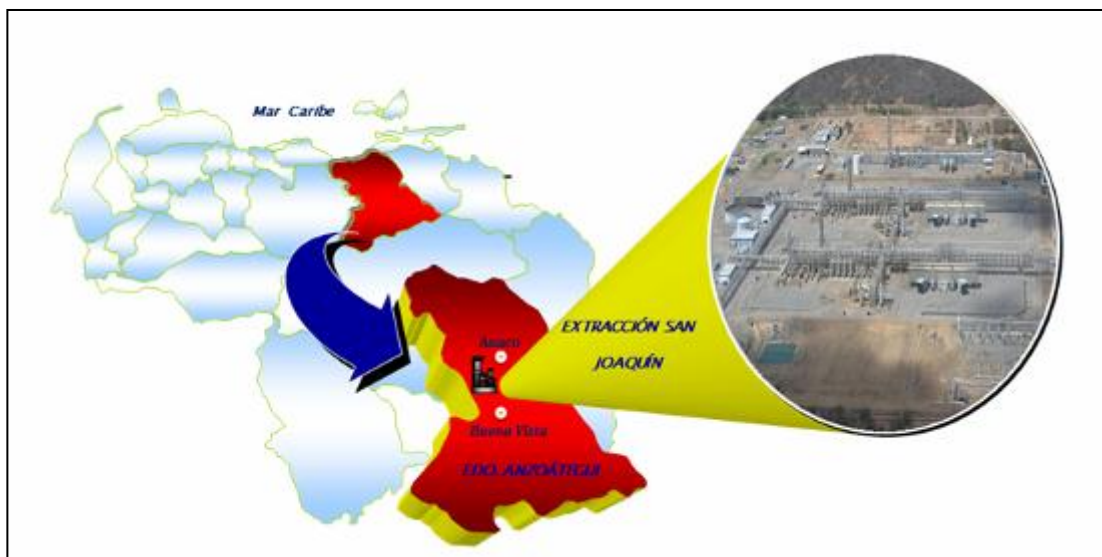


Figura 1.2. Ubicación geográfica de la Planta de Extracción San Joaquín (ESJ).

Fuente: Díaz, D. y Romero, F. (2009)

La planta de extracción San Joaquín puede recuperar el 90% del propano contenido en las corrientes de alimentación. Para extraer los componentes más importantes es necesario llevarlos a temperaturas criogénicas (menores a -110 F). De esta manera la planta de Extracción San Joaquín extrae del gas natural sus componentes livianos, metano y etano (gas residual) para el consumo doméstico e industrial, además de hidrocarburos más pesados (LGN).

De esta planta se obtienen valiosos productos como: el propano, butano, pentano, hexano y gasolina la cual se envía a la Refinería de Puerto la Cruz. Para lograr su objetivo a cabalidad la planta de Extracción san Joaquín está constituido por las siguientes unidades:

- Instalaciones de Gas de entrada con Glicol.
- Deshidratación de entrada y expansor de alta presión.

- Deshidratación con tamices moleculares.
- Enfriamiento del gas de entrada y expansor de baja presión.
- Desetanizadora.
- Compresión del gas residual.
- Estabilizadora.
- Sistema de aceite para calentamiento.
- Mechurrio de emergencia.
- Sistema de gas combustible.

En la figura 1.3 se muestran las diferentes etapas que se llevan a cabo en la planta de extracción San Joaquín

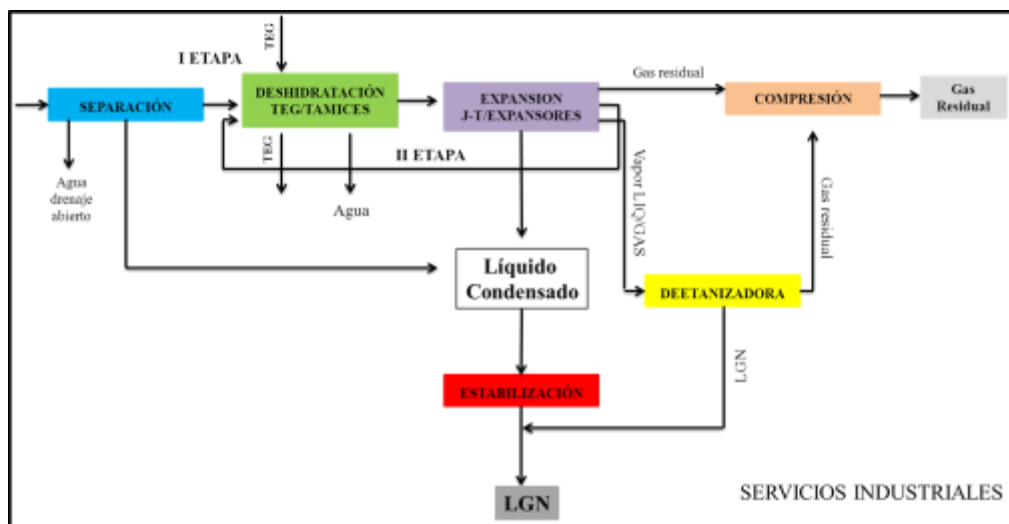


Figura 1.3 Constitución de las actividades de la PESJ

Fuente: Díaz, D. y Romero, F. (2009)

1.4.3.5.- Organigrama Funcional de la Planta Extracción San Joaquín

La estructura organizacional de la planta de Extracción San Joaquín se muestra en la figura 1.4

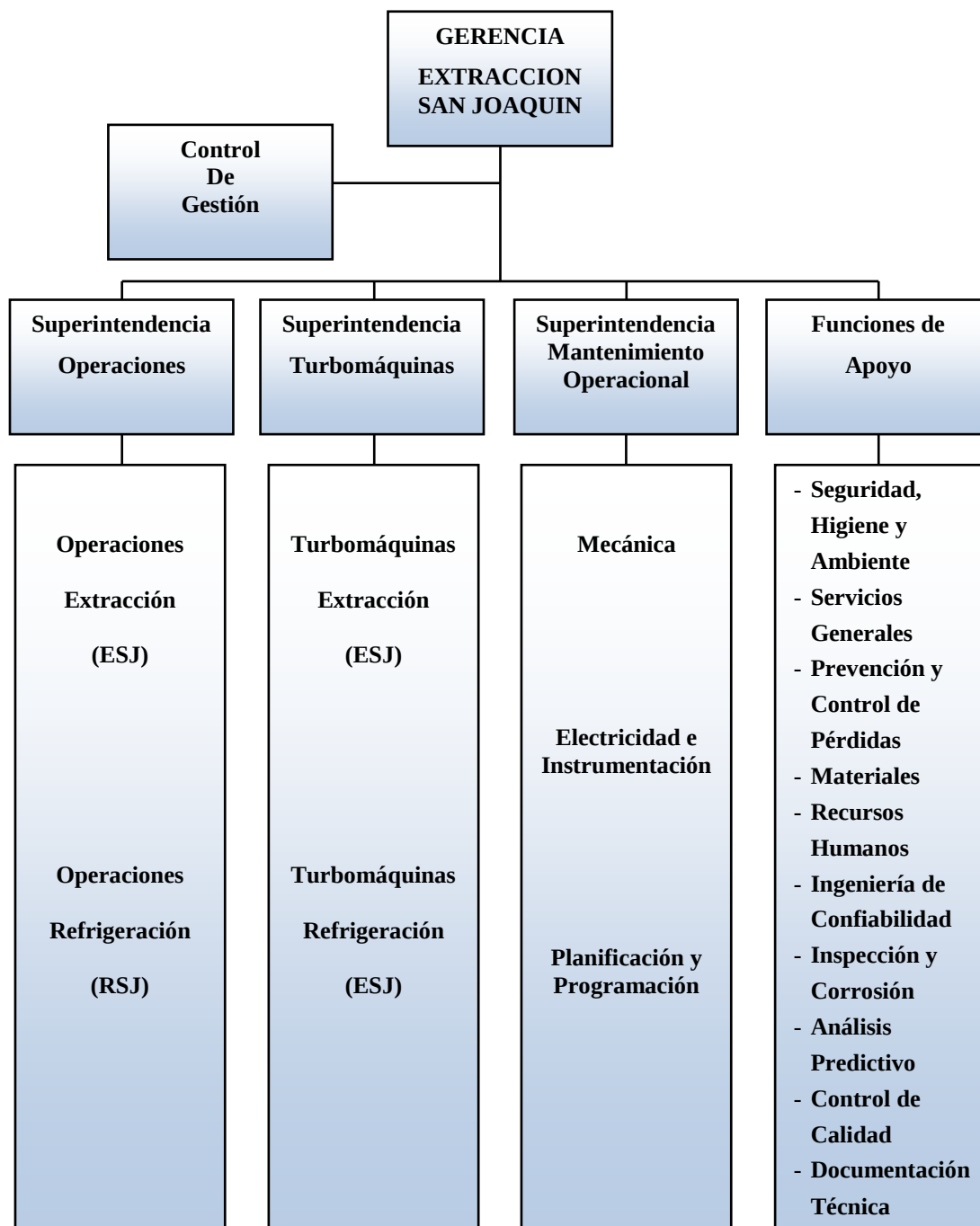


Figura 1.4 Estructura Organizacional de la Planta de Extracción San Joaquín.

Fuente: Centro de Información de la Planta ESJ.

1.4.3.6.- Ubicación de las Áreas Internas de la Planta de Extracción San Joaquín

La planta de extracción san Joaquín se compone de las siguientes unidades:

- Turbogeneradores.
- Generadores Auxiliares.
- Planta Eléctrica.
- Estación Externa (Offsite).
- Subestación Tren B.
- Subestación Tren A.
- Laboratorio.
- Sala de Control.

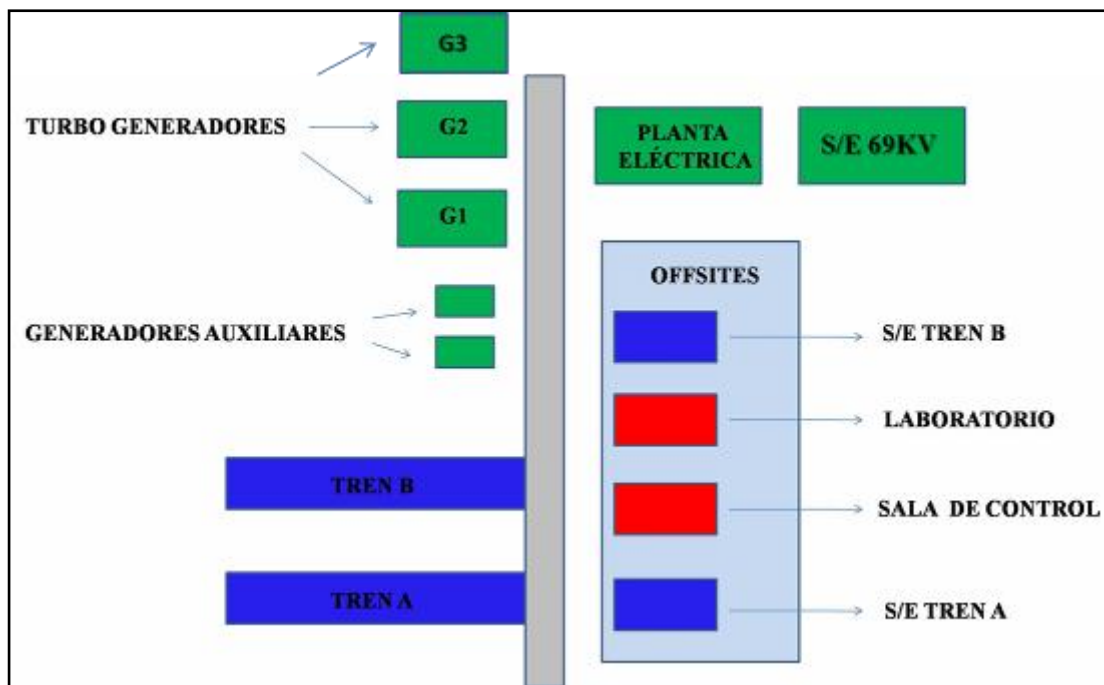


Figura 1.5 Ubicación áreas internas

Fuente: El autor (2017)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el desarrollo del marco teórico se describen los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y las bases legales que representan las fuentes de información, necesarias y esenciales para el desarrollo del trabajo de grado, a través de la revisión de investigaciones previas y fuentes bibliográficas relacionadas con el tema de estudio.

2.1.- Antecedentes de la investigación

Para la realización de este proyecto se consultaron diferentes trabajos de investigación llevados a cabo en diversas empresas por estudiantes de la Universidad de Oriente con la finalidad de utilizarlos como referencia para definir la estructura de este proyecto y parte de la metodología que se emplea en el diseño del plan de mantenimiento preventivo, las cuales se muestran a continuación:

Sarti, C. (2016) “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) a las llaves hidráulicas de la empresa Representaciones Vale, C.A., Anaco, estado Anzoátegui”. En virtud de mejorar el desempeño de la empresa Representaciones Vale, C.A. (Revalca), se ha elaborado el siguiente trabajo de grado bajo una investigación de tipo descriptivo y diseño de investigación de campo, el cual consistió en el diseño de planes de mantenimiento para las Llaves Hidráulicas aplicando la metodología MCC. En primer lugar, se realizó la descripción del contexto operacional de las Llaves hidráulicas utilizando manuales del fabricante. Posteriormente, se jerarquizaron las fallas en las Llaves Hidráulicas mediante el Análisis de Criticidad, luego se llevó a cabo la estructuración de jerarquías de acuerdo a la norma ISO 14.224, para continuar

con el Análisis de Modos y Efectos de Fallas, donde se evaluaron cada uno de los componentes e ítems mantenibles que conforman a las Llaves Hidráulicas, para así determinar las fallas, modos de fallas y efectos de fallas, todo esto con ayuda del equipo natural de trabajo (ENT), seguidamente se condujo a la implementación del Árbol Lógico de Decisiones el cual permitió a el ENT establecer las tareas de mantenimiento y diseñar los planes de mantenimiento que deben aplicarse a las Llaves Hidráulicas. Los niveles de criticidad que se obtuvieron fueron cinco (5) llaves hidráulicas críticas y ocho (8) no-criticas. Se recomienda extender el estudio del mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) hacia todos los demás equipos.

A través de la consulta de esta bibliografía se logró tener mayor comprensión y conocimiento sobre la aplicación de la metodología del MCC así como se tomó en consideración los esquemas propuestos por este autor para la elaboración de los planes de mantenimiento.

Hernández, Y. (2015). “Propuesta de planes de mantenimiento aplicando la filosofía del MCC a las bombas reciprocantes de las plantas de inyección de agua salada SJED-IV SJED-I SAED-III Y ETED-I del área mayor de Anaco de PDVSA Gas Anaco”. Cuyo objetivo principal fue la propuesta de planes de mantenimiento aplicando la filosofía del MCC a las bombas reciprocantes de la planta de inyección de agua salada SJED-IVSJED-I SAED-III Y ETED-I del área mayor de Anaco de PDVSA Gas Anaco. La recopilación de información fue a través de entrevistas no estructuradas y visitas a campo. Para el logro del objetivo planteado primero se realizó una descripción del contexto operacional de las bombas reciprocantes, luego se determinó el nivel de criticidad de cada uno de los equipos mediante la aplicación de la metodología de DS de la cual resultaron crítico solo dos (02) equipos de un universo de doce (12). Se analizaron las fallas presentes en las bombas reciprocantes mediante un análisis de modo y efectos de fallas (AMEF) arrojando como resultado 30 modos de fallas, posteriormente, se empleó el árbol lógico de decisión (ALD)

dando como resultado dieciséis (16) tareas a condición, o a reacondicionamiento cíclico, quince (15) tareas de sustitución cíclica; finalmente se elaboraron planes de mantenimiento preventivo a las bombas reciprocantes de la Planta de Inyección de agua salada de la estación de descarga San Joaquín – 4 (PLAS- SJED-4) con la finalidad de mejorar la gestión de mantenimiento.

Dicho estudio representó un aporte significativo debido a la similitud de los objetivos que serán utilizados como un punto de referencia en el desarrollo del proyecto.

Flores, M. (2015). “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad (MCC) para las unidades motocompresoras marca Clark de la Planta Compresora de gas natural Santa Ana III, PDVSA Producción Gas Anaco”. El cual su objetivo principal se basó en la propuesta de planes de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad (MCC) para las unidades Motocompresoras Marca Clark de la Planta Compresora de gas natural Santa Ana III, PDVSA Producción Gas Anaco. Para el logro del objetivo planteado primero se realizó una descripción del contexto operacional mediante el uso de diagrama entrada proceso salida (EPS) y fichas técnicas, también se jerarquizaron las fallas presentadas en su último año de operación con el fin de enfocar el estudio en los sistemas que presentaron mayor criticidad. Luego se aplicó un análisis de modo y efectos de fallas (AMEF) a los componentes críticos para determinar las acciones de mantenimiento más adecuadas a aplicar mediante el árbol lógico de decisión (ALD) basado en la norma SAE - JA1012, posteriormente se elaboró el plan de mantenimiento en el cual se estableció cinco (05) indicadores de mantenimiento con el fin de que la gerencia de mantenimiento operacional pueda evaluar el impacto que ha de generar la aplicación del plan de mantenimiento propuesto.

Este proyecto sirvió como referencia para conocer los procedimientos de aplicación de la metodología MCC y el AMEF lo que orientó a la investigadora para identificar, evaluar y definir posibles fallas y consecuencias que puedan aparecer en los equipos auxiliares del turbogenerador.

Puccia, J. (2014). “Propuesta de un plan de mantenimiento bajo la filosofía MCC, para los equipos dinámicos del sistema de circulación de fluidos de perforación del taladro GW-63, de la empresa Bohai Drilling Service Venezuela S.A”. En éste se estableció como objetivo principal la propuesta de un plan de mantenimiento bajo la filosofía MCC, para los equipos dinámicos del sistema de circulación de fluidos de perforación del taladro GW-63, de la empresa Bohai Drilling Service Venezuela S.A., con el fin de mejorar la confiabilidad de los equipos, evitar la utilización excesiva de las horas extras de mantenimiento, fallas y paradas en los equipos. La investigación fue de tipo descriptiva y el diseño de campo. Se desarrolló bajo la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC). Para el logro del objetivo planteado primero se realizó una descripción del contexto operacional del sistema y se aplicó un análisis de criticidad, luego se realizó un análisis de modo y efectos de fallas AMEF a los componentes críticos, asentándolos en la hoja de información para luego determinar el tipo de mantenimiento mediante el árbol lógico de decisión (ALD) y registrarlos en la hoja de decisión, para finalizar se elaboró el plan de mantenimiento donde se generaron veintidós (22) tareas preventivas.

