

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



**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**

Realizado Por:

Flores M., Jesús A.

C.I.: 20711857

**Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito
para optar al título de:**

INGENIERO INDUSTRIAL

Anaco, Junio de 2015

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



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

Asesores:

Ing. Jiménez, Gladys
Asesor Industrial

M.Sc. Bousquet, Juan
Asesor Académico

Anaco, Junio de 2015

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



**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 jurado hace constar que asigno a esta Tesis la calificación de:

APROBADO

**M.Sc. Bousquet, Juan
Asesor Académico**

**Esp. Alcántara, José
Jurado Principal**

**Ing. Ledezma, Melchor
Jurado Principal**

Anaco, Junio de 2015

RESOLUCIÓN

De acuerdo con el Artículo 41 del reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente:

“Los trabajos de grado son propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

DEDICATORIA

A DIOS todo poderoso, por la oportunidad de traerme a este mundo, por ponerme en el camino adecuado con las personas indicadas llenas de amor, alegrías, felicidad, sabidurías y muchas bendiciones, por enseñarme amar, a querer y respetar.

A mis padres, María y José, por haberme dado la vida, inculcado valores para ser cada día mejor persona y por estar junto a mí cuando más lo he necesitado. Los Amo.

A mis abuelos Delia y Ángel Luis, por ser los mejores abuelos del mundo, por apoyarme en todo momento, por sus valiosos consejos y motivación. Los Adoro.

A mi hermana por brindarme su apoyo y darme ánimos cuando lo necesitaba.

A mi sobrinito Daniel para que le sirva como fuente de inspiración y logre todas las metas que se proponga.

A todas aquellas personas que creyeron, apoyaron y confiaron en mí. Esta meta es de todos ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme todo lo que tengo, gracias por hacerme tan feliz, darme la familia más maravillosa de este mundo, por poner en mí camino a todas esas personas que me rodean a diario. Por llevarme por este camino. Gracias.

A mis padres, por estar ahí los 365 días del año, las 24 horas al día, por todas las enseñanzas y los valores que me inculcaron, por llenarme de amor, sé que hicieron un esfuerzo sobrehumano para llevarme hasta donde estoy, pasaré mi vida agradeciéndoles por todo lo que han hecho por mí y de seguro no será suficiente. Se merecen lo mejor del mundo. ¡LOS AMO!

A mis abuelos por llenar mi vida de enseñanzas tan significativas, por dedicar su vida a formarnos por el camino del bien. Los llevare toda mi vida en mi corazón. LOS AMO.

A toda mi maravillosa familia, gracias a todos por estar pendientes de mí. Mil gracias a todos.

A los profesores, por todo lo que me enseñaron. Al Prof. Juan Bousquet, por ayudarme en todo momento, por lo consejos, impartirme sus conocimientos y por toda su colaboración, gracias profesor. A los Profesores Melchor Ledezma y José Alcántara, por su gran esfuerzo en revisar este trabajo en tan poco tiempo, gracias.

A la empresa PDVSA GAS, por permitirme desempeñar mis pasantías en sus instalaciones, al Supervisor Francisco González por su ayuda, sus enseñanzas y por guiarme en el desarrollo del trabajo. Al personal del departamento de Mantenimiento

Operacional de la Planta por apoyarme y colocar a mi disposición toda la información necesaria para lograr los objetivos planteados.

Y por último y no menos importante a la Universidad de Oriente, porque fue y será mi segunda casa, dándome la valiosa oportunidad de desarrollarme como el profesional que soy hoy en día, donde pude formarme y obtener los recursos necesarios con sus invaluable profesores que prestan sus servicios, conocimientos y hasta su amistad como una gran familia UDISTA, para así poder desempeñarme de la mejor manera en el campo laboral, permitiéndome dejar su nombre en lo más alto. Muchas gracias Universidad de Oriente Extensión Anaco. Orgulloso 100% de ser UDISTA. Gracias a Todos.