Este trabajo de grado sirvió para la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad, permitiendo hacer un estudio de todas las fallas que puedan presentarse en los equipos auxiliares del turbogenerador F30-36303, diseñando un plan de mantenimiento que permita prevenir las fallas.

Martínez, V. (2012) “Diseño de planes de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para los equipos del sistema de Desetanización del Tren “A” de la Planta de Extracción San Joaquín de PDVSA GAS”. En el presente trabajo se aplicó la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), para el diseño de planes de mantenimiento para los equipos del sistema de desetanización “A” de la Planta de Extracción San Joaquín de PDVSA Gas. La investigación fue de tipo descriptiva y se enmarcó en un diseño de campo. Primeramente, se describió el contexto operacional del sistema mediante la revisión y recolección de información técnica y operacional en manuales y documentos técnicos, además de la realización de entrevistas no estructuradas al personal de la planta y visitas al área operacional. Se realizó un análisis de criticidad para jerarquizar los equipos del sistema, resultando los equipos de bombeo los de más alta criticidad, por lo que fueron elegidos para ser estudiados mediante la herramienta análisis de modos y efectos de falla (AMEF), a través de la cual se analizaron los distintos modos de fallos de los equipos y posteriormente, se establecieron las tareas de mantenimiento mediante la aplicación del árbol lógico de decisiones (ALD). Con la información del AMEF y el ALD, se elaboraron los planes de mantenimiento preventivo a los equipos críticos, los cuales constan de 26 actividades para cada equipo. Los planes generan 1345 horas hombres anualmente, siendo la mayor parte atribuidas a los departamentos de operaciones (47,5%) y Mecánica (15,1%).

Este trabajo de gradó fue de gran aporte para dar cumplimiento al primer objetivo en relación al contexto operacional y del cómo los equipos son asistidos desde una perspectiva de mantenimiento en la planta de extracción San Joaquín.

2.2.- Bases Teóricas

Según Arias, F. (2006) “las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para

sustentar o explicar el problema planteado” (p.107). Tomando en consideración lo expuesto por este autor, se investigaron conceptos que mantuvieran estrecha relación con el trabajo de grado desarrollado, con la finalidad de mantener la coherencia requerida y válida para la correcta comprensión durante su desarrollo.

2.2.1.- Definición de Mantenimiento

Según Salih Duffuaa y Jhon Cambel (1995), “el mantenimiento se define como el aseguramiento de que una instalación, un sistema de equipos, una flotilla u otro activo fijo continúen realizando las funciones para las que fueron creados” (p.54). En este aspecto, el mantenimiento son actividades (acciones) orientadas a proteger un sistema productivo (instalaciones, equipos, dispositivos) y mantenerlos en condiciones operativas para que cumplan con los objetivos para el que fue creado.

Este constituye un apoyo a la productividad y la calidad de los productos ayudando a que los equipos permanezcan activos y dentro de las especificaciones establecidas permitiendo cumplir con la producción propuesta y productos conformes.

2.2.2.- Objetivos del Mantenimiento

Según Newbrought, (1998), establece que: la función del mantenimiento cuenta con los siguientes objetivos:

- Planear y programar en forma conveniente las labores de mantenimiento de los equipos.
- Conservar los equipos e instalaciones en óptimas condiciones para el funcionamiento de los mismos.

- Mantener las instalaciones y los equipos operando un porcentaje óptimo del Tiempo.
- Establecer un seguimiento del departamento de mantenimiento, de tal manera que se logre garantizar los costos totales mínimos de operación. (p.63)

Teniendo en cuenta dichos objetivos, se puede comentar que la función específica del mantenimiento es lograr que de una u otra forma las instalaciones, equipos y/o dispositivos cumplan con un objetivo establecido, a través de las acciones de prevención de fallas, averías y en caso de presentarse alguna, recuperar la condición operativa de los equipos en el menor tiempo posible minimizando el impacto de la falla al menor costo posible.

2.2.3.- Recursos de Mantenimiento

Jiménez y Milano (2006), expresa que:

Los recursos que deben considerar a la hora de elaborar el presupuesto de mantenimiento se pueden clasificar en humanos, materiales, financieros, y constituyen la parte visible de la organización con la cual interactúan diariamente los ejecutores del mantenimiento y sus clientes. (p.91)

Puede decirse que el recurso del mantenimiento consistió en analizar con profundidad los costos que genera una propuesta de manteniendo, con la finalidad de que estos puedan cumplir con un servicio determinado de una manera eficiente y eficaz, durante el mayor tiempo posible y con el máximo rendimiento buscando siempre la más alta disponibilidad.

2.2.4. Principios Generales del Mantenimiento

Jiménez y Milano (op.cit) “La filosofía de mantenimiento está constituida por principios generales que forman parte de la cultura de una empresa, con creencias compartidas entre el personal” (p.14). Basados en este principio, se proponen a lo largo de desarrollo y cumplimiento de los objetivos específicos, una serie de actividades que cumplirán con estos; teniendo en consideración los que la organización y el equipo natural de trabajo establezcan fuera de este orden.

Algunos de estos principios son los siguientes:

- El mantenimiento es una función básica con influencia directa en la producción, la seguridad, la protección integral y los costos de la empresa.
- El mantenimiento debe ser considerado en la etapa de diseño de cualquier instalación, con el fin de garantizar su operatividad y mantenibilidad al menor costo en el tiempo.
- Las políticas del mantenimiento se establecen basándose en el análisis de fallas, tendencias, estudios económicos y criticidad de los equipos, obteniéndose preferentemente hacia el mantenimiento predictivo y preventivo.
- En mantenimiento se aplica el proceso gerencial: planificación, organización, dirección y control para lograr optimizar recursos y mejorar la productividad.
- Todo el personal debe tener una actitud positiva hacia la conservación de sus equipos e instalaciones para lograr seguridad, orden, limpieza, y productividad en los mismos (p. 14).

Una política de mantenimiento, salvo en casos de obsolescencia, resulta más rentable que una política de reemplazo por nuevos equipos

2.2.5. Tipos de Mantenimientos

Según la Norma Técnica PDVSA MM-01-01-01 (2005) los tipos de mantenimiento se definen:

2.2.5.1.- Mantenimiento Rutinario

“Es el más elemental de los mantenimientos. Como su nombre lo indica, es una actividad diaria con el objeto de mantener la limpieza, la lubricación y revelar novedades observadas en los equipos, maquinarias e instalaciones en servicio” (p. 6). Por lo cual, en esta se realizaron actividades rutinarias, necesarias para conservar el nivel de servicio de todos los equipos, de tal manera donde se llevarán a cabo en forma continua los mantenimientos adecuados que se requieran con el fin de mantener las condiciones óptimas de sus servicios.

2.2.5.2.-Mantenimiento Programado

“Es un procedimiento de cuidados para posibles y probables emergencias que pueden acontecer en equipos destinados a producción continuada y exigida, con componentes de los cuales es de esperar larga vida útil” (p.7). Se hace énfasis en la protección de bienes o equipos, teniendo en cuenta las recomendaciones de los fabricantes, la frecuencia de utilización, si trabajan o no en condiciones normales de diseño, se incluyen las inspecciones, los reemplazos de partes que estén próximas a cumplir su vida útil.

2.2.5.3.-Mantenimiento por Avería o Reparación

La atención a un sistema productivo cuando aparece una falla. Su objetivo es mantener en servicio adecuadamente dichos sistemas, minimizando sus tiempos de parada. La atención de las fallas debe ser inmediata y por tanto no da tiempo para ser programada pues implica el aumento en costos y paradas innecesarias de personal y equipos (p.10).

A grandes rasgos se puede decir que este tipo de mantenimiento consiste en intervenir el equipo con una acción de reparación cuando la falla o avería se ha

producido, restituyéndose sus condiciones normales de capacidad de trabajo o prestación original.

2.2.5.4.-Mantenimiento Correctivo

Es un conjunto de actividades que se llevan a cabo después de haber reconocido la existencia de una falla, con el fin de devolver al activo a una condición de funcionamiento en el que pueda ejecutar una(s) función(es) requerida(s) y de acuerdo con los estándares establecidos.(p.13)

Por consiguiente, consiste en reparar o sustituir aquellos elementos que no funcionan adecuadamente como consecuencia de su mal estado o de averías, empleando métodos más fáciles de reparación.

2.2.5.5.-Mantenimiento Circunstancial

Una mezcla entre el rutinario, programado, avería y correctivo ya que por su intermedio se ejecutan acciones de rutina pero no tienen un punto fijo en el tiempo para iniciar su ejecución, porque los sistemas atendidos funcionan de manera alterna; se ejecutan acciones que están programadas en un calendario anual pero que tampoco tienen un punto fijo de inicio por razón anterior; se atienden averías cuando el sistema se detiene, existiendo por supuesto otro sistema que cumpla su función; y el estudio de fallas permite la programación de su corrección eliminando dicha avería a mediano plazo. (p.13)

Por lo cual, en el mantenimiento circunstancial se deben realizar actividades que permitan mantener la confiabilidad de los equipos que por su naturaleza deben trabajar en forma continua, cuando una circunstancia favorece la aplicación del mantenimiento sin que por ello se vea comprometido el proceso productivo.

2.2.5.6.-Mantenimiento Mayor

Es el mantenimiento preventivo o correctivo que se ejecuta a una o varias instalaciones o sistemas, para restablecer y conservar sus condiciones operacionales que impliquen parada del equipo (p.13).

Se puede especificar que el mantenimiento mayor se realiza como la ejecución planificada de trabajos realizados con la finalidad de acondicionar, conservar, rehabilitar o corregir fallas en los equipos, las funciones de mantenimiento mayor conllevan la asignación de los trabajos externos para su ejecución mediante el cual se realiza principalmente por su grado de complejidad que requieren de mayor capacidad técnica y equipo.

2.2.5.7.- Mantenimiento Predictivo

Es un conjunto de acciones y tareas que tiene la finalidad de obtener información para el diagnóstico y detección de fallas potenciales que permitan tomar acción antes de la pérdida de la función del activo. Este tipo de mantenimiento se basa en el monitoreo de las variables indicadoras del deterioro de la condición del activo. También es conocido como mantenimiento preventivo basado en condición. (p.13)

Puede decirse que es un mantenimiento programado y planificando basándose en análisis técnicos, antes de que ocurra la falla, es mucho más ambicioso que el mantenimiento preventivo y es en definitiva una modalidad más avanzada de este.

2.2.5.8.- Mantenimiento Preventivo

“Es un conjunto de actividades predeterminadas, planificadas y programadas, cuyo fin es evitar la ocurrencia de una falla en un activo tangible o intangible” (p.14). Por lo cual, es el destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante

realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad, evitando o mitigando las consecuencias de los fallos del equipo, logrando prevenir las incidencias antes de que estas ocurran.

2.2.6.- Contexto Operacional

Según la Norma Técnica PDVSA MM-01-01-01 (op.cit), establece:

Es el conjunto de circunstancias que condicionan la operación de un equipo o sistema, están definidas como: localidad, ambiente, fluido de servicio, parámetros de operación, lineamientos ambientales, de seguridad y producción, calidad y disponibilidad de los insumos requeridos, configuración de trabajo, flexibilidad operacional, redundancia, alarmas, monitoreo de primera línea y otros. (p.8)

Esto quiere decir, que de él dependió la ejecución del análisis, el mismo debe contener una descripción detallada de la instalación que va a ser analizada, en él se refleja el propósito del equipo o sistema, descripción de equipos y procesos, dispositivos de seguridad, metas de seguridad ambiental y operacional, volumen de producción, calidad, servicios, planes a futuros, turnos de trabajo, personal, operaciones, mantenimiento, gerencia límites del sistema y un listado de componentes de cada sistema.

2.2.7- Equipo Natural de Trabajo

Según la Norma Técnica PDVSA MM-01-01-01 (op.cit), establece:

Es un equipo multidisciplinario constituido por especialistas o actores de diferentes disciplinas que tienen como objetivo guiar la implementación de estrategias de mantenimiento y confiabilidad, la sincronización de actividades, el establecimiento de planes integrales de acción y la optimización de los costos de producción y mantenimiento en la organización. Entre los actores o especialistas que pueden conformar el ENT se encuentran: custodios de instalaciones, planificador, programador, ejecutor, ente técnico, entre otros. (p.10)

Esto quiere decir que los equipos naturales de trabajo son vistos como los mayores contribuyentes al valor de la empresa, y trabajan consistentemente a largo plazo. Los gerentes guían a los miembros hacia el crecimiento del equipo y a obtener mejores resultados bajo el esquema ganar-ganar. Los éxitos del equipo son los logros del líder de turno.

2.2.8.-Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)

Reliability & Risk Management (2005) define que el MCC es:

Una metodología la cual nos guía en la generación de planes de mantenimientos capaces de mitigar los modos de falla que se presentan en un entorno operacional específico, para que los activos cumplan con requerimientos de desempeño, costos, seguridad y regulaciones ambientales. (p.2).

Esta técnica es la fuente principal del desarrollo de la investigación, se fundamenta en un análisis sistemático, objetivo y documentado del problema. Se encargó de estudiar a profundidad los activos, con el fin de ir lidiando con el problema hasta obtener la solución final.

2.2.9.- Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

Según la Norma Técnica PDVSA MM-01-01-01 (op.cit),establece: “es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan” (p.7).Por lo expresado anteriormente, se deduce que el objetivo básico del AMEF, es encontrar todas las formas o modos en las cuales puede fallar un activo dentro de un proceso, a través de la participación activo de los grupos de trabajos con el objetivo principal de identificar las posibles consecuencias o efectos de fallas en función de tres criterios básicos para el MCC: seguridad humana, ambiente y operaciones(producción).

Según Parra (2008), para poder cumplir con este objetivo, los grupos de trabajo MCC, deben realizar el AMEF siguiendo la siguiente secuencia:

- Explicar las funciones de los activos del área seleccionada y sus respectivos estándares de ejecución.
- Definir las fallas funcionales asociadas a cada función del activo.
- Definir los modos de fallas asociados a cada falla funcional.
- Establecer los efectos o las consecuencias asociadas a cada modo de falla.
- Fallas funcionales.

2.2.10.- Funciones

Moubray, J (2004) “Se refiere a lo que el usuario del equipo o sistema, desea que realice, ya que, cada elemento ha sido diseñado para un propósito determinado” (p.6). Es por esto que el primer paso del MCC es definir las funciones de cada bien en su contexto operativo, como así también los estándares de desempeño deseados. Las funciones que los usuarios pretenden que sus bienes desempeñen pueden dividirse en dos categorías:

- Funciones primarias: que sintetizan porque el bien fue adquirido en primer lugar. Esta categoría de funciones cubren temas tales como velocidad, rendimiento, capacidad de transportación o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente.
- Funciones secundarias: que indica que todo bien produzca más que simplemente su función primaria. Los usuarios también tiene expectativas en áreas como seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia de operación, cumplimiento con las normas medioambientales, y hasta la estética o apariencia del bien.

Si bien es cierto, resulta importante definir las funciones de los equipos en su contexto operacional. Ante esto, se debe considerar la diferencia entre los dos tipos que se pueden hallar. Con esto, se logrará dar una comprensión clara y precisa al momento de llevar a cabo cualquier metodología que amerite la distinción de estos dos términos.

2.2.11.-Estructuración del AMEF

La Norma Técnica PDVSA MM-01-01-01 (op.cit) define los siguientes términos:

- Falla: es el estado de un elemento activo cuando llega a ser completamente inoperante o, aun cuando todavía puede operar, no realiza satisfactoriamente su función o porque su condición insegura de funcionamiento no se permita su uso.
- Falla funcional: es aquella que sucede cuando el sistema opera por fuera de estos parámetros “normales o deseados” entonces, se considera que se tiene una falla. Las fallas funcionales, o la forma en la cual es activo pueden fallar para satisfacer las expectativas del usuario.
- Modo de falla: es el provoca la pérdida de función total o parcial de un activo en un contexto operacional, cada falla funcional puede tener más de un modo de falla.
- Efectos de fallas: los efectos de fallas es una información de los eventos secuenciales que ocurren cuando un modo de falla se da, debe poseer las siguientes características:
 - a) Información necesaria para determinar consecuencias y tareas de mantenimiento
 - b) Describirse como si no estuviera haciéndose algo para prevenirlos
 - c) Considerarse que el resto de los dispositivos y procedimientos operacionales funcionan o se llevan a cabo (p. 10).

Para conocer los efectos de fallas deben hacerse las siguientes interrogantes:

- ¿Qué evidencias hay de que ocurrió la falla?
- ¿De qué manera afecta a la seguridad y al ambiente?
- ¿De qué manera afecta a la producción o las operaciones?
- ¿Es necesario para el proceso?
- ¿Hay impacto en la calidad? ¿Cuánto?
- ¿Hay impacto en el servicio del cliente?
- ¿Se producen daños a otros sistemas?
- ¿Qué daños físicos ocasiona la falla?
- ¿Qué debe hacerse para reparar la falla?

Sin la aplicación de estas interrogantes, resultaría complicado estructurar el AMEF y dar cumplimiento a lo que su metodología establece.

2.2.12.- Consecuencia de las Fallas

STRATEGIC TECHONLOGIES INC (1999), expresa que: “es como y cuanto importa cada falla, son los impactos que produce cada modo de falla en el negocio, estas indican si se necesita prevenirlas y con qué esfuerzo” (p.89). Durante el armado de la metodología AMEF, resultado de suma importancia tener en consideración todo lo expuesto en este apartado, aún más tras la aplicación de la toma de decisiones que ayuda el ALD.

Las consecuencias de las fallas se clasifican en:

- Consecuencias de las fallas ocultas: las fallas ocultas no causan un impacto directo, pero exponen a la empresa a fallas múltiples, con consecuencias serias y frecuentemente catastróficas. (La mayoría de estas fallas están asociadas a sistemas de protección no libres de fallas).

- Consecuencias medioambientales y de seguridad: una falla trae consecuencias de seguridad si potencialmente puede dañar o causar la muerte. Tiene consecuencias medioambientales si provoca la violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional, nacional o internacional.
- Consecuencias operativas: una falla trae consecuencias operativas cuando afecta la producción (rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente o costos operativos, además del costo directo de reparación).
- Consecuencias no operativas: las fallas evidentes que conforman esta categoría, no tiene consecuencia ni de seguridad, ni de protección, de modo que solo implican el costo de reparación.

2.2.13.- Árbol lógico de Decisión (ALD)

Según Suarez D, (2008), el árbol lógico de decisión

Es una herramienta diseñada por el MCC, que permite seleccionar la tarea de mantenimiento más adecuada para evitar la ocurrencia de cada modo de falla o disminuir sus posibles efectos y consiste en un flujograma de preguntas. Cabe destacar que el primer paso para seleccionar la tarea de mantenimiento, consiste en identificar las consecuencias que generan los modos de fallas, cuestión que consigue el equipo natural de trabajo a partir del AMEF. (p.25)

La selección de estrategias de mantenimiento está ligada a la utilización de la lógica de decisión, herramienta en la cual se considera las implicaciones de las consecuencias de fallas y la posibilidad de asociar alguna estrategia de mantenimiento que permita establecer una serie de tareas técnicamente factibles y que efectivamente mitiguen los riesgos asociados al activo en su contexto operacional específico.

Mediante el ALD se podrá observar en forma gráfica la relación lógica entre un modo de falla y la causa primordial de falla. Luego de realizarse el ALD, se procederá a calcular la probabilidad de falla del sistema.

2.2.14.- Actividades Preventivas

STRATEGIG TECHONLOGIES INC (op.cit). Expresa que “son aquellas que ayudan a decidir qué hacer para prevenir una consecuencia de falla” (p.97). Estas actividades fueron consideradas en su totalidad para el establecimiento y sugerencia de las actividades del plan de mantenimiento propuesto en esta investigación.

Las tareas preventivas se clasifican en:

- Tareas programadas en base a condición: las actividades programadas en base a condición (predictivas), se basan en el hecho de que la mayoría de los modos de fallas no ocurren instantáneamente, si no que se desarrollan progresivamente en un período de tiempo. Si la evidencia de este tipo de modo de fallas puede ser detectada bajo condiciones normales de operación, es posible que se puedan tomar acciones programadas en base a la condición del activo, que ayuden a prevenir estos modos de fallas y/o eliminar sus consecuencias.
- Tareas de reacondicionamiento: como su nombre lo indica, las tareas de reacondicionamiento, se refieren a las actividades periódicas que se llevan a cabo para restaurar un activo, (sistema, equipo, parte) a su condición original. En otras palabras las actividades de restauración programada, son aquellas actividades de prevención realizadas a los activos (en la mayoría de los casos equipos mayores) a un intervalo de frecuencia menor al límite de vida operativo del activo, en función del análisis de sus funciones en el tiempo. En este tipo de actividades de mantenimiento preventivo, los activos son puestos fuera de servicio, se desarmen, se desmontan, se inspeccionan de forma general, se corrigen y reemplazan de ser

necesario, partes defectuosas, con el fin de prevenir la aparición de posibles modos de falla.

- Tareas de sustitución – reemplazo programado: este tipo de actividad preventiva está orientada específicamente hacia el reemplazo de componentes o partes usadas de un activo, por unos nuevos, a un intervalo de tiempo menor al de su vida útil (antes de que fallen). Las actividades de descarte programado le devolverán la condición original al componente, ya que el componente viejo será reemplazado por uno nuevo. La diferencia entre las tareas de descarte programado y las tareas de restauración programada es que las primeras son aplicadas a componentes y/o partes de un activo y no a activos complejos (activos con varios componentes), y a su vez la acción a ejecutar en las tareas de descarte programado es específicamente el reemplazo de un componente viejo por uno nuevo. En el caso de las tareas de restauración programada las acciones a ejecutar pueden ser: ajustar, inspeccionar, mejorar, limpiar, restaurar y hasta cambiar partes viejas por nuevas.
- Tareas de búsqueda de fallas ocultas: como se definió anteriormente los modos de fallas ocultos no son evidentes bajo condiciones normales de operación, por lo cual este tipo de fallas no tienen consecuencias directas, pero las mismas propician la aparición de fallas múltiples en un determinado contexto operacional. Uno de los caminos que puede ayudar a minimizar los posibles efectos de una falla múltiple es tratar de disminuir la probabilidad de ocurrencia de las fallas ocultas, chequeando periódicamente si la función oculta está trabajando correctamente. Estos chequeos son conocidos como las tareas de pesquisa de fallas ocultas. En conclusión, las tareas de pesquisa de fallas consisten en acciones de chequeo a los activos con funciones ocultas, a intervalos regulares de tiempo, con el fin de detectar si dichas funciones ocultas se encuentran en estado normal de operación o en estado de falla.

2.2.15. Actividades “a falta de”

STRATEGIGTECHONLOGIES INC (op.cit) señala que:

Las acciones “a falta de” que deben tomarse si no se pueden encontrar tareas preventiva apropiadas. Éstas incluyen la búsqueda de fallas, el no realizar ningún tipo de mantenimiento y el rediseño. Las tareas “a falta de” están regidas por las consecuencias de las fallas. (p.201).

Este tipo de acciones se clasifican en:

- Rediseño: en el caso que no se consigan actividades de prevención que ayuden a reducir los modos de fallas que afecten a la seguridad o al ambiente a un nivel aceptable, es necesario realizar un rediseño que minimice o elimine las consecuencias de los modos de fallas.
- Actividades de mantenimiento no programado: en el caso de que no se consigan actividades de prevención más económicas que los posibles efectos que traerán consigo los modos de fallas con consecuencias operacionales o no operacionales, se podrá tomar la decisión de esperar que ocurra la falla y actuar de forma correctiva.

2.2.16.- Planes de Mantenimiento

Según la Norma Técnica PDVSA MM-01-01-01 (op.cit), establece que: “es un documento que establece el qué, cómo y con qué frecuencia se ejecutarán las actividades de mantenimiento. Asimismo, incluye los repuestos y recursos necesarios para llevarlas a cabo” (p.15). Los planes de mantenimiento son los elementos de referencia básicos que de forma sistemática y ordenada, establecen las bases sobre las cuales se ejecutarán las actividades de mantenimiento establecidas en su programación.

2.2.17.- Turbina de Gas

Renove tecnología (2014) expresa que:

Está diseñada para aprovechar la velocidad de salida de los gases de combustión y convertir su energía cinética en energía mecánica rotacional. Todas sus etapas son por lo tanto de reacción, y deben generar la suficiente energía para alimentar al compresor y la producción de energía eléctrica en el generador. Suele estar compuesta por 4 o 5 etapas, cada una de ellas integrada por una corona de alabes con un adecuado diseño aerodinámico, que son los encargados de hacer girar el rotor al que están unidos solidariamente. Además de estos, hay antes de cada etapa un conjunto de alabes fijos sujetos a la carcasa, y cuya misión es redireccionar el aire de salida de la cámara de combustión y de cada etapa en la dirección adecuada hasta la siguiente. (p.1)

La operación de una turbina de gas es similar a la de la termoeléctrica, excepto que se utiliza aire en vez de agua. El aire atmosférico fluye a través de un compresor donde adquiere una presión elevada. En las centrales de energía de vapor, gas o hidroeléctricas que acciona al generador eléctrico es la turbina. Cuando el fluido pasa por la turbina, ejerce trabajo sobre los álabes que están unidos al eje. En consecuencia, el eje gira y la turbina produce trabajo. El trabajo efectuado en una turbina es positivo puesto que lo realiza el fluido.

2.2.18.-Generador

Narciso B. R (2004) expresa que:

El generador eléctrico es la parte más importante del equipo en una termoeléctrica ya que es el que genera energía eléctrica a partir de energía mecánica, el cual es el objetivo que se quiere conseguir cuando la planta es construida. (p.63)

Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica.

2.2.19.- Bomba

Wilo SE, Dortmund (2005) Expresa que:

La bomba absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa energía hidráulica. El rodete comunica energía al fluido en forma de energía cinética que luego se transforma en energía de presión a través del difusor. Las bombas pueden ser centrífugas y axiales. Las bombas se necesitan para transportar líquidos y vencer las pérdidas de carga en el sistema de tuberías. En instalaciones de bombas con niveles de líquido diferentes es preciso superar además la diferencia de altura geodésica. Las bombas centrífugas son, según su tipo de construcción y transformación de energía, turbomáquinas hidráulicas. Aunque existen numerosos tipos de construcción, todas las bombas centrífugas tienen en común una entrada axial del líquido al rodete de la bomba. (p.52)

2.2.20.- Compresor

Renove tecnología (2014) expresa que:

Su función consiste en comprimir el aire de admisión, hasta la presión indicada para cada turbina, para introducirla en la cámara de combustión. Su diseño es principalmente axial y necesita un gran número de etapas, alrededor de 20 para una razón de compresión de 1:30, comparada con la turbina de expansión. Su funcionamiento consiste en empujar el aire a través de cada etapa de alabes por un estrechamiento cada vez mayor, al trabajar en contra presión es un proceso que consume mucha energía, llegando a significar hasta el 60% de la energía producida por la turbina. Para disminuir la potencia necesaria para este proceso, puede optarse por un diseño que enfríe el aire en etapas intermedias, favoreciendo su compresión, aunque reduce la eficiencia de la turbina por la entrada más fría del aire en la cámara de combustión (p.1).

Los compresores, así como las bombas, son dispositivos útiles para aumentar la presión de un fluido. Sin embargo, su función dentro del contexto operacional donde forman parte estos equipos dinámicos, está relacionado a la transferencia de fluidos: aceite lubricante y gas de sello, respectivamente. La bomba y el compresor forman parte de los equipos auxiliares del equipo Turbogenerador F30-36303.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se condensan los diferentes tipos de investigación utilizados a lo largo del proyecto, y contiene todo lo referente al estudio que se aplicó para obtener las posibles soluciones por lo que se puede decir que representa la parte vital o de mayor importancia de todo el proyecto.

3.1.- Tipo de Investigación

El trabajo de grado corresponde a una investigación de nivel descriptiva, el cual es concebido por Arias (2006), como:

Consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (p.24)

Según en lo enunciado por el autor, se deduce que el nivel de la investigación de este trabajo es descriptiva porque se detallaron las condiciones actuales de los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303 de la Planta de Extracción San Joaquín de PDVSA Gas, así como para lograr la descripción, registro e interpretación del problema actual, además se requirió la aplicación de técnicas específicas como criterios y formatos de recolección de información, entrevistas directas con el personal y documentación.

3.2.- Diseño de la Investigación

La investigación a ser desarrollada tiene diseño de campo, de la cual Arias (op.cit.) comenta que “consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin

manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes” (p. 79). En cuanto al diseño de campo, está relacionado con el estudio porque los problemas se describen, se analizan en forma directa, utilizando métodos y herramientas para evaluar los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303 de la planta, observar las condiciones de los equipos y establecer las posibles soluciones.

Además, el estudio tiene apoyo en una información documental ya que la misma estuvo complementada con el análisis de datos obtenidos de diferentes fuentes de información, tales como: informes de investigación, fuentes bibliográficas, tesis, y otros materiales informativos tanto impresos como electrónicos.

3.3.- Población y Muestra

3.3.1.- Población

Arias. F (op.cit). Define población como “conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan” (p. 22), es decir el personal que forma parte de la organización; siendo esta, la Planta de Extracción San Joaquín de PDVSA Gas. En este proyecto la población fue constituida por el personal relacionado al área de mantenimiento operacional la cual estuvo conformada por doce (12) trabajadores específicamente de los departamentos de mecánica, electricidad y turbomáquinas que laboran en la Planta de Extracción San Joaquín de PDVSA Gas.

3.3.2.- Muestra

Arias F, (op.cit) es un “subconjunto representativo de un universo o población” (p. 22). Para este caso se consideró la muestra igual a la población, que estuvo conformada por los doce (12) trabajadores de mantenimiento operacional de los

departamentos de mecánica, electricidad y turbomáquinas que laboran en la Planta Extracción San Joaquín de PDVSA Gas.

En la siguiente tabla 3.1 se muestra los cargos y especialidades del personal correspondiente a la muestra descrita.

Tabla 3.1.- Cargos y especialidades del personal de PESJ

Nombre	Cargo
Jorge Rodríguez	Supervisor de Mantenimiento
José Marchena	Analista de mantenimiento
Efrén Ancheta	Técnico Mecánico
Daniel Medina	Técnico Electricista
Rosmel Lisboa	Técnico Electricista
Juan Dávila	Técnico Instrumentista
Daniel Medina	Técnico Instrumentista
Marien Moya	Programador
Eglys Fajardo	Superintendente
Jesús Basante	Operador Panelista
Ricardo Acevedo	Supervisor SHA
Eva Perozo	Ingeniero en Confiabilidad

Fuente: El autor (2017)

3.4.- Unidad de Estudio

En la tabla 3.2 se detallan los equipos auxiliares que pertenecen al Turbogenerador F30-36303 de la planta de Extracción San Joaquín de PDVSA Gas.

Tabla 3.2.- Descripción de los equipos auxiliares

Descripción del Equipo	Cantidad
Bombas de lubricación	6
Motores eléctricos de 50 (Hz)	6
Enfriadores de aceite lubricante	2
Motores eléctricos de los enfriadores de aceite lubricante	2
Compresores de aire para instrumento	2
Motores de los compresores de aire para instrumento	2
Enfriadores de gas de sello	2
Motores eléctricos de los enfriadores de gas de sello	2
Total	24

Fuente: El autor (2017)

3.5.- Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Según Arias F. (op.cit) “son las distintas formas o maneras de obtener información” (p. 25). Galtung J. (1996) establece que en la investigación social y jurídica social se presentan las siguientes herramientas de recolección de datos:

- Entrevista no estructurada
- Revisión documental
- Observación directa
- Lluvia de ideas

3.5.1.- Entrevista no Estructurada

Sabino (2002) manifiesta que “es aquella en que existe un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas” (p.97).

A través de esta técnica se pudo establecer conversaciones con el personal que labora en el departamento objeto de estudio con la finalidad de conocer y corroborar información de los historiales de cada los equipos en estudio, ahondar un poco acerca

de la forma como se llevan los procesos, así mismo, permitió aclarar dudas acerca del tema y las necesidades existentes en esa área.

3.5.2.- Revisión Documental

En relación a la utilización de esta técnica Tamayo y Tamayo (2003) se refiere que “la revisión documental permite acudir a cualquier fuente o referencia en cualquier momento facilitando información para la investigación”. (p. 182).

Esta técnica se llevó a cabo a través de consultas sobre las fuentes relacionadas con la investigación; dichas fuentes sirvieron de apoyo ya que permitieron adquirir los conocimientos necesarios para la comprensión del tema en estudio. Entre las que destacaron: libros, tesis de grado, publicaciones, manuales, en general toda la variedad de material que frecuentemente puede encontrarse sobre el tema objeto de estudio.

3.5.3.- Observación Directa

Sabino (op.cit) expresa que “consiste en el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que queremos estudiar” (p.90).

Esta técnica se utilizó para recolectar información de los equipos en estudio directamente en el área de operación, verificar sus condiciones y conocer sus rutinas de mantenimiento. Se utilizó la ayuda del personal de mantenimiento para realizar esta técnica, de ésta manera, se pudo conocer la realidad del Departamento de Mantenimiento Operacional de la Planta de Extracción San Joaquín de PDVSA Gas.

3.5.4.- Lluvia de Ideas

Según Amsden (1991) “es una técnica de grupo para generar ideas originales en un ambiente relajado” (p.2). A través de la aplicación de esta técnica se logró generar un número de ideas claras y definidas con respecto a las fallas detectadas y posibles fallas que se pudieran presentar en los equipos auxiliares del Turbogenerador; de igual forma, a través de su aplicación se logró identificar oportunidades de mejoras con la finalidad de establecer las recomendaciones pautadas en esta investigación.

3.6.-Técnicas de Análisis de Datos

Arias, F. (op.cit), establece que “en este punto se describen las operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan”. (p. 111).

En esta técnica se debió resumir las observaciones llevadas a cabo de forma tal que proporcionen respuestas a las interrogantes de la investigación.

3.6.1.-Fichas Técnicas

Según Hurtado (2005):

Una ficha técnica es un documento en forma de sumario que contiene la descripción de las características de un objeto, material, proceso o programa de manera detallada. Los contenidos varían dependiendo del producto, servicio o entidad descrita, pero en general suele contener datos como el nombre, características físicas, el modo de uso o elaboración, propiedades distintivas y especificaciones técnicas. (p.21)

Una ficha técnica es un documento donde se reflejan datos del equipo o máquina, tales como código, fabricante de entrada en la empresa, fecha de fabricación, descripción, situación en el almacén y otros datos de interés, como

número de serie los cuales son datos muy importantes que ayudarán a completar información en el contexto operacional y a la realización del plan de mantenimiento. Estas fichas técnicas se estructurarán y dejarán por sentado la información recolectada directamente de manuales de operación o evidencias observables durante las visitas realizadas a la instalación de la planta.

3.6.2.-Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

Según la Norma Técnica PDVSA MM-01-01-01 (op.cit), establece: “es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan” (p.7).

Es una técnica que consiste en la elaboración de un análisis de forma detallada sobre las posibles fallas que se puedan originar. Permite conocer las fallas totales y parciales, así como los efectos producidos por los modos de fallas que puedan presentarse en el objeto de estudio. En su contexto operacional, se buscan las posibles causas, se evalúan sus defectos, para encontrar las acciones correctas y puestas en marcha. Se aprovechó la experiencia del personal que labora en el departamento de Mantenimiento Operacional para llevar a cabo el análisis detallado de las fallas. Los datos recabados fueron agrupados en un formato de elaboración propia, donde se registraran las fallas potenciales de los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303.

3.6.3.-Árbol lógico de Decisión (ALD)

Suarez (2008) lo define como:

Una herramienta diseñada por el MCC, que permite seleccionar la tarea de mantenimiento más adecuada para evitar la ocurrencia de cada modo de falla o disminuir sus posibles efectos y consiste en un flujograma de preguntas. (p.25)

El ALD consiste en la elaboración de una serie de preguntas secuenciales dirigidas a cada modo de falla. Mediante esta técnica se facilitó la interpretación de la decisión adoptada con respecto a cada acción de mantenimiento que debió aplicarse.

3.7.- Desarrollo Sistémico de los Objetivo

3.7.1.-Definición del Contexto Operacional del Turbogenerador F30-36303 y sus Equipos Auxiliares

En esta etapa de la investigación, mediante observación directa, recolección de datos operacionales, de diseño y entrevistas informales al personal de mantenimiento se logró describir las condiciones operacionales actuales del equipo en estudio, identificando cada uno de los equipos auxiliares que lo conforman y su comportamiento actual según sus funciones y diseño.