FLORES M. JESÚS A.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	3
EL PROBLEMA	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos de la investigación	7
1.2.1 Objetivo general	7
1.2.2 Objetivos específicos	7
1.3 Descripción de la empresa	8
1.3.1 Ubicación geográfica	8
1.3.2 Reseña histórica	8
1.3.3 PDVSA Gas	9
1.3.4 Misión	10
1.3.5 Visión.....	10
1.3.7 Gerencia de mantenimiento	12
1.3.7.1 Misión	12
1.3.7.2 Visión	12
1.3.8 Planta compresora de gas natural Santa Ana III	12
CAPITULO II	13
FUNDAMENTOS TEORICOS	13
2.1 Antecedentes de la investigación	13
2.2 Bases teóricas	17
2.2.1 Mantenimiento	17
2.2.2 Tipos de mantenimiento.....	17
2.2.3. Mantenimiento Preventivo.....	18
2.2.4. Las ventajas que proporciona el mantenimiento preventivo.....	18
2.2.5 Tipos de mantenimiento preventivo.....	19
2.2.6 Sistema de mantenimiento	20
2.2.7 Tipos de planes.....	20
2.2.8 Mantenimiento centrado en confiabilidad.....	20
2.2.9 Ventajas y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad.....	21
2.2.10 Contexto operacional	21
2.2.11 Preguntas básicas para el análisis del mantenimiento centrado en confiabilidad.....	22
2.2.12 Análisis de modo y efecto de fallas.....	22
2.2.13 Modos de fallas	23

	Pág.
2.2.14 Efecto de fallas.....	23
2.2.15 Árbol lógico de decisiones (ALD).....	23
2.2.16 Consecuencia de las fallas.....	24
2.2.17 Planta compresora de gas natural (PCGN).....	26
2.2.18 Gas natural.....	26
2.2.19 Generalidades del proceso de compresión del gas natural.....	27
2.2.20 Equipos compresores del gas natural.....	28
2.2.21 Compresores reciprocantes.....	29
2.2.22. Ventajas más importantes de los compresores reciprocantes.....	29
2.2.23 Sistema de lubricación de un motocompresor.....	30
2.2.24 Sistema de enfriamiento de un motocompresor.....	30
2.2.25 Componentes que integran el sistema de enfriamiento de un motocompresor.....	31
2.2.25.1 Bomba.....	31
2.2.25.2 Enfriador por aire de tubos aleteados.....	32
CAPITULO III.....	33
MARCO METODOLÓGICO.....	33
3.1 Tipo de investigación.....	33
3.2 Diseño de investigación.....	33
3.3 Técnicas de recolección de datos.....	34
3.3.1 Revisión documental.....	34
3.3.2 Observación directa.....	34
3.3.3 Entrevistas no estructuradas.....	34
3.4 Técnicas de análisis de datos.....	35
3.4.1 Fichas técnicas y diagrama de procesos.....	35
3.4.2 Análisis de criticidad mediante diagrama de pareto.....	35
3.4.3 Análisis de modos y efectos de las fallas (AMEF).....	35
3.4.4 Árbol lógico de decisiones.....	36
3.5 Procedimiento Metodológico para el logro de los objetivos.....	38
3.5.1 Descripción del contexto operacional de la planta compresora de gas Santa Ana III.....	38
3.5.2 Jerarquizar las fallas de las unidades motocompresoras de la planta compresora de gas Natural Santa Ana III mediante el análisis de Pareto.....	38
3.5.3 Realizar un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) a las unidades motocompresoras de la Planta compresora de gas natural Santa Ana III.....	39
3.5.4 Aplicar el árbol lógico de decisión para la selección de las tareas de mantenimiento más adecuadas a las unidades motocompresoras de la planta compresora de gas natural Santa Ana III, según lo establecido en la metodología MCC.....	40

	Pág.
3.5.5 Elaborar el plan de mantenimiento de las unidades motocompresoras de la Planta compresora de gas natural Santa Ana III, aplicando la metodología MCC.....	41
CAPITULO IV.....	42
ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
4.1 Equipo natural de trabajo	42
4.2 Descripción del contexto operacional de la planta compresora de gas natural Santa Ana III	43
4.2.1 Planta compresora Santa Ana III	43
4.2.2 Descripción del proceso	44
4.2.3 Descripción de los sistemas que componen la planta compresora de gas natural Santa Ana III	47
4.3 Jerarquización de las fallas de los motocompesores de la planta compresora de gas Santa Ana III	52
4.3.1 Fallas del motocompresor K1	52
4.3.2 Fallas del motocompresor K2	56
4.3.3 Fallas del motocompresor K3	62
4.4 Realizar un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) a las unidades motocompresoras de la planta compresora de gas natural Santa Ana III.	70
4.5 Aplicación del árbol lógico de decisión para la selección de las tareas de mantenimiento más adecuadas a las unidades motocompresoras de la planta compresora de gas natural Santa Ana III, según lo establecido en la metodología MCC.....	86
CAPÍTULO V.....	106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	106
5.1 Conclusiones	106
5.2 Recomendaciones.....	107
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	108
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	110

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 4.1. Ficha técnica del sistema de compresión de la planta compresora de gas Santa Ana III	48
Tabla 4.2. Ficha Técnica del sistema de depuración de la PCSAIII	49
Tabla 4.3. Fallas del motocompresor K1	53
Tabla 4.5. Fallas del motocompresor K2	57
Tabla 4.6. Resumen de fallas según el sistema del K2	61
Tabla 4.7. Fallas del motocompresor K3	63
Tabla 4.8. Resumen de fallas según el Sistema del K3.....	67
Tabla 4.9. Resumen de fallas según el Sistema del K3.....	69
Tabla 4.10. Análisis modos y efectos de fallas del sist. de compresión	72
Tabla 4.11. Análisis modos y efectos de fallas del sist. de enfriamiento.....	77
Tabla 4.11. Análisis modos y efectos de fallas del sist. De enfriamiento.....	79
Tabla 4.12. Análisis modos y efectos de fallas del sist. de depuración	80
Tabla 4.13. hoja de decisión del sistema de compresión	87
Tabla 4.14. Hoja de decisión del sistema de depuración	89
Tabla 4.15. Hoja de decisión del sistema de enfriamiento.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Ubicación geográfica de la planta.....	11
Figura 2.1. Tipos de mantenimiento.	18
Figura 2.2. Diagrama del árbol lógico de decisiones.....	25
Figura 2.3. Esquema de un proceso de compresión por etapas.....	28
Figura 2.4. Motocompresor integral recíprocante.....	29
Figura 2.5. Bomba centrífuga engranada al motocompresor	31
Figura 2.6. Árbol lógico de decisiones RCM II.....	37
Figura 4.1. Conformación del ENT	42
Figura 4.3. Diagrama simplificado del proceso de compresión del gas.....	47
Figura 4.4. Sistema de depuración de la PCSAIII	49
Figura 4.5. Enfriador por aire de tiro forzado	50
Figura 4.6. Fallas según el sistema del K1	56
Figura 4.7. Fallas según el sistema del K2.....	62
Figura 4.8. Fallas según el sistema del K3.....	68
Figura 4.9. Fallas generalizadas de los motocompresores	70
Figura 4.11. Consecuencias de fallos.....	93
Figura 4.10. Evidencia de modos de fallos	94

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



**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**

AUTOR: Flores M., Jesús A.
TUTOR: MSc. Bousquet, Juan C.
FECHA: Marzo de 2015

RESUMEN

En el siguiente trabajo, se realizó una propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la Planta Compresora de Gas Natural Santa Ana III, con fines de mejorar la confiabilidad operacional de los motocompresores Clark, evitar la utilización excesiva de las horas extras de mantenimiento, las recurrentes alarmas, fallas y paradas repentinas en los equipos. Se realizó la descripción del contexto operacional mediante el uso de Diagrama Entrada Proceso Salida (EPS) y fichas técnicas, 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 Modos y Efecto de Falla a los componentes críticos para determinar las acciones de mantenimiento más adecuadas a aplicar mediante el Árbol Lógico de Decisiones basado en la norma SAE JA1012, posteriormente se elaboró el plan de mantenimiento en el cual se establecieron cinco 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.

Descriptores: Confiabilidad, motocompresores, AMEF, Mantenimiento, árbol lógico de decisiones, contexto operacional.