Toda la información recolectada del turbogenerador y los equipos auxiliares, se mostró en fichas técnicas (ver figura 3.1) indicando su función principal y datos operacionales dentro del contexto donde se encuentran. Adicional a esto, se describió el proceso operativo realizado dentro de la Planta extracción San Joaquín apoyado con un diagrama indicativo de la distribución de las áreas y la ubicación de los equipos.

		FICHA TÉCNICA		Realizado por:	
				Fecha elaboración:	
Nombre del equipo					
Función del equipo:	Descripción de la función del equipo	Imagen Representativa Del equipo			
Características Principales					

Figura 3.1.- Ficha de descripción técnica

Fuente: El autor (2017)

3.7.2.- Determinación de las Fallas Funcionales de los Equipos Auxiliares que Pertenecen al Turbogenerador F30-36303 Utilizando la Metodología de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

A través de esta metodología se logró determinar las funciones, las fallas de las funciones, modos de falla y efectos de fallas de los equipos. Para el desenvolvimiento de esta etapa se utilizó técnicas de revisión del manual del fabricante, manual de operaciones de la Planta de extracción San Joaquín, adicional a esto, se contó con el apoyo del ENT (ver figura 3.2) donde se sostuvo la dinámica participación con lluvias de ideas y también formaron parte de esto, personal de mayor experiencia y técnicos operativos y por último, fueron las referencias revisadas, para indagar sobre las interrogantes que propicia el AMEF.

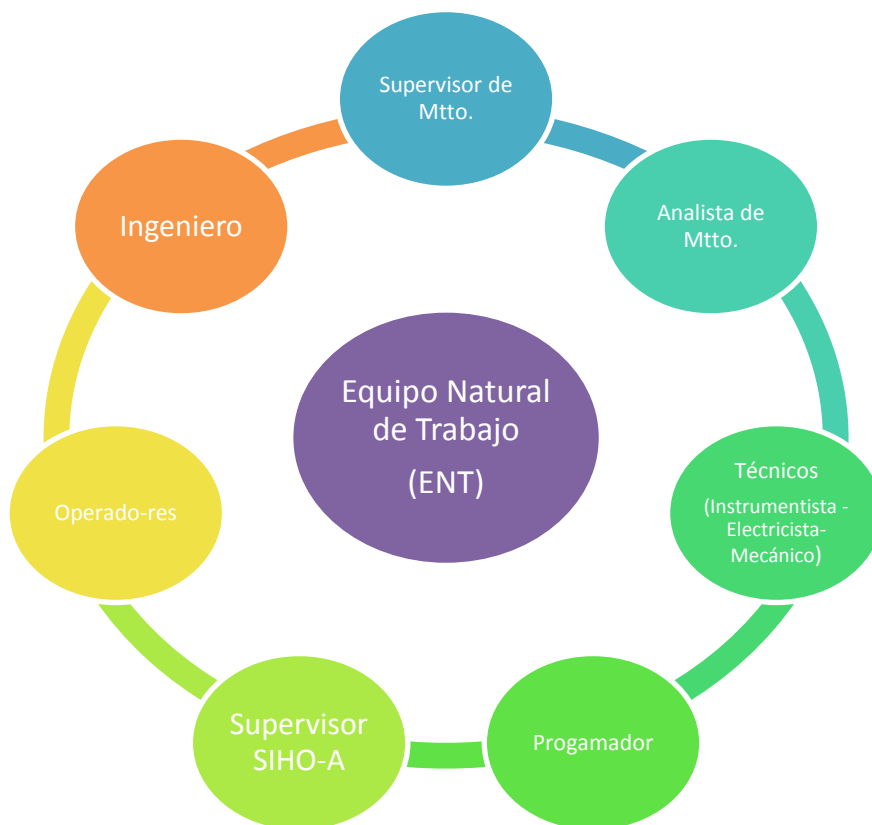


Figura 3.2.- Representación del Equipo natural de trabajo (ENT)

Fuente: El autor (2017)

Para asentar los resultados del AMEF se diseñó una hoja de información adaptada a la planta de extracción San Joaquín (Ver figura 3.3), basada en la propuesta de Hoja De Información RCM II ©1999 ALADONLTD, con la finalidad de mejorar la identificación de los componentes objeto de estudio, cumpliendo normalmente con los requisitos que amerita la aplicación del AMEF.

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)			
Sistema:	Realizado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Equipo:	Fecha:	Fecha:	Fecha:
			Hoja:
Función	Falla Funcional	Modo de falla	Efecto de falla
1			

Figura 3.3.- Hoja de información AMEF

Fuente: El autor (2017)

3.7.3.-Establecimiento de las Actividades de Mantenimiento Mediante el Árbol Lógico de Decisión de los Equipos Auxiliares del Turbogenerador F30-36303

Esta etapa se fundamentó en determinar las acciones necesarias a implementar para el sistema, mediante el método del flujograma de preguntas del árbol lógico de decisiones (ALD). La técnica empleada se orientó en reuniones con el equipo natural de trabajo y entrevistas constante con el personal de experiencia.

Se desarrollaron dos (02) fases: la primera consistió en someter a cada modo de falla al flujograma de preguntas del ALD (Ver Anexo A), hasta llegar a una respuesta positiva en la acción a implementar y la segunda fase se basó en asentar los datos arrojados por el diagrama, en una hoja de decisión (ver figura 3.4) de adaptación propia, fundamentada en la propuesta de Hoja de Trabajo de decisión del RCM II por The Woodhouse Partnership Ltd.

		PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE DECISIÓN DEL ALD													
		Sistema:				Realizado por:				Revisado por:				Aprobado por:	
Equipo:				Fecha:				Fecha:				Fecha:			
Referencia de hoja del AMEF:												Hoja:			
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	ABCD	AEFG	S	A	O	NO	BC	BT	DF	OT			

Figura 3.4.- Hoja de Respuestas AMEF

Fuente: El autor (2017)

En la hoja de decisión además de mostrar las respuestas a las preguntas del Árbol Lógico de Decisiones, también se muestra la frecuencia propuesta inicialmente y el departamento asignado para realizar la actividad.

3.7.4.-Elaboración de los Planes de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los Equipos Auxiliares que Pertenecen al Turbogenerador F30-36303

Una vez obtenidos los resultados del análisis de modos y efecto de falla, se hizo el uso del ALD a fin de obtener las posibles actividades de mantenimiento, ambas herramientas dieron las pautas para el estudio de los equipos auxiliares, seguidamente se realizó un plan de mantenimiento preventivo que se espera garantice la disponibilidad de los equipos y su continuidad operacional, que se traduce en la entrega oportuna de 20 MW al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), se especificaron qué actividades deben realizarse al equipo tomando en cuenta una determinada frecuencia o periodicidad, y se señaló el personal encargado, y así garantizar que los equipos en estudio cumplan su correcta función, además de tener un mejor control del personal, materiales y equipos.

3.7.5.- Estimación de los Costos de la Propuesta

Finalmente, se estimaron los costos de mano de obra, de los materiales y/o repuestos a utilizar para llevar a cabo el mantenimiento de los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303, se tomaron en cuenta los costos que incurrieron en la aplicación del mantenimiento preventivo, de esta manera que se determinó que la ejecución de los planes de mantenimiento es rentable para la empresa. Todo esto fue mostrado en una ficha descriptiva tal como se observa en la figura 3.5.

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo (Bs.F)	Costo total (Bs.F)
Total de la inversión:				

Figura 3.5.- Hoja de descripción de costos
Fuente: El autor (2017)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1.- Definición del Contexto Operacional del Turbogenerador F30-36303 y sus Equipos Auxiliares

Si bien es cierto, el contexto operacional está referido a las condiciones o circunstancias bajo las cuales se espera que opere un activo o sistema. Por tanto, en este capítulo se presenta la descripción del contexto bajo el cual opera Turbogenerador F30-36303 de la planta de Extracción San Joaquín (ESJ), abarcando la descripción de los equipos auxiliares que lo integran con sus respectivas funciones y características técnicas más relevantes.

4.1.1.- Generalidades del Turbogenerador Modelo F30-36303

El turbogenerador es una máquina termodinámica de ciclo simple, con una potencia nominal de 35.000 HP. Este equipo acciona un generador eléctrico con una carga de producción de 20 MW nominales diarios. Está compuesto básicamente, por un compresor axial, cámaras de combustión y una turbina. La correcta operación del mismo requiere de una serie de equipos auxiliares los cuales se describen posteriormente. Su función principal, es la de succionar el gas residual generado durante las operaciones de la Planta ESJ, comprimirlo, calentarlo y a través del aprovechamiento de la energía, transformarlo través de los alabes de la turbina.

De acuerdo a lo que explica Cáceres (2007) “el ciclo termodinámico en las turbinas a gas corresponde al ciclo Brayton, y consiste en una compresión adiabática seguida de una politrópica (calentamiento a presión constante) y finaliza con una expansión adiabática” (p. 49).

Esto es debido a que los gases que se expanden están más calientes que los gases comprimidos, el trabajo puede obtenerse en el proceso de expansión es mayor que el de compresión. El trabajo neto del ciclo es la diferencia entre los dos. Además, el compresor absorbe aproximadamente dos tercios de la potencia generada por la turbina.

Luego, esta turbina trabaja con el ciclo termodinámico Brayton en el cual la combustión y el escape se producen a presión constante y la compresión y la expansión ocurren continuamente en lugar de intermitente como ocurre en otros ciclos. Con este modelo se adquiere una potencia motriz disponible continuamente.

El gas combustible requerido para este sistema se toma de la entre-etapa del compresor residual corriente arriba del filtro de gas de regeneración en cada tren de proceso. Las líneas de combustible provenientes de cada tren se combinan en una sola línea y el gas a presión controlada pasa hacia las instalaciones del turbogenerador y fluyen hasta un depurador de gas combustible de las instalaciones.

Después, una línea de gas combustible de emergencia proveniente de las tuberías de gas residual se provee para suministrar combustible al depurador de gas combustible de las instalaciones del generador cuando la planta de extracción está parada. Luego, el gas de la tubería de alta presión fluye a través de una estación de control de presión, la cual baja dicha presión a la presión operativa del gas combustible.

Dicho gas pasa a través del depurador bifásico, donde se extrae todo el líquido arrastrado en el flujo de gas por medio de mecanismos internos en dicho equipo y luego de allí fluye a las turbinas del generador de electricidad totalmente seco.

Y en la tabla 4.1 se pueden observar las características técnicas que describen el Turbogenerador F30-36303 perteneciente a la plata de Extracción San Joaquín PDVSA Gas

Tabla 4.1.- Descripción técnica del Turbogenerador F30-36303

	FICHA TÉCNICA	Realizado por:
		Yineth Duque
		Fecha elaboración:
		Enero, 2017
Turbogenerador		
Función del equipo:	Generar energía eléctrica con capacidad de 20 MW para cubrir la demanda eléctrica de zonas aledañas.	
Características Principales		
Turbina Marca: Siemens Modelo: SGT 600 Potencia ISO: 25 MW Eficiencia Elec.: 34,2% Compresor axial: 10 etapas Combustión: 18 Combustores Baja emisión NOX Velocidad GG: 9550 rpm Velocidad PT:7700 rpm Sist. Control: SimaticPCS7	Generador Marca: ABB Modelo: AMS1120LC Potencia: 23530 KVA Voltaje: 13,8 KV Corriente: 984 A Frecuencia: 60 HZ Caja de engranaje: Flender-GraffenstandenTX90/4C Entrada: 7706 rpm Salida: 1800 rpm	

Fuente: El autor (2017)

Adicionalmente, con el propósito de cumplir con el estudio propuesto fue necesario también incluir información en relación a los equipos auxiliares así como

de las condiciones a la que los mismos estaban expuestos en cuanto a su operación y mantenimiento.

En relación a lo anterior, el equipo de trabajo que está directamente relacionado con el turbogenerador es el siguiente:

- Un (01) Técnico mecánico
- Un (01) Técnico eléctrico
- Un (01) Técnico instrumentista
- Un (01) Supervisor de Operaciones
- Un (01) Supervisor de Mantenimiento
- Un (01) Supervisor de Turbomáquinas

Quienes cumplen una jornada de trabajo tal como está descrita en la tabla 4.2

Tabla 4.2.-Jornada laboral

Jornada laboral Personal Operaciones y Mantenimiento	07:00 am a 03:00 pm
	03:00 pm a 11:00 pm
	11:00 pm a 07:00 am

Fuente: El autor (2017)

Las actividades de mantenimiento, inician con el cambio guardia durante la jornada, donde el operador de mantenimiento se dedica a tomar una lista de verificación para chequear los parámetros de operaciones en el panel de control ubicada en la zona de control, y es aquí donde monitorean las variables de presión, temperatura y niveles de lubricantes en los casos que aplican. Seguidamente, el operario realiza un breve recorrido en las áreas adyacentes a los equipos auxiliares con la finalidad de asegurarse de que las variables estén mostrando los resultados correctos. Con respecto al mantenimiento, no existe ninguna otra actividad distinta a la descrita a la anterior. Es decir, cuando un equipo presenta una falla el mismo es asistido siempre y cuando no requiera de alguna sustitución o reemplazo de

componentes, de lo contrario se espera a que éste se detenga en su totalidad para proceder a la intervención del mismo.

4.1.2.- Descripción de los Equipos Auxiliares del Turbogenerador F30-36303

En esta etapa de la investigación, mediante observación directa, recolección de datos operacionales, de diseño y entrevistas informales al personal de mantenimiento se logró describir las condiciones operacionales actuales de los equipos auxiliares que conforman al Turbogenerador F30-36303 y su comportamiento actual según sus funciones y diseño.

Toda la información recolectada de los equipos auxiliares, se mostró en fichas técnicas indicando su función principal y datos operacionales dentro del contexto donde se encuentran. Adicional a esto, se describió el proceso operativo realizado dentro de la Planta extracción San Joaquín apoyado con un diagrama indicativo de la distribución de las áreas y la ubicación de los equipos. En la tabla 4.3 se enlistan los equipos auxiliares así como las cantidad existentes en la Planta Extracción San Joaquín

Tabla 4.3.- Descripción de los equipos auxiliares del turbogenerador

Descripción del Equipo	Cantidad
Bombas de lubricación	6
Motores eléctricos de 50 (Hz)	6
Enfriadores de aceite lubricante	2
Motores eléctricos de los enfriadores de aceite lubricante	2
Compresores de aire para instrumento	2
Motores de los compresores de aire para instrumento	2
Enfriadores de gas de sello	2
Motores eléctricos de los enfriadores de gas de sello	2
Total	24

Fuente: El autor (2017)

En la figura 4.1, se visualiza el flujo de proceso de entradas y salidas, así como el principio de funcionamiento de los equipos auxiliares.

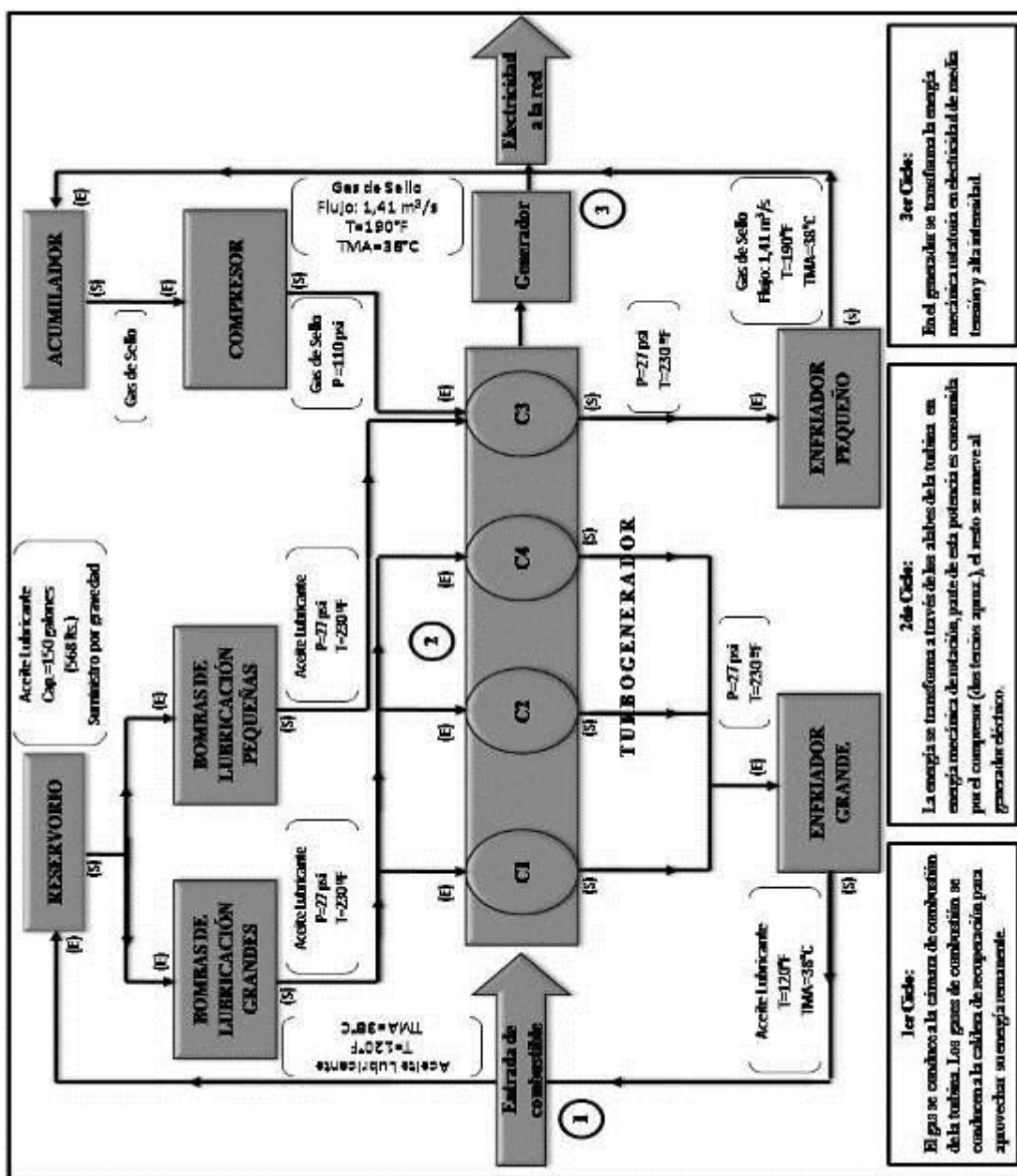


Figura 4.1.- Funcionamiento de los equipos auxiliares

Fuente: El autor (2017)

Para dar continuidad, en la figura 4.2 se visualiza el flujo de entrada y salida de los aceites lubricantes y gas de sello así como la actuación de los equipos auxiliares en relación con el equipo Turbogenerador F30-36303. Durante la operación del Turbogenerador los equipos auxiliares cumplen una función específica siendo descrita a continuación.

Observando en la figura 4.2, las bombas grandes y pequeñas succionan aceite lubricante de un reservorio en común y este lo transfieren a los cojinetes C1, C2, C3 y C4. Las bombas grandes mantienen lubricados los cojinetes 1, 2 y 4, así como también la caja reductora y al generador; mientras que las bombas pequeñas son utilizadas para lubricar el cojinete 3 debido a que éste está expuesto a condiciones de alta temperatura a diferencia de los otros tres (03).

Todo este aceite lubricante que llega a los cojinetes es enviado al enfriador grande para que este disminuya sus temperaturas y sea enviado nuevamente al tanque reservorio de las bombas. De esta forma, se cumple una recirculación del aceite lubricante. De igual forma, los compresores succionan aire de gas de sello de unos acumuladores, para enviarlo al cojinete 3, para evitar fugas ya que este cojinete por su diseño está expuesto a condiciones externas como se explicó anteriormente. Todo el gas es recirculado pasando primeramente por el enfriado pequeño y luego se dispone a los contenedores respectivos. De esta forma, el turbogenerador requiere, para su óptimo funcionamiento, de las condiciones adecuadas de los equipos auxiliares ya que si alguno de ellos llegase a fallar, por no contar con equipos en espera, la parada sería inevitable.

Como parte de esta sección, en las próximas tablas 4.4 – 4.8, se detallan las características principales encontradas de los equipos auxiliares del turbogenerador F30-36303, todo esto se mostró en fichas técnicas indicando, en esencia, la función del equipo, un imagen representativa y su descripción técnica.

Tabla 4.4.- Descripción técnica – Bomba de lubricación (grandes)

		FICHA TÉCNICA	Realizado por:	
			Yineth Duque	
			Fecha elaboración:	
			Enero, 2017	
Bomba de Lubricación (grandes)				
Función del equipo:	Impulsar aceite lubricante a los cojinetes 1, 2 y 4, al generador y a la caja reductora del turbogenerador a una presión de 26 Psi y 115°C			
Características Principales				
Presión de trabajo recomendada: 26 - 29 Psi Alarma por baja presión: 20,3 Psi Alarma de disparo: 15,95 Psi Tipo: Centrifuga Temperatura: 239 °F			Motor acoplado Velocidad: 1800 rpm Temperatura: 60 °C Temperatura máxima: 100 °C	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.5.- Descripción técnica –Bomba de lubricación (pequeñas)

		FICHA TÉCNICA	Realizado por:
			Yineth Duque
			Fecha elaboración:
			Enero, 2017
Bombas de lubricación (pequeñas)			
Función del equipo:	Impulsar aceite lubricante al cojinete 3, del turbogenerador a una presión de 26 Psi y 115°C		
Características Principales			
Presión de trabajo: 30,4 Psi Disparo por alta presión: 41,32 Psi Alarma por baja presión: 21,02 Psi Disparo por baja presión: 16,67 Psi Tipo: Centrífuga Temperatura: 212 °F		Motor acoplado Velocidad: 1800 rpm Temperatura: 60 °C Temperatura máxima: 100 °C	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.6.- Descripción técnica – Enfriador de aceite lubricante

		FICHA TÉCNICA	Realizado por:
			Yineth Duque
			Fecha elaboración:
			Enero, 2017
Enfriadores de aceite lubricante			
Función del equipo:	Refrigerar a temperaturas ideales del aceite lubricante impulsado por las bombas a los cojinetes.		
Características Principales			
Enfriador: Temperatura de disparo: 149 °F Temperatura de trabajo: 112 °F Alarma: 140 °F Temperatura de disparo por baja: 86 °F Alarma de temperatura por baja: 95 °F Velocidad de rotación: 599 rpm Presión de flujo de aire: 31,56 m³/s Potencia: 15,64 kW Temperatura de aire de manejo: 43 °C		Motor: Velocidad de rotación: 1775 rpm Voltaje: 480 V Frecuencia: 60 Hz Frame: 1L 180 L - 4	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.7.- Descripción técnica – Enfriador de gas de sello

	FICHA TÉCNICA	Realizado por:
		Yineth Duque
		Fecha elaboración:
		Enero, 2017
Enfriadores de gas de sello		
Función del equipo:	Refrigerar a temperaturas ideales el gas o aire de sello que se emplea en los sellos de laberinto proveniente de los compresores.	
Características Principales		
Enfriador: Alta temperatura de disparo: 248 °F Temperatura de trabajo: 92 °F Por alarma: 230 °F Flujo de aire: 1,41 m³/s Velocidad de rotación: 1800 rpm Potencia: 0,32 kW Temperatura de aire: 43 °C	Motor: Velocidad de rotación: 1710 rpm Frecuencia: 60 Hz Frame: 1L80M2 – 4 Presión de trabajo: 1600 kPa Temperatura máx. permisible: 400 °C	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.8.- Descripción técnica – Compresor

		FICHA TÉCNICA	Realizado por:
			Yineth Duque
			Fecha elaboración:
			Enero, 2017
Compresores			
Función del equipo:	Suministrar el aire necesario para el accionamiento de todas las válvulas de control del turbogenerador a una presión de 110 Psi.		
Características Principales			
Compresor: Velocidad de giro: 1800 rpm Presión máx.: 10 bar Potencia: 7,5 kW Presión de trabajo: 110 Psi Presión máx. del sistema: 125 Psi Presión mín. de trabajo: 100 Psi Presión de paro del equipo: 80 Psi		Motor: Voltaje: 480 V Velocidad de rotación: 1750 rpm Consumo: 13.5 Frecuencia: 60 Hz Potencia: 7,5 kW Frame: FCP132M-4	

Fuente: El autor (2017)

4.2.- Determinación de las Fallas Funcionales de los Equipos Auxiliares que Pertenecen al Turbogenerador F30-36303 Utilizando la Metodología de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

A continuación, para el desarrollo de este objetivo, muestran los procedimientos empleados y los resultados obtenidos tras el uso de la metodología del AMEF, aplicados a los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303 perteneciente a la Planta Extracción San Joaquín.

4.2.1.- Equipo Natural de Trabajo

Para el cumplimiento de etapa del proyecto, primeramente, fue necesario formar el Equipo Natural de Trabajo (ENT) de la planta de Extracción San Joaquín, por lo que se requirió de la participación de especialistas que pertenecen a la planta de Extracción San Joaquín que estuviesen vinculado directamente con los equipos auxiliares y que tuviesen amplio conocimientos en el área de mantenimiento. Los integrantes se muestran a continuación en la siguiente tabla 4.9:

Tabla 4.9.-Equipo natural de trabajo (ENT)

Nombre	Cargo
Jorge Rodríguez	Supervisor de Mantenimiento
José Marchena	Analista de mantenimiento
Efrén Ancheta	Técnico Mecánico
Daniel Medina	Técnico Electricista
Rosmel Lisboa	Técnico Electricista
Juan Dávila	Técnico Instrumentista
Daniel Medina	Técnico Instrumentista
Marien Moya	Programador
Egllys Fajardo	Superintendente
Jesús Basante	Operador Panelista
Ricardo Acevedo	Supervisor SIHO-A
Eva Perozo	Ingeniero en Confiabilidad

Fuente: El autor (2017)

Este equipo natural de trabajo fue pilar fundamental en el desarrollo de cada etapa que comprende el análisis de modos y efectos de fallas, puesto que a través de la colaboración de los integrantes del mismo, se recopiló, ordenó y validó información útil y necesaria para el estudio. Por tanto, una vez culminada recopilación de toda la información, se procedió sistemáticamente a la construcción y llenado de información mostrada en las tablas 4.10 a la 4.17.

Tabla 4.10.-Hoja de información AMEF - Bomba de lubricación

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)							
Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	
Equipo: Bomba de lubricación		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
						Hoja: 1 de 16	
Función		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Bombear lubricante a los cojinetes 1, 3 y 4 de la turbina, caja de engrane y generador, a una presión de 30 Psi.	A	No Bombea	A.1	Calentamiento excesivo de los rodamientos (mayor a 40°C) por baja cantidad o fuga de lubricante	Deterioro temprano de los rodamientos y atascamiento de los mismos lo que provoca paro del equipo, con impacto severo en la producción del sistema eléctrico.	
				A.2	Excesivo calentamiento de los rodamientos (mayor a los 40°C), lubricación inadecuada por desgaste en anillos o aros de lubricación	Deterioro temprano de los rodamientos y atascamiento de los mismos lo que provoca paro del equipo, con impacto severo en la producción del sistema eléctrico.	
		B	Bomba por debajo de la presión de 30 Psi.	B.1	Calentamiento excesivo de rodamientos (mayor a 40°C) por baja cantidad o fuga de lubricante	Disminución notable de la producción del sistema eléctrico.	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.10.- Continuación



PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN

SISTEMA ELÉCTRICO

HOJA DE INFORMACIÓN

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	
Equipo: Bomba de lubricación		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
						Hoja: 2 de 16	
Función		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Bombear lubricante a los cojinetes 1, 3 y 4 de la turbina, caja de engrane y generador, a una presión de 30 Psi.	B	Bombee por debajo de los 30 Psi	B.2	Excesivo calentamiento de los rodamientos (mayor a los 40°C), lubricación inadecuada por desgaste en anillos o aros de lubricación	Deterioro temprano de los rodamientos y atascamiento de los mismos lo que provoca paro del equipo, con impacto severo en la producción del sistema eléctrico.	
2	Contener el fluido lubricante (14 lts)	A	No contiene el fluido lubricante	2.A.1	Fugas por los sellos mecánicos debido al desgaste por fin de vida útil y/o por instalación incorrecta de los sellos.	Baja eficiencia. Se requerirá la intervención del equipo, con potencial interrupción de operación.	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.11.-Hoja de información AMEF – Motor Eléctrico

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)							
Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	
Equipo: Motor eléctrico		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
						Hoja: 3 de 16	
Función		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Proveer energía motriz a equipos, a velocidad (1800 rpm), corriente, potencia, temperatura (60° no exceder de 100° C) y niveles de ruido determinados.	A	No provee energía motriz	A.1	Falla del estator, aislamiento y/o baja resistencia de aislamiento por roce mecánico entre estator y rotor por falla de rodamientos	Sobrecalentamiento del motor lo que ocasiona un corto circuito en la bobina del motor, lo que provoca paralización del equipo	
				A.2	Falla del estator, aislamiento y/o baja resistencia de aislamiento por envejecimiento de materiales aislantes del estator.	Bajo nivel de eficiencia, aumenta el consumo de amperaje, produce interrupción en la operación del equipo	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.11.- Continuación

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)							
Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	
Equipo: Motor eléctrico		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
						Hoja: 4 de 16	
Función		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Proveer energía motriz a equipos, a velocidad, corriente, potencia, temperatura y niveles de ruido determinados.	B	Provee parcialmente energía motriz	B.1	Atascamiento de rodamientos por sobrecalentamiento por falla en el sistema de enfriamiento (ventilador roto y/o no opera correctamente)	Recalentamiento del equipo durante la operación, posibles daños a componentes y paralización del mismo.	
				B.2	Alto consumo de corriente (AC) por encima de 20kW por parte del motor debido a falla de una de las fases del estator	Baja eficiencia del motor y posibles daños en componentes del equipo (falla de aislamiento por temperatura), por lo que es necesaria la paralización del mismo.	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.12.-Hoja de información AMEF – Enfriador de aceite lubricante

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)						
Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT	Revisado por: Jorge Rodríguez	Aprobado por: Eglys Fajardo		
Equipo: Enfriador de aceite lubricante		Fecha:	Fecha:	Fecha:		
				Hoja: 5 de 16		
Función		Falla Funcional		Efecto de falla		
1	Refrigerar el aceite lubricante a una temperatura de 43°C	A	No refrigera el lubricante a 43°C	A.1	Ruptura en alguna de las aspas del ventilador	Paralización del equipo. Puede producir recalentamiento al motor. Se dispara el accionador por baja temperatura
				A.2	Obstrucción de los filtros de los serpentines por presencia de partículas externas	Bajo nivel de rendimiento del enfriador. Posible parada del equipo. Requiere intervención de limpieza.
				A.3	Ruptura en los pernos de sujeción de las aspas del ventilador por alto nivel de vibración	Posible desprendimiento del aspa y/o desbalanceo del eje principal. Puede producir una parada tras disparar el accionador por baja temperatura

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.12.- Continuación



PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN

SISTEMA ELÉCTRICO

HOJA DE INFORMACIÓN

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	
Equipo: Enfriador de aceite lubricante		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
						Hoja: 6 de 16	
Función		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Refrigerar el aceite lubricante a una temperatura de 43°C	B	Refrigera el aceite lubricante por debajo de 43°C	B.1	Ruptura en alguna de las aspas del ventilador	Paralización del equipo. Puede producir recalentamiento al motor. Se dispara el accionador por baja temperatura	
				B.2	Obstrucción de los filtros de los serpentines por presencia de partículas externas	Bajo nivel de rendimiento del enfriador. Posible parada del equipo. Requiere intervención de limpieza.	
				B.3	Alimentación motriz del sistema motor deficiente	Posible desprendimiento del aspa y/o desbalanceo del eje principal del motor. Puede producir una parada tras disparar el accionador por baja temperatura.	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.13.-Hoja de información AMEF – Motor Eléctrico

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)			
Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT	Revisado por: Jorge Rodríguez
Equipo: Motor eléctrico		Fecha:	Aprobado por: Eglys Fajardo
			Fecha:
			Hoja: 7 de 16
Función	Falla Funcional	Modo de falla	
1	Proveer energía motriz a equipos, a velocidad (1800 rpm), corriente, potencia, temperatura (60° no exceder de 100° C) y niveles de ruido determinados.	A	No provee energía motriz
		A.1	Falla del estator, aislamiento y/o baja resistencia de aislamiento por roce mecánico entre estator y rotor por falla de rodamientos
		A.2	Falla del estator, aislamiento y/o baja resistencia de aislamiento por envejecimiento de materiales aislantes del estator.
			Sobrecalentamiento del motor lo que ocasiona un corto circuito en la bobina del motor, lo que provoca paralización del equipo
			Bajo nivel de eficiencia, aumenta el consumo de amperaje, produce interrupción en la operación del equipo

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.13.- Continuación

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)			
Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT	Revisado por: Jorge Rodríguez
Equipo: Motor eléctrico		Fecha:	Aprobado por: Eglys Fajardo
			Fecha:
			Hoja: 8 de 16
Función	Falla Funcional	Modo de falla	Efecto de falla
1	Proveer energía motriz a equipos, a velocidad, corriente, potencia, temperatura y niveles de ruido determinados.	B.1	Atascamiento de rodamientos por sobrecalentamiento por falla en el sistema de enfriamiento (ventilador roto y/o no opera correctamente)
		B.2	Alto consumo de corriente (AC) por encima de 20kW por parte del motor debido a falla de una de las fases del estator
			Recalentamiento del equipo durante la operación, posibles daños a componentes y paralización del mismo.
			Baja eficiencia del motor y posibles daños en componentes del equipo (falla de aislamiento por temperatura), por lo que es necesaria la paralización del mismo.

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.14.-Hoja de información AMEF – Enfriador de gas de sello



PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN

SISTEMA ELÉCTRICO

HOJA DE INFORMACIÓN

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	
Equipo: Enfriador de gas de sello		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
						Hoja: 9 de 16	
Función		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Refrigerar el gas de sello a una temperatura de 43°C	A	No refrigera el gas de sello a 43°C	A.1	Ruptura en alguna de las aspas del ventilador	Paralización del equipo. Puede producir recalentamiento al motor. Se dispara el accionador por baja temperatura	
				A.2	Obstrucción de los filtros de los serpentines por presencia de partículas externas	Bajo nivel de rendimiento del enfriador. Posible parada del equipo. Requiere intervención de limpieza.	
				A.3	Ruptura en los pernos de sujeción de las aspas del ventilador por alto nivel de vibración	Posible desprendimiento del aspa y/o desalineación del eje principal. Puede producir una parada tras disparar el accionador por baja temperatura	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.14.- Continuación



PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN

SISTEMA ELÉCTRICO

HOJA DE INFORMACIÓN

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	
Equipo: Enfriador de aceite lubricante		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
						Hoja: 10 de 16	
Función		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Refrigerar el gas de sello a una temperatura de 43°C	B	Refrigera el gas de sello por debajo de 43°C	B.1	Ruptura en alguna de las aspas del ventilador	Paralización del equipo. Puede producir recalentamiento al motor. Se dispara el accionador por baja temperatura	
				B.2	Obstrucción de los filtros de los serpentines por presencia de partículas externas	Bajo nivel de rendimiento del enfriador. Posible parada del equipo. Requiere intervención de limpieza.	
				B.3	Alimentación motriz del sistema motor deficiente	Posible desprendimiento del aspa y/o desbalanceo del eje principal del motor. Puede producir una parada tras disparar el accionador por baja temperatura.	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.15.-Hoja de información AMEF – Motor Eléctrico

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)			
Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT	Revisado por: Jorge Rodríguez
Equipo: Motor eléctrico		Fecha:	Fecha:
			Hoja: 11 de 16
Función	Falla Funcional	Modo de falla	
1	Proveer energía motriz a equipos, a velocidad (1800 rpm), corriente, potencia, temperatura (60° no exceder de 100° C) y niveles de ruido determinados.	A	No provee energía motriz
		A.1	Falla del estator, aislamiento y/o baja resistencia de aislamiento por roce mecánico entre estator y rotor por falla de rodamientos
		A.2	Falla del estator, aislamiento y/o baja resistencia de aislamiento por envejecimiento de materiales aislantes del estator.
			Sobrecalentamiento del motor lo que ocasiona un corto circuito en la bobina del motor, lo que provoca paralización del equipo
			Bajo nivel de eficiencia, aumenta el consumo de amperaje, produce interrupción en la operación del equipo

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.15.- Continuación

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)							
Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	
Equipo: Motor eléctrico		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
						Hoja: 12 de 16	
Función		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Proveer energía motriz a equipos, a velocidad, corriente, potencia, temperatura y niveles de ruido determinados.	B	Provee parcialmente energía motriz	B.1	Atascamiento de rodamientos por sobrecalentamiento por falla en el sistema de enfriamiento (ventilador roto y/o no opera correctamente)	Recalentamiento del equipo durante la operación, posibles daños a componentes y paralización del mismo.	
				B.2	Alto consumo de corriente (AC) por encima de 20kW por parte del motor debido a falla de una de las fases del estator	Baja eficiencia del motor y posibles daños en componentes del equipo (falla de aislamiento por temperatura), por lo que es necesaria la paralización del mismo.	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.16.-Hoja de información AMEF - Compresor

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)							
Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	
Equipo: Compresor		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
						Hoja: 13 de 16	
Función		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Suministrar aire de sello a los cojinetes y válvulas de control del Turbogenerador a 110 Psi	A	No suministra aire de sello a la presión de 110 Psi	A.1	Recalentamiento por presión de descarga muy alta y/obstrucción del filtro deshidratador.	Desprendimiento de partículas en las áreas internas del equipo por aumento progresivo del desgaste. Provocando interrupciones imprevistas de las operaciones.	
				A.2	Pérdida y/o falta de lubricación en el cárter	Fuga de gras de sello lo que ocasiona un bajo nivel de presión de descarga.	
				A.3	Desgaste/ Ruptura en los anillos del pistón cilindro compresor	Parada imprevista e inmediata de las operaciones.	
				A.4	Desgaste en las válvulas de admisión y escape	Bajo rendimiento del compresor. Para imprevista e inmediata de las operaciones.	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.16.- Continuación



PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN

SISTEMA ELÉCTRICO

HOJA DE INFORMACIÓN

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	
Equipo: Compresor		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
						Hoja: 14 de 16	
Función		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Suministrar aire de sello a los cojinetes y válvulas de control del Turbogenerador a 110 Psi	B	Provee aire por debajo de la presión de 110 Psi	B.1	Recalentamiento por presión de descarga muy alta y/obstrucción del filtro deshidratador.	Desprendimiento de partículas en las áreas internas del equipo por aumento progresivo del desgaste. Provocando interrupciones imprevistas de las operaciones.	
				B.2	Bajo voltaje de trabajo en la succión	Recalentamiento en la succión. Para da imprevista del equipo	

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.17.-Hoja de información AMEF – Motor Eléctrico

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)			
Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT	Revisado por: Jorge Rodríguez
Equipo: Motor eléctrico		Fecha:	Fecha:
			Hoja: 15 de 16
Función	Falla Funcional	Modo de falla	
1	Proveer energía motriz a equipos, a velocidad (1800 rpm), corriente, potencia, temperatura (60° no exceder de 100° C) y niveles de ruido determinados.	A	No provee energía motriz
		A.1	Falla del estator, aislamiento y/o baja resistencia de aislamiento por roce mecánico entre estator y rotor por falla de rodamientos
		A.2	Falla del estator, aislamiento y/o baja resistencia de aislamiento por envejecimiento de materiales aislantes del estator.
			Sobrecalentamiento del motor lo que ocasiona un corto circuito en la bobina del motor, lo que provoca paralización del equipo
			Bajo nivel de eficiencia, aumenta el consumo de amperaje, produce interrupción en la operación del equipo

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.17.- Continuación

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)							
Sistema: Planta Extracción San Joaquín		Realizado por: ENT		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	
Equipo: Motor eléctrico		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
						Hoja: 16 de 16	
Función		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Proveer energía motriz a equipos, a velocidad, corriente, potencia, temperatura y niveles de ruido determinados.	B	Provee parcialmente energía motriz	B.1	Atascamiento de rodamientos por sobrecalentamiento por falla en el sistema de enfriamiento (ventilador roto y/o no opera correctamente)	Recalentamiento del equipo durante la operación, posibles daños a componentes y paralización del mismo.	
				B.2	Alto consumo de corriente (AC) por encima de 20kW por parte del motor debido a falla de una de las fases del estator	Baja eficiencia del motor y posibles daños en componentes del equipo (falla de aislamiento por temperatura), por lo que es necesaria la paralización del mismo.	

Fuente: El autor (2017)

4.2.2.- Análisis Confiabilidad y Mantenibilidad

Luego de ser conocida la función e importancia de cada uno de los equipos auxiliares que apoyan el funcionamiento del turbogenerador se realizó un análisis confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad basándose en la información entregada por el Equipo Natura del Trabajo (ENT) de la planta de Extracción San Joaquín.

Una vez que se obtuvo el equipo más crítico que para nuestro caso es la bomba de lubricación se obtuvo la siguiente tabla de valores para el tiempo que transcurre el equipo operando entre fallas sucesivas (TEF), el tiempo de operación desde la última falla (TC), el tiempo para mantenimiento (TM) y el tiempo para reparar (TPR) cada falla.

Tabla 4.18.- Historial de tiempos de fallas.

TEF[hrs]	TC[hr]	TPR[hrs]	TM[hrs]
18	64	14	10
183	-	144	138
80	-	36	34
596	-	9	8
15	-	89	85
600	-	72	67
264	-	64	58

Fuente: El autor (2017)

Con los valores de la tabla 4.18 y las ecuaciones de confiabilidad y mantenibilidad, y la definición de algunos valores fijos tales como el tiempo de la misión (t), número de valores TPR y TEF (n), TM y TC (m) se calcularon los valores de tasa de falla, tiempo promedio para fallar (TPPF) y tiempo promedio para reparar (TPPR) de la bomba de lubricación.

4.2.2.1.- Confiabilidad:

Se define como la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, conocido como tiempo misión, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.

La confiabilidad puede variar desde un valor de 1% o 100%, al iniciar la operación y disminuye hasta que toma un valor de 0 cuando ocurre alguna falla. Por esta razón la confiabilidad varía de 100% A 0 entre una falla y falla.

La Confiabilidad, se describe con la siguiente ecuación:

$$C(t)e^{-\lambda.t} = e^{-\frac{1}{TPPF} . t}$$

Donde,

t= tiempo de la misión (hrs, días, semanas, meses, años, etc.),

λ = tasa de falla.

TPPF= $1/\lambda$ = tiempo promedio para fallar o tiempo promedio entre fallas.

Es necesario que la confiabilidad tenga un tiempo de misión para calcular los resultados. Esta ecuación es válida para tiempos para la falla que sigan la distribución exponencial.

4.2.2.2.- Distribución Exponencial

La caracterización probabilística de la variable “up-time” muestra que generalmente esta distribución se adapta a los datos a casos donde se trabajan con

equipos o sistemas muy complejos. Esta es usada como distribución de la variable aleatoria “tiempo entre fallas” de equipos o sistemas. Además describe la cantidad de tiempo que transcurre entre eventos, tal como el tiempo entre fallas o el tiempo entre eventos de paro.

El parámetro de la distribución exponencial es: Tasa (λ).

Hay una característica fundamental de las variables que siguen la Distribución Exponencial: “El número de ocurrencia de eventos por unidad de tiempo es aproximadamente constante”. Cuando los eventos bajo análisis son fallas; la Tasa (λ) se denomina “Tasa de Fallas”.

Donde

t = tiempo de la misión (hrs, días, semanas, meses, años, etc.)

λ = tasa de falla y $TPPF = 1/\lambda$ = tiempo promedio para fallar o tiempo promedio entre fallas.

Para los procesos de fallas la Tasa de Fallas (λ) se representa de la siguiente forma:

$$\lambda = \frac{n}{\sum_{i=1}^n TEF_i + \sum_{j=1}^m TC_j}$$

Las ventajas de la distribución exponencial son principalmente:

- No toma mucha información para encontrar un valor de confiabilidad.
- Representa sistemas complejos que comprenden muchos modos/ mecanismos de falla adecuadamente.

4.2.2.3.- Mantenibilidad:

Se define con la probabilidad de restaurar la condición operativa del equipo en un periodo de tiempo. Cuando el tiempo para reparar sigue la distribución exponencial, la mantenibilidad se expresa de la siguiente manera:

$$M(t) = 1 - e^{-\frac{1}{TPPR} \cdot t}$$

Como se observa en la tabla 4.19 tenemos variables obtenidas para el análisis de los índices de confiabilidad y mantenibilidad basados en la información entregada por el ENT:

Tabla 4.19.- Variables obtenidas para el análisis.

Variables	Valor
n	7
m	1
n ₁	7
m ₁	7
λ	0,00384615
TPPF[hrs]	260
TPPR[hrs]	61,14

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.20.- Confiabilidad y Mantenibilidad para la bomba de lubricación.

T[hrs]	Confiabilidad	%	Mantenibilidad	%
100	0,6807	68,07	0,8051	80,51
240	0,3973	39,73	0,9803	98,03
480	0,1578	15,78	0,9996	99,96
720	0,0627	6,27	0,9999	99,99

Fuente: El autor (2017)

Como se observa en la tabla 4.20 tenemos que para 100 horas completas de trabajo los valores de Confiabilidad un poco mayores a 65%, estos resultados no son

muy favorables debido a que para un equipo tan importante para el ciclo como lo es la bomba de lubricación se espera una confiabilidad mayor a 70% y 90% respectivamente.

4.3.- Establecimiento de las Actividades de Mantenimiento Mediante el Árbol Lógico de Decisión de los Equipos Auxiliares del Turbogenerador F30-36303

Una vez construida y llenado la hoja de información del AMEF para cada equipo auxiliar del turbogenerador F30-36303, se procedió al establecimiento de las actividades o acciones de mantenimiento para resolver cada modo de falla descrito en el objetivo anterior. Para tal fin, se utilizó como herramienta fundamental el Diagrama de decisión o Árbol Lógico de Decisión del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad II (RCM II, por sus siglas en inglés), el cual se muestra en el anexo A.

Este objetivo, se basó fundamentalmente en el análisis de cada modo de falla en función de las consecuencias que tendrían los mismos sobre las operaciones, consecuencias en la seguridad del personal y el medio ambiente. De acuerdo a esto, se seleccionaron las actividades de mantenimiento para atacar cada modo de falla. La aplicación del ALD se llevó a cabo en apoyo del ENT, quienes fueron los responsables de responder las interrogantes que propone el diagrama. De igual forma, se contó con el apoyo de personal con alta experiencia en distintas áreas de la planta de Extracción San Joaquín.

Tras someter cada modo de falla al flujograma de preguntas del ALD y llegar a una respuesta positiva en la acción a implementar, se procedió a realizar lo correspondiente a la segunda fase, la cual consistió en asentar los datos arrojados por el diagrama, en una hoja de decisión de adaptación propia, fundamentada en la propuesta de Hoja de Trabajo de decisión del RCM II por The Woodhouse Partnership Ltd.

En la hoja de decisión además de mostrar las respuestas a las preguntas del Árbol Lógico de Decisiones, también se muestra la frecuencia propuesta inicialmente y el departamento asignado para realizar la actividad.

La hoja de decisión diseñada está dividida básicamente en dos partes. La primera parte es el encabezado de la hoja, que muestra el nombre de la empresa, así como un apartado para los datos de identificación del equipo analizado y los responsables de la realización del análisis. La segunda parte está dividida en varias secciones, las cuales se describen a continuación:

- Referencia de Falla: en esta sección se indica la información del AMEF para la identificación de la función (F) del equipo a estudiar, la falla funcional (FF) y el modo de falla (MF) que se analiza. Las casillas están identificadas tal como se realizó en el AMEF.
- Tipo de Falla: en esta sección se indica el tipo de modo de fallo. Si el modo de fallo es evidente se identifica en la columna de letras “ABCD”, las cuales indican el ramal de consecuencias evidentes del Diagrama de Decisión. Si el modo de fallo es no evidente u oculto se señala en la columna de letras “AEFG” que indica el ramal de las consecuencias ocultas.
- Evaluación de las Consecuencias: en esta sección se registran las respuestas a las interrogantes que propone el ALD, sobre las consecuencias que pueda tener el modo de fallo analizado, sobre la seguridad del personal (S), el medio ambiente (A) o sobre la operación (O).
- Tipo de Tarea o Estrategia de Mantenimiento: en esta sección se indican las actividades de mantenimiento a realizar para atacar el modo de falla estudiado, siguiendo la lógica del Diagrama de Decisión. Las actividades de mantenimiento se identifican con las iniciales BC (Basada en Condición), BT (Basada en Tiempo), DT (Detección de Fallas), OT (Otras).

Para reflejar las respuestas obtenidas del Diagrama de Decisión en la hoja de decisión, se procedió a marcar la columna correspondiente con la letra “S” (Si), para la respuesta afirmativa y con la letra “N” (No), para la respuesta negativa.

En la hoja de decisión se indica además una descripción de la tarea de mantenimiento a implementar, la frecuencia inicial de realización de la tarea y la disciplina o área encargada de la ejecución de dicha tarea.

La frecuencia inicial se determinó en base a la experiencia del personal de la planta ESJ, además de las consultas a los manuales de fabricantes y normas como la SAE JA1012.

Como demostración de la información generada a partir del estudio del Análisis de Modos y Efectos de Fallas, en la tabla 4.21, se muestran hojas de decisión obtenidas de la aplicación del Árbol Lógico de Decisión para las bombas de lubricación, las cuales en su totalidad se muestran en el Anexo B, para los equipos restantes.

Tabla 4.21.-Hoja de información ALD – Bomba de lubricación

 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN SISTEMA ELÉCTRICO HOJA DE DECISIÓN DEL ALD 																			
Sistema: Planta Extracción San Joaquín					Realizado por: ENT					Revisado por: Jorge Rodríguez					Aprobado por: Eglys Fajardo				
Equipo: Bomba lubricación					Fecha:					Fecha:					Fecha:				
Referencia de hoja del AMEF: Hoja 1															Hoja: 1 de 1				
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora				
F	FF	MF	ABCD	AEFG	S	A	O	NO	BC	BT	DF	OT							
1	A	A1	S		N	N	S	N	S				Tarea programada basada en condición: Verificar el nivel de aceite de lubricación. Reponerlo en la botella dispensadora del nivel de aceite (si aplica).	Diario	Operaciones				
1	A	A2	S		N	N	S	N	S				Tarea programada basada en condición: Visualizar que el anillo este lubricando adecuadamente. De haber daño en anillos, generar aviso para reparación o cambio.	Diario	Operaciones				
2	A	2A1	S		N	N	S	N				S	Mantenimiento no programado: reemplazo del sello al fallar. Cumplir con el procedimiento de instalación	Según sea el caso	Mito. Mecánico				

Fuente: El autor (2017)

Tras la aplicación del ALD a los equipos auxiliares del turbogenerador F30-36303 de la planta Extracción San Joaquín, se resumen los resultados obtenidos a través del siguiente gráfico (ver figura 4.2).

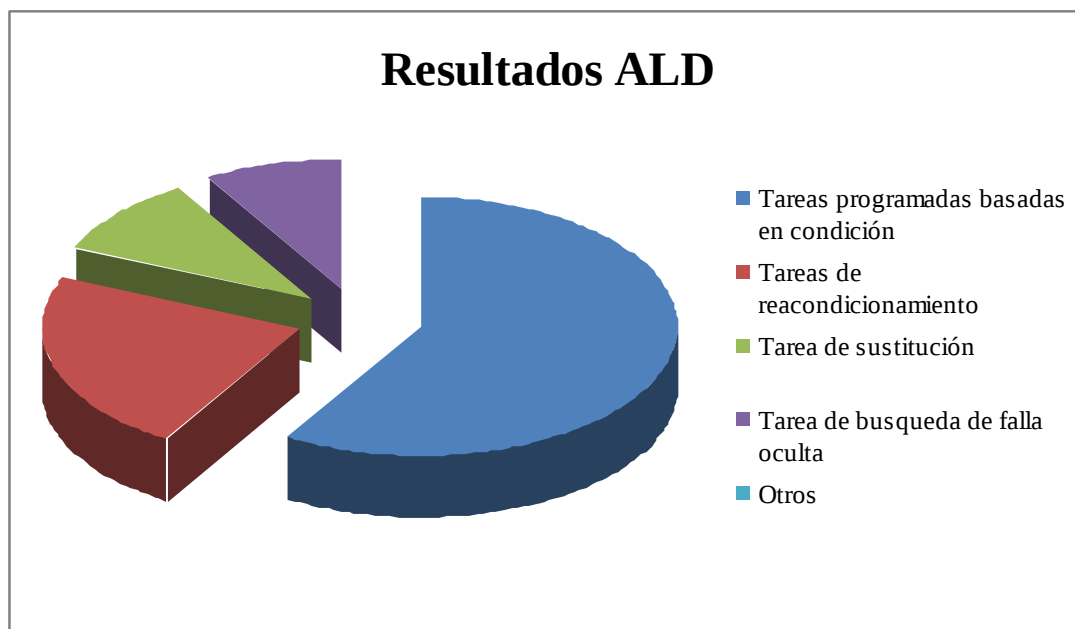


Figura 4.2.- Resultados del Árbol lógico de Decisiones

Fuente: El autor (2017)

Específicamente, en la figura 4.2 se muestra la distribución porcentual de las tareas de mantenimiento asignadas a los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303 donde la mayor participación corresponde a las tareas programadas basadas en condición con 80%; 10% para las tareas de reacondicionamiento; 5% tareas de sustitución; 5% tareas en clasificado de otros y ningún porcentaje asignado para las tareas de búsqueda de falla oculta.

4.4.- Elaboración de los Planes de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los Equipos Auxiliares que Pertenecen al Turbogenerador F30-36303

Una vez obtenidos los resultados del análisis de modos y efecto de falla, se hizo el uso del ALD a fin de obtener las posibles actividades de mantenimiento, ambas herramientas dieron las pautas para el estudio de los equipos auxiliares, seguidamente se realizó un plan de mantenimiento preventivo que se espera garantice la disponibilidad de los equipos y su continuidad operacional, que se traduce en la entrega oportuna de 20 MW al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Este plan fue estructurado bajo las premisas expuestas en la norma ISO 10013 “Directrices para la documentación de sistemas de gestión de la calidad”, y en él se especificaron qué actividades deben realizarse al equipo tomando en cuenta una determinada frecuencia o periodicidad, y se señaló el personal encargado, y así garantizar que los equipos en estudio cumplan su correcta función, además de tener un mejor control del personal, materiales y equipos.

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN	
Rev. 0		Fecha: Febrero 2017
PM-TG-01		Página: X de 5

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303**

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Yineth, Duque		

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN	
Rev. 0		Fecha: Febrero 2017
PM-TG-01		Página: X de 5

ÍNDICE

1.- Propósito.....	Pág. 3
2.- Alcance.....	3
3.- Responsabilidad y autoridad.....	4
4.- Actividades de Mantenimiento.....	6

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Yineth, Duque		

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN	
Rev. 0		Fecha: Febrero 2017
PM-TG-01		Página: X de 5

1.- Propósito

Establecer lineamientos y responsabilidades para la ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo a los equipos auxiliares que intervienen en el funcionamiento del Turbogenerador F30-36303 con el fin de garantizar que toda actividad realizada reúna las condiciones óptimas para su buen funcionamiento. De esta forma establecen actividades para la verificación de los componentes de todos los equipos auxiliares con la finalidad de minimizar los índices de parada aplicando aspectos de seguridad necesarios para que la ejecución se realice sin la ocurrencia de accidentes o eventos no deseados.

2.- Alcance

El documento expuesto describe, esencialmente, las actividades a ejecutarse para la realización del mantenimiento preventivo a los equipos auxiliares pertenecientes al Turbogenerador F30-36303, de la planta de extracción San Joaquín. Adicionalmente, estas actividades pueden ser aplicadas a los equipos dinámicos similares que pertenecen a las otras áreas de la planta.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Yineth, Duque		

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN	
Rev. 0		Fecha: Febrero 2017
PM-TG-01		Página: X de 5

3.- Responsabilidad y autoridad

Especialidad	Función/ Responsabilidad
Supervisor de Mantenimiento	Garantizar y controlar la programación y ejecución de las actividades de mantenimiento de su área y la operación de los servicios industriales, administrando los recursos financieros, humanos y materiales que garanticen la operación confiable de su área, acorde con los estándares de calidad y seguridad, y lineamientos establecidos por la Gerencia de Planta.
Técnico Mecánico / Técnico Eléctrico	Programar y ejecutar los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos y maquinarias del área bajo su responsabilidad en la Planta, con el propósito de garantizar la operatividad, eficiencia y confiabilidad de los mismos durante los procesos productivos, bajo normas y procedimientos establecidos en este documento.

Responsabilidad del Supervisor de Mantenimiento

- Asegurar la ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo y/o correctivo para los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303 de la planta, de acuerdo a la disponibilidad de mano de obra, repuestos e insumos, y siguiendo los procedimientos e instrucciones de trabajo establecidos para su ejecución, con la finalidad de garantizar la continuidad de las operaciones.
- Asegurar la veracidad y calidad de la información medida producto de las actividades de mantenimiento ejecutadas sobre los equipos auxiliares, con la

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Yineth, Duque		

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN	
Rev. 0		Fecha: Febrero 2017
PM-TG-01		Página: X de 5

finalidad de garantizar la confiabilidad de los datos suministrados para el control de la gestión y la toma oportuna de decisiones.

- Promover y participar en acciones para la optimización de recursos, por medio de iniciativas de mejora continua, programas de excelencia en operaciones, captura de valor y sinergias, a fin de garantizar la continuidad del proceso productivo de planta.
- Supervisar la ejecución de los planes de mantenimiento preventivo previstos en este documento, a través de la implementación de metodologías y herramientas de mantenimiento que permitan optimizar el desempeño de los procesos, a fin de asegurar la disponibilidad de los equipos.
- Comunicar la aplicación de los conocimientos específicos de los procesos, sistemas y equipos que están bajo su ámbito de acción, mediante entrenamientos al equipo de trabajo, a fin de garantizar la transmisión de conocimientos sólidos al personal a su cargo.

Responsabilidades del Técnico Mecánico/ Eléctrico

- Asegurar la continuidad operativa, mediante la asignación y control de las actividades previstas en los planes de mantenimiento, a fin de mantener los índices de parada de equipos en sus valores mínimos.
- Promover y apoyar conductas que contribuyan a la detección y corrección de actos y situaciones inseguras, mediante la participación en los programas de seguridad, orden y limpieza para la reducción o eliminación de accidentes laborales.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Yineth, Duque		

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN	
Rev. 0		Fecha: Febrero 2017
PM-TG-01		Página: X de 5

- Mantener actualizados los certificados de calibración de los instrumentos patrones de medición de acuerdo a las normativas y procedimientos definidos por la Gerencia Nacional de Calidad, con el propósito de cumplir con las regulaciones legales existentes.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Yineth, Duque		

4.- ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Tabla 4.22.- Actividades de mantenimiento - equipos auxiliares Turbogenerador F30-36303

 PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS AUXILIARES – TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN 				
Sistema: Equipos auxiliares	Equipo: Bombas de lubricación	Tag del equipo: D3-36305/306/307/308/309/3010		
				Hoja: 113 de 11
Actividad a Ejecutar	Frecuencia de ejecución	Disciplina Ejecutora	Personal requerido	Tiempo estimado (min.)
Verificar que el nivel de aceite de lubricación se encuentre en la zona verde del visor. Verificar el anillo de lubricación esté lubricando adecuadamente.	Diario	Operaciones	1	8
Verificar que no exista ningún goteo de grasa o lubricación hacia el exterior de la bomba. En caso de encontrar fugas, generar aviso de mantenimiento (Formato HIF-1).	Diario	Operaciones	1	4
Verificar la presencia de vibración de los cojinetes y del eje, usando medidor de vibración manual. De existir desbalance y/o desalineación de componentes, generar aviso de mantenimiento (Formato HIF-1).	Diario	Operaciones	1	4
Monitorear las condiciones mecánicas de la bomba (vibración, temperatura y pico de energía). Utilizar la lista de chequeo LC-01. De haber inconformidades, generar aviso de mantenimiento (Formato HIF-1).	Quincenal	Mantenimiento Mecánico	1	45
Inspeccionar sistema de lubricación de la bomba (reservorio, tubing, conexiones, entre otros) en busca de corrosión, desgaste, fugas, entre otros. De haber inconformidades, generar aviso de mantenimiento (Formato HIF-1).	Quincenal	Mantenimiento Mecánico	1	45
Realizado por: Yineth, Duque	Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	

Tabla 4.22.- Continuación

 PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS AUXILIARES – TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN 				
Sistema: Equipos auxiliares		Equipo: Bombas de lubricación		Tag del equipo: D3-36305/306/307/308/309/3010
				Hoja: 114 de 11
Actividad a Ejecutar	Frecuencia de ejecución	Disciplina Ejecutora	Personal requerido	Tiempo estimado (min.)
Verificar visualmente el estado general del eje de la bomba en busca de corrosión, fracturas, deflexión, entre otros. En caso de presentar deterioro, generar aviso de mantenimiento (Formato HIF-1).	Quincenal	Mantenimiento Mecánico	1	8
Verificar la temperatura del fluido barrera. Si se encuentra muy por encima de la permitida (230 °F), generar aviso para la limpieza, chequeo o cambio del serpentín.	Quincenal	Mantenimiento Mecánico	1	8
Reemplazar el aceite lubricante de los sellos de la bomba a intervalos fijos. También debe existir un calendario definido para aplicar grasa en los cojinetes lubricados con grasa.	Trimestral	Mantenimiento Mecánico	2	90
Realizar limpieza externa de la bomba. Observar en busca de desgaste, erosión, relieves o rayones que pudieran causar un desbalance, vibración y/o deterioro. De haber inconformidades, generar aviso para su acondicionamiento (Formato HIF-1).	Trimestral	Mantenimiento Mecánico	1	60
Inspeccionar sistema de sujeción (pernos, base, entre otros) en busca de elementos de anclaje flojo o corroído. Acondicionar con líquido anticorrosivo o reemplazar de ser necesario.	Trimestral	Mantenimiento Mecánico	2	90
Realizado por: Yineth, Duque		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo

Tabla 4.22.- Continuación

		PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS AUXILIARES – TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN		
Sistema: Equipos auxiliares		Equipo: Bombas de lubricación		Tag del equipo:
				Hoja: 115 de 11
Actividad a Ejecutar	Frecuencia de ejecución	Disciplina Ejecutora	Personal requerido	Tiempo estimado (min.)
Limpiar filtro de succión de la bomba. Revisar filtro en busca de bloqueo y de ser necesario sustituirlo.	Trimestral	Mantenimiento Mecánico	2	60
Inspeccionar la bomba y base en busca de pernos de anclaje flojos o corroídos. Limpiar, remover corrosión y aplicar anticorrosivo de ser necesario. Reemplazar pernos de ser necesario.	Trimestral	Mantenimiento Mecánico	2	45
Realizar análisis tribológico al aceite lubricante de la bomba. (Concentración de partículas en suspensión, acidez (TAN), contenido de agua y viscosidad).	Trimestral	Mantenimiento	1	30
Inspeccionar los interruptores del nivel de lubricación y de la presión de la bomba. Verificar la presencia de humedad y polvo y de existir, acondicionar (limpiar). Lubricar partes mecánicas. Reemplazar interruptor de ser necesario.	Cuatrimestral	Mantenimiento Eléctrico	1	120
Reemplazar rodamientos de la bomba. Inspeccionar que el eje no esté girando con dificultad, se detenga en periodos cortos de tiempo o esté generando ruido por deslizamiento.	Triannual	Mantenimiento Mecánico/ Eléctrico	4	480
Realizado por: Yineth, Duque		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo



Tabla 4.22.- Continuación
PLAN DE MANTENIMIENTO
EQUIPOS AUXILIARES – TURBOGENERADOR F30-36303
PLANTA EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN



Sistema: Equipos auxiliares	Equipo: Bombas de lubricación	Tag del equipo:		
				Hoja: 116 de 11
Actividad a Ejecutar	Frecuencia de ejecución	Disciplina Ejecutora	Personal requerido	Tiempo estimado (min.)
Acondicionar (lubricar, entre otros) válvula de succión y válvula de descarga de la bomba. Reparar o sustituir las válvulas de ser necesario.	Triannual	Mantenimiento Mecánico/ Eléctrico	4	180
Realizar inspección del eje de la bomba en busca de corrosión, fracturas, deflexión, entre otros. De haber inconformidades, generar aviso para su acondicionamiento (Formato HIF-1).	Triannual	Mantenimiento Mecánico/ Eléctrico	2	120
Inspeccionar los impulsores de la bomba, en busca de desgaste, fracturas, corrosión, entre otros. De ser necesario, reparar o reemplazar los impulsores dañados.	Triannual	Mantenimiento Mecánico/ Eléctrico	2	240
Limpiar caja de conexiones, cables, bornera o copas terminales. Acondicionar las empaaduras con sellador o reemplazar empaaduras dañadas. Ajustar conexiones de acuerdo a recomendaciones del fabricante.	Semestral	Mantenimiento Eléctrico	2	180
Inspeccionar la condición de los anillos de la bomba. De existir condiciones de desgaste, erosión, relieves, generar aviso para su mantenimiento (Formato HIF-1).	Semestral	Mantenimiento Mecánico/ Eléctrico	2	60
Efectuar revisión completa de toda la instrumentación, incluidos sensores, transmisores y cableado. Calibración de la instrumentación de ser necesario.	Anual	Operaciones	1	30
Realizado por: Yineth, Duque	Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	

Tabla 4.22.- Continuación

		PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS AUXILIARES – TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN			
Sistema: Equipos auxiliares		Equipo: Enfriadores		Tag del equipo:	
				Hoja: 117 de 11	
Actividad a Ejecutar		Frecuencia de ejecución	Disciplina Ejecutora	Personal requerido	Tiempo estimado (min.)
Verificar visualmente el estado general de las aspas para determinar la presencia de polvo corrosión o desgaste. De haber inconformidades, generar aviso para su acondicionamiento (Formato HIF-1).		Quincenal	Mantenimiento Mecánico	1	8
Verificar el balance entre el eje motor y el ventilador. Si se exceden las tolerancias permitidas, generar aviso (Formato HIF-1).		Mensual	Mantenimiento Mecánico	1	4
Verificar que el ángulo de las aspas, esté a 15° con respecto al eje. De estar desalineadas, generar aviso de mantenimiento (Formato HIF-1).		Semestral	Mantenimiento Mecánico	2	38
Verificar la existencia de aceite en los alrededores del eje, de ser así limpiar, revisar origen de la fuga.		Semestral	Mantenimiento Mecánico	1	4
Inspeccionar ajuste y corrosión de tornillos de sujeción del soporte del ventilador. De haber inconformidades, generar aviso de mantenimiento (Formato HIF-1).		Semestral	Mantenimiento Mecánico	1	4
Verificar las conexiones de alimentación al sistema de comando y de esta para el motor, limpiar o cambiar los conectores, cambiar los fusibles de ser necesario,		Anual	Mantenimiento Eléctrico	1	4
Efectuar revisión completa de toda la instrumentación, incluidos sensores, transmisores y cableado. Calibración de la instrumentación de ser necesario.		Anual	Operaciones	1	30
Realizado por: Yineth, Duque		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	

Tabla 4.22.- Continuación

		PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS AUXILIARES – TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN			
Sistema: Equipos auxiliares		Equipo: Motores		Tag del equipo:	
				Hoja: 118 de 11	
Actividad a Ejecutar		Frecuencia de ejecución	Disciplina Ejecutora	Personal requerido	
Tiempo estimado (min.)					
Inspeccionar las empaaduras de tapa de las válvulas, cada vez que se quiten y coloquen nuevamente.		Diario	Mantenimiento Mecánico	2	480
Verificar el estado del empaque del filtro de acetite. En caso de ser necesario. Crear aviso para su reemplazo.		Diario	Mantenimiento Mecánico	2	60
Efectuar prueba de funcionamiento (2 cierres y 2 aperturas) al contactor del arranque del motor.		Diario	Mantenimiento Eléctrico	1	30
Inspeccionar visualmente las condiciones del acople. De haber desalineación en el acoplamiento de la bomba y motor, generar aviso de mantenimiento.		Quincenal	Mantenimiento Mecánico	1	45
Limpiar caja de conexiones, cables, bornera o copas terminales. De ser necesario acondicionar las empaaduras con sellador o reemplazar las empaaduras dañadas. Ajustar conexiones de acuerdo a recomendaciones del fabricante.		Quincenal	Mantenimiento Eléctrico	1	60
Lubricar rodamientos del motor.		Bimensual	Mantenimiento Eléctrico	1	30
Inspeccionar visualmente la superficie de las vías de aireación del motor. Limpiar (con aire) el sistema de enfriamiento (ventilador, vías de aireación, entre otros) del motor y verificar que hay una corriente de aire continua en el motor.		Trimestral	Mantenimiento Mecánico/ Eléctrico	2	30
Realizado por: Yineth, Duque		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	

Tabla 4.22.- Continuación

 PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS AUXILIARES – TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN 				
Sistema: Equipos auxiliares		Equipo: Motores		Tag del equipo:
				Hoja: 119 de 11
Actividad a Ejecutar	Frecuencia de ejecución	Disciplina Ejecutora	Personal requerido	Tiempo estimado (min.)
Realizar limpieza externa de la bomba y del motor: quitar polvo, grasa, entre otros. Revisar estado de la pintura y de estar deteriorada, generar aviso para su acondicionamiento.	Trimestral	Mantenimiento Mecánico	1	60
Inspeccionar las condiciones del protector del acople. Revisar sistema de sujeción (pernos, entre otros). Acondicionar con líquido anticorrosivo o reemplazar de ser necesario. Inspeccionar acople. Revisar sistema de sujeción (pernos, entre otros), acondicionar o reemplazar acople de ser necesario.	Trimestral	Mantenimiento Mecánico	2	90
Inspeccionar el motor y base en busca de pernos de anclaje flojos o corroídos. Limpiar, remover corrosión y aplicar anticorrosivo de ser necesario. Reemplazar pernos de ser necesario.	Trimestral	Mantenimiento Mecánico/ Eléctrico	2	45
Medir parámetros operacionales del motor: corriente (a), velocidad (rpm), voltaje (v) por fase (ver lista de instrumentos de medición). Llevar histórico de parámetros.	Trimestral	Mantenimiento Eléctrico	1	45
Realizado por: Yineth, Duque	Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	



Tabla 4.22.- Continuación
PLAN DE MANTENIMIENTO
EQUIPOS AUXILIARES – TURBOGENERADOR F30-36303
PLANTA EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN



Sistema: Equipos auxiliares	Equipo: Motores	Tag del equipo:		
				Hoja: 120 de 11
Actividad a Ejecutar	Frecuencia de ejecución	Disciplina Ejecutora	Personal requerido	Tiempo estimado (min.)
Verificar la existencia de aceite en los alrededores del eje; de ser así, revisar origen de la fuga y efectuar limpiar.	Semestral	Mantenimiento Mecánico	1	4
Inspeccionar el estado de la carcasa de la cubierta del motor en busca de desgaste y/o corrosión y de ser necesario acondicionar la misma con pintura anticorrosiva.	Semestral	Mantenimiento Mecánico	1	8
Realizar mantenimiento al motor. Limpiar con solventes dieléctricos rotor, estator, cubiertas, entre otros.	Semestral	Mantenimiento Eléctrico	1	60
Inspeccionar el aspa de ventilación del motor en busca de fracturas en el mismo. Inspeccionar protector del ventilador, pernos. Reemplazar ventilador y/o protector de ser necesario.	Semestral	Mantenimiento Eléctrico	1	60
Limpiar caja de conexiones, cables, bornera o copas terminales. De ser necesario acondicionar las empacaduras con sellador o reemplazar las empacaduras dañadas. Ajustar conexiones de acuerdo a recomendaciones del fabricante.	Semestral	Mantenimiento Eléctrico	1	60
Realizar pruebas eléctricas de aislamiento al motor. Registrar y llevar data histórica. Seguir procedimiento de pruebas de aislamiento de motores eléctricos.	Semestral	Mantenimiento Eléctrico	2	60
Realizar prueba de comprobación de fases en busca de daños entre bobinas o grupos de bobinas del motor.	Semestral	Mantenimiento Eléctrico	1	60
Realizado por: Yineth, Duque	Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	

Tabla 4.22.- Continuación

		PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS AUXILIARES – TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN		
Sistema: Equipos auxiliares		Equipo: Motores		Tag del equipo:
				Hoja: 121 de 11
Actividad a Ejecutar	Frecuencia de ejecución	Disciplina Ejecutora	Personal requerido	Tiempo estimado (min.)
Efectuar prueba de funcionamiento (2 cierres y 2 aperturas) al contactor del arranque del motor.	Semestral	Manteamiento Eléctrico	1	15
Inspeccionar visualmente los polos (piezas de resina) del contactor, en busca de polvo, grietas o signos de arco eléctrico y/o descargas parciales. De haber inconformidades, generar aviso de mantenimiento (Formato HIF-1).	Semestral	Mantenimiento Eléctrico	2	60
Inspeccionar contactos principales móviles-estacionarios en busca de desgaste o deformaciones. De haber inconformidades, generar aviso de mantenimiento (Formato HIF-1).	Semestral	Mantenimiento Eléctrico	2	60
Realizar limpieza de los componentes del contactor, terminaciones, contactos móviles y fijos, partes aisladas, entre otros. Aplicar película de lubricantes a los contactos.	Semestral	Mantenimiento Eléctrico	2	60
Realizar pruebas eléctricas de aislamiento (1 minuto) en cada polo (contactos de entrada y salida del contactor), entre fases y entre cada fase y tierra con el contactor en posición cerrado: resistencia de aislamiento (valor mínimo 20 mega ohmios), alto potencial DC, resistencia óhmica del circuito de acuerdo con recomendaciones fabricante.	Semestral	Mantenimiento Eléctrico	2	60
Realizado por: Yineth, Duque		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo

Tabla 4.22.- Continuación

		PLAN DE MANTENIMIENTO			
EQUIPOS AUXILIARES – TURBOGENERADOR F30-36303		PLANTA EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN			
Sistema: Equipos auxiliares		Equipo: Motores		Tag del equipo:	
				Hoja: 122 de 11	
Actividad a Ejecutar		Frecuencia de ejecución	Disciplina Ejecutora	Personal requerido	Tiempo estimado (min.)
Efectuar pruebas de operatividad a relés de protección del motor. Efectuar pruebas a transformadores de corriente (medición y protección) aplicando inyección primaria de corriente y verificando operación de relés.		Anual	Mantenimiento Eléctrico	2	60
Efectuar prueba de lazo monitoreo y protección del motor. Efectuar prueba de funcionamiento de los distintos componentes de monitoreo y protección desde los diferentes puntos de control, manual y automático.		Anual	Mantenimiento Eléctrico	2	12
Reemplazar rodamientos del motor.		Triannual	Mantenimiento Mecánico/ Eléctrico	4	480
Realizado por: Yineth, Duque		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	

Tabla 4.22.- Continuación

		PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS AUXILIARES – TURBOGENERADOR F30-36303 PLANTA EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN			
Sistema: Equipos auxiliares		Equipo: Compresores		Tag del equipo: Compresor A/B	
				Hoja: 123 de 11	
Actividad a Ejecutar		Frecuencia de ejecución	Disciplina Ejecutora	Personal requerido	Tiempo estimado (min.)
Verificar que el tiempo de carga cumpla con lo estipulado en lista LC-01. De haber inconformidades, generar aviso de mantenimiento (Formato HIF-1).		Trimestral	Mantenimiento Mecánico	2	480
Inspeccionar las válvulas de succión y descarga. En caso que esté fuera de los parámetros establecidos, Utilizar la lista de chequeo LC-01. De haber inconformidades, generar aviso de mantenimiento (Formato HIF-1).		Trimestral	Mantenimiento Mecánico	2	480
Chequear el estado físico de las válvulas de succión y descarga. De ser necesario crear un aviso de mantenimiento para que las mismas sean limpiadas y reparadas (Formato HIF-1).		Semanal	Mantenimiento Mecánico	2	480
Sustituir el filtro de aire cuando alcance la presión mínima de trabajo (100 Psi).		Anual	Mantenimiento Mecánico	1	120
Efectuar revisión completa de todo el sistema de lubricación, con cambio o filtrado de aceite, cambio de filtros, limpieza del depósito.		Anual	Mantenimiento Mecánico	1	60
Efectuar revisión completa de toda la instrumentación, incluidos sensores, transmisores y cableado. Calibración de la instrumentación de ser necesario.		Anual	Operaciones	1	30
Realizado por: Yineth, Duque		Revisado por: Jorge Rodríguez		Aprobado por: Eglys Fajardo	

Fuente: El autor (2017)

4.5.- Estimación de los Costos de la Propuesta

Tras la culminación del plan de mantenimiento, enfoque principal de este trabajo de investigación, se determinaron todos los costos asociados a la propuesta, incluyendo, materiales y/o repuestos, entre otros, que serán necesarios utilizar para llevar a cabo el mantenimiento a los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303.

Como técnica para la estimación de costos se empleó el juicio de expertos, tomando como variables materiales y repuestos y costos de implementación entre otras, que influyen en la estimación de costos del plan de mantenimiento. Guiado por la información histórica, el juicio de expertos aporta una perspectiva valiosa sobre el ambiente y la información procedentes de proyectos similares anteriores.

Para calcular los costos se desglosan de manera general un estimado en costos Bs.F. de los materiales y repuestos y costos de implementación que son necesarios para llevar a cabo el mantenimiento en periodo de un año. Estos serán plasmados en tablas representativas donde se representara la descripción del equipo o material, la cantidad requerida lo que permitirá reflejar u subtotal por ítem y total general de la inversión.

El costo total requerido para la puesta en marcha del plan de mantenimiento propuesto es de un total de bolívares dos millones seiscientos veintisiete mil ochocientos treinta y nueve con sesenta y siete céntimos (2.627.839,67).

4.5.1.- Costos por de Materiales y/o Repuestos

En este apartado, se desglosan de manera general un estimado en costos de los materiales y repuestos que son necesarios para llevar a cabo el mantenimiento en

periodo de un año. De igual forma, se enfatiza que será responsabilidad de la empresa determinar cuál de ellos deben ser adquiridos y cuales ya se encuentran disponibles para el momento de la implementación del plan de mantenimiento propuesto. Ver tabla 4.23

Tabla 4.23.- Costos por materiales y/o repuestos

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo (Bs.F)	Costo total (Bs.F)
1	Aceite lubricante	144 lts	3.266,67	470.400,00
2	Combustible	220 lts	4,61	1.015,00
3	Herramientas menores	---	---	---
	• Alicates	3pzas.	26.000,00	78.000,00
	• Juego de destornilladores	3 jgos.	73.000,00	219.000,00
	• Extractor de rodamientos	3 pzas,	31.000,00	93.000,00
	• Juego de llaves	3 jgos.	29.333,33	88.000,00
4	Materiales para refrigeración	---	---	---
	• Cinta de aluminio	2 rollos	7600,00	15.200,00
	• Tubería de cobre 3/8	2 rollos	195.000	390.000,00
	• Dobladora de tubo	2pzas.	67.400	134.800,00
	• Cortadora de tubo	1 pza.	60.000	60.000,00
5	Materiales y/o herramientas eléctricas	---	---	---
	• Multímetro	1pza	273.000,00	273.000,00
	• Set de cables de conexión	2 set	253.500,00	507.000,00
6	Set de Material de seguridad	1	80.000,00	80.000,00
7	Repuestos generales y componentes	Varios	123.500,00	123.500,00
Total de la inversión: 2.532.915,00				

Fuente: El autor (2017)

En relación a los costos por adquisición materiales y/o repuestos los costos totalizaron un valor de bolívares dos millones quinientos treinta y dos mil novecientos quince (2.532.915,00) para lo cual la empresa deberá enlistar los renglones y considerarlos al momento de la puesta en marcha del plan de mantenimiento propuesto en esta investigación.

4.5.2.- Costos por Implementación

Para la implementación del plan de mantenimiento propuesto será necesario inicialmente de la impresión y distribución del mismo a todo el personal que estará directamente trabajando con esto. A tal fin, en la tabla 4.24, se muestra el costo por implementación incluyendo la contratación de especialistas que tendrán como objetivo capacitar al personal para el correcto uso y aplicación del plan y la ejecución de las actividades haciendo uso de las herramientas adecuadas para cada una de ellas.

Tabla 4.24.- Costos por implementación

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo (Bs.F)	Costo total (Bs.F)
1	Impresión del plan de mantenimiento propuesto	5 tomos	11.040,00	55.200,00
2	Contratación de especialistas para adiestramiento y capacitación de personal de mantenimiento	1 p.	39.724,67	39.724,67
Total de la inversión: 94.924,67 Bs.F				

Fuente: El autor (2017)

El costo asociado la implementación y distribución del plan de mantenimiento para los equipos auxiliares del turbogenerador F30-36303 es de un total de Bolívares noventa y cuatro mil novecientos veinticuatro con sesenta y siete céntimos (94.924,67)

4.5.3.- Costo global de la Propuesta

El total de los costos relacionados con el personal de mantenimiento totaliza a un valor de bolívares dos millones seiscientos veintisiete mil ochocientos treinta y nueve con sesenta y siete céntimos (2.627.839,67)

Tabla 4.25.- Costos global de la propuesta

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo (Bs.F)	Costo total (Bs.F)
1	Costos por materiales y/o repuestos	1	2.532.915,00	55.200,00
2	Costos por implementación	1	94.924,67	39.724,67
Total de la inversión: 2.627.839,67				

Fuente: El autor (2017)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- Conclusiones

A través de la descripción del contexto operacional se constató que el equipo turbogenerador es el encargado de generar 20 MW para suplir la demanda eléctrica del SEN de la población Anaco, y zonas aledañas. Para su operatividad, requiere de la participación de veinticuatro (24) equipos auxiliares entre bombas, motores, enfriadores y compresores; los cuales son necesarios para que el Turbogenerador F30-36303 pueda cumplir con su función. Dentro del contexto operacional, se describieron aspectos importantes de todos los equipos, entre ellos función y características principales y estos fueron mostrados en apoyo de las fichas técnicas.

Mediante la aplicación del análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) se identificaron nueve (08) funciones; quince (15) fallas funcionales y treinta y nueve (39) modos de fallas. Toda esta información se mostró sistemáticamente en la hoja de información de apoyo en esta técnica aplicada.

Se determinaron veintiuno (21) tareas de mantenimiento a través de la aplicación del ALD, discriminadas de la siguiente forma: tareas programadas basadas en condición (17); tareas de reacondicionamiento (2); tareas de sustitución (1); tareas en clasificado de otros (1) y ninguna asignada para las tareas de búsqueda de falla oculta.

Se diseñó el plan de mantenimiento preventivo diseñado está compuesto de cincuenta y seis (56) actividades preventiva. Los departamentos con mayor número

de tareas asignadas son los departamentos de operaciones (5,08%), mecánica (50,85%) y electricidad (44,07%). El plan de mantenimiento genera aproximadamente 79 Horas Hombre estimadas al año, de las cuales la mayoría están atribuidas a los departamentos de operaciones, mecánica y electricidad.

Se determinaron los costos asociados al plan de mantenimiento y su puesta en marcha el cual estuvo totalizado en dos millones seiscientos veintisiete mil ochocientos treinta y nueve con sesenta y siete céntimos (2.627.839,67); desglosados en: Costos por materiales y/o repuestos bolívares dos millones quinientos treinta y dos mil novecientos quince (2.532.915,00 Bs.F); costos por implementación bolívares noventa y cuatro mil novecientos veinticuatro con sesenta y siete céntimos (94.924,67 Bs.F).

5.2.- Recomendaciones

Implementar el plan de mantenimiento preventivo diseñado para los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303 de la planta Extracción San Joaquín. Y de igual forma extender el estudio del mantenimiento centrado de confiabilidad hacia todos los equipos que pertenecen al equipo Turbogenerador F30-36303 y otros sistemas de la planta.

Revisar periódicamente las decisiones o información generada a través de la metodología del MCC en el presente proyecto, puesto que así existe la posibilidad de corregir y/o añadir información referente a las funciones, fallas funcionales, modos de fallas, efectos de fallas y las políticas de manejo de fallas se puedan realizar en tiempo oportuno.

Inspeccionar continuamente el cumplimiento del plan de mantenimiento diseñado, otorgando esta tarea a un equipo de trabajo.

Designar un ente de la empresa que valide periódicamente la información de las fallas y actividades de mantenimiento, para mantener actualizada dicha información.

Adquirir equipos de alta tecnología para la medición de las condiciones mecánicas, no solo para los equipos auxiliares, sino para todos los que requieren de evaluación.

Realizar un inventario de los repuestos y materiales existentes para luego realizar un plan de requerimiento de repuestos y materiales.

Promover la capacitación continua al personal de mantenimiento para darle continuidad a las operaciones y para garantizar el fiel cumplimiento en el plan de mantenimiento propuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anden, R. (1991) Técnica de simplificación. Sociedad Latinoamericana de la Calidad.

Arias, F. (2006). El proyecto de investigación. Introducción a la Metodología Científica. (5ta Edición). Caracas- Venezuela: Editorial Espíteme. C.A.

Cáceres, D. (2007) Turbinas y Compresores. Artículo publicado

Duffuaa, S. y Cambel J (1995). Sistema de mantenimiento: planeación y control.

(2da Edición). México: Editorial Limosa Giley.

Hurtado, F. (2005) Gestión y auditoría de la calidad para las organizaciones públicas: Norma NTCGP 1000: 2004 conforme a la ley 872 de 2003. Universidad de Antioquia.

Flores M. (2015). “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad (MCC) para las unidades motocompresoras marca Clark de la Planta Compresora de gas natural Santa Ana III, PDVSA Producción Gas Anaco”. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero Industrial, Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, Extensión Región Centro-Sur Anaco, Venezuela.

Galtung, J. (1996). Teoría y métodos de la investigación social. (4ta Edición). Buenos Aires: Editorial Eudeba.

Gibbs, R. (2011) Turbomáquinas. Primera Edición. Bogotá, Colombia.

Hernández Y. (2015). “Propuesta de planes de mantenimiento aplicando la filosofía del MCC a las bombas reciprocantes de las plantas de inyección de agua salada SJED-IV SJED-I SAED-III Y ETED-I del área mayor de Anaco de PDVSA Gas Anaco” Trabajo de grado presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero Industrial, Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, Extensión Región Centro-Sur Anaco, Venezuela.

ISO 14224: 2006 “Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment”. (2006)

Jiménez, K. y Milano, T. (2006). Planificación y gestión del mantenimiento industrial. Venezuela: Editorial Panapo de Venezuela.

Manual de mantenimiento de PDVSA. Definiciones de mantenimiento y confiabilidad. MM-01-01-01. Venezuela: Volumen 1. (2005)

Martínez, V. (2012) “Diseño de planes de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para los equipos del sistema de Desetanización del Tren “A” de la Planta de Extracción San Joaquín de PDVSA GAS”. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero Industrial, Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, Extensión Región Centro-Sur Anaco, Venezuela.

Moubray, J. (2004). Mantenimiento centrado en confiabilidad. EE.UU: Editorial Butterworth Heinemann, Oxford.

Narciso, B R. (2004). Maquinas Eléctricas. [Documento en línea]. Página: www.ing.unlp.edu.ar/cys/DI/MaqElec.pdf Veracruz, México. Consultada el 01 de Abril DE 2016

Newbrough, E.T. (1998). Administración de mantenimiento industrial: organización, motivación y control en el mantenimiento industrial. México: Editorial diana.

Parra, C. (2008) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Curso ASME dictado por la División de Adiestramiento CEACA.

Puccia J. (2014). “Propuesta de un plan de mantenimiento bajo la filosofía MCC, para los equipos dinámicos del sistema de circulación de fluidos de perforación del taladro GW-63, de la empresa Bohai Drilling Service Venezuela S.A” Trabajo de grado presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero Industrial, Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, Extensión Región Centro-Sur Anaco, Venezuela.

Reability & Risk Management. Mantenimiento centrado en confiabilidad MCC. [Documento en línea]. Página: <http://www.reliarisk.com>. Consultada el 12 de Marzo del 2016.

Renove Tecnología. Turbinas de Gas. [Documento en línea]. Página: <http://www.turbinasdegas.com/index.php/principales-partes-turbinas>. Consultada el 23 de Marzo del 2016.

Sabino (2002). “El proceso de investigación”. Caracas: Editorial Panapo.

Sarti, C. (2016) “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) a las llaves hidráulicas de la empresa Representaciones Vale, C.A., Anaco, estado Anzoátegui”.

Suarez D, (2008) “Guía Teórico-Práctico Mantenimiento Mecánico” Barcelona, estado Anzoátegui.

STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. “Manual de curso de formación de Reability Center Maintenance” CIED Valencia (1999)

Tamayo y Tamayo (2003). “El proceso de la investigación científica”. México: Editorial Limusa.

Wilo, D (2005). Manual de Principios fundamentales de la tecnología de las bombas centrífugas. España (4ta Edición).

ANEXOS

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303 DE LA PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN DE PDVSA GAS
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Duque H., Yineth C.	CVLAC: 20.710.899 E MAIL: yineth@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES

Mantenimiento, plan, MCC, AMEF, Turbogenerador, norma ISO 10013.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Industrial

RESUMEN (ABSTRACT):

El proyecto de investigación consistió en la descripción de actividades de mantenimiento preventivo a los equipos auxiliares del Turbogenerador F30-36303 de la Planta de ESJ basado en el MCC, para garantizar la continuidad operativa y la generación oportuna del servicio eléctrico para cubrir la demanda del SEN. Inicialmente, se describió el problema que estos equipos tienen para que el Turbogenerador se mantenga operativo. Luego, se describieron los aspectos metodológicos enlistando los veinticuatro (24) equipos, constituidos en: bombas, motores, compresores y enfriadores. La investigación fue de tipo descriptiva, con un diseño de campo. Se describió el contexto operacional para luego identificar las características técnicas del Turbogenerador. Se aplicó la técnica AMEF por lo que se esquematizaron los resultados obtenidos en las hojas de información correspondientes. Se determinaron las veintiún (21) tareas de mantenimiento a través del ALD. Así mismo, se elaboró el plan de mantenimiento según lineamientos expuestos en la norma ISO 10013. Finalmente, se estimaron los costos para la puesta en marcha del plan propuesto. Se identificaron ocho (08) funciones; quince (15) fallas funcionales y treinta y nueve (39) modos de fallas. Ante estos resultados, se recomendó poner en marcha de manera inmediata lo propuesto en el plan de mantenimiento.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
M.Sc. Juan C., Bousquet	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Ing. Ledezma, Melchor	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Ing. Brizuela, Giovanni	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2017	10	10
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS EQUIPOS AUXILIARES DEL TURBOGENERADOR F30-36303 DE LA PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN DE PDVSA GAS.docx	Application/msword

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

ALCANCE:

ESPACIAL

(OPCIONAL)

TEMPORAL:

(OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Industrial

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Industrial

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente/Extensión Región Centro Sur –Anaco

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

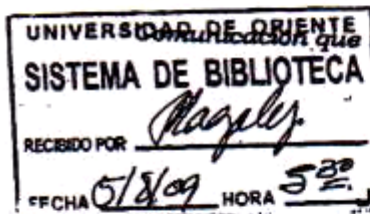
Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

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

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



Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNIELLO
Secretario



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

JABC/YGC/marija

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

DERECHOS

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

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

AUTOR

**Duque H., Yineth C.
AUTOR**

AUTOR

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

**Ing. Ledezma, Melchor
JURADO**

**Ing. Brizuela, Giovanni
JURADO**

**Ing. Valderrama, Rita
POR LA COMISIÓN DE TESIS**