INTRODUCCIÓN

El propósito de cualquier gestión de mantenimiento en empresas competitivas y comprometidas con el enfoque de calidad, consiste en incrementar la disponibilidad de los equipos y sistemas bajo parámetros de confiabilidad con una satisfactoria relación costo-beneficio, donde además se incorporan elementos que proporcionan mayor protección a las personas, e instalaciones y ambiente, este enfoque ha impulsado la formulación de acciones de mantenimiento sustentadas en la confiabilidad.

El mantenimiento centrado en confiabilidad MMC tiene como fin, la ejecución del mantenimiento incrementando la disponibilidad de los activos a bajo costo y permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable, dentro del contexto operacional, mejorar los procesos de producción y disminuir considerablemente los riesgos sobre la seguridad de las personas y el ambiente que se presentan como resultados de fallas en los activos.

La planificación de acciones en el marco del MCC debe iniciarse con el conocimiento del contexto operacional donde funcionen los equipos para luego proceder a ahondar en los aspectos funcionales y fallas, así como las causas de las misma, para luego aplicar herramientas de análisis que permitan definir las acciones de mantenimiento, esto significa que en el MCC se cumple una metodología bien definida, la cual se tomó en consideración para la presente investigación, realizada en la Planta de Compresión de Gas Natural Santa Ana III, específicamente a los motocompresores reciprocantes marca Clark.

El objetivo de esta investigación es proponer acciones de mantenimiento basadas en el MCC a los motocompresores ya mencionados, siguiendo los parámetros

metodológicos y requerimientos de esta filosofía de mantenimiento, para ello se establecieron objetivos específicos cuyo desarrollo permite lograr la elaboración de los planes de mantenimiento centrado en confiabilidad.

La investigación está estructurada en cinco (5) capítulos los cuales se describen brevemente a continuación:

Capítulo I. El Problema: se dan a conocer los aspectos generales de la Planta Compresora Santa Ana III, reseña histórica, misión y visión; así como también el problema de investigación, objetivo general y específicos de la misma.

Capítulo II. Marco Referencial: en el cual se presentan los antecedentes de la investigación, así como los diferentes términos y bases teóricas necesarias para la comprensión de la investigación.

Capítulo III. Marco Metodológico: se describe el tipo de investigación, población, muestra, técnicas de recolección de datos, técnicas de análisis y el procedimiento para el logro de cada uno de los objetivos planteados.

Capítulo IV. Análisis de Resultados: se realizó la revisión de los documentos disponibles de la empresa, de los datos técnicos y descripción de los procesos de los equipos en estudio mediante los manuales de los fabricantes y los propios de PDVSA GAS. Una vez identificados los sistemas con mayor criticidad se determinaron el origen de las fallas y mediante el árbol lógico de decisiones de la norma SAE JA1012 se buscaron las acciones de mantenimiento más adecuadas.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones: dan respuesta a los objetivos planteados, generando información que fue determinante en el trabajo, además de generar las recomendaciones a seguir para continuar mejorando el proceso.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La empresa Petróleos de Venezuela, Sociedad Anónima, PDVSA 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.

PDVSA GAS, es una empresa filial de Petróleos de Venezuela, cuyo accionista es el estado venezolano. Las actividades realizadas por esta organización engloban todo lo referente a la exploración, producción, transporte, procesamiento, distribución y comercialización del 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, propiciando un clima organizacional favorable para los trabajadores y promoviendo la incorporación del sector privado en el desarrollo de la industria gasífera. Esta empresa dispone de oficinas gerenciales y comerciales a lo largo del territorio nacional, donde mantiene operaciones.

El municipio Anaco tiene una superficie total de 727,85 km², ocupando unos 400 km de este a oeste y 50 km de norte a sur. El manejo de gas en Anaco comprende dos áreas:

Área Mayor de Oficina (AMO), en la parte sur de la zona central del estado Anzoátegui con un área de 10,240 km². Está integrada por los campos de Soto-Mapiri, la Ceibita, Zapatos, Mata R y Aguasay y cuenta con una infraestructura para manejar y procesar 430 millones de pies cúbicos estándar de gas diarios (MMPCED), con un potencial de extracción de líquidos de 9.000 barriles estándar por día (BEPD).

Área Mayor de Anaco (AMA), Ubicada en la parte norte de la zona central del estado Anzoátegui con un área de 3,160 km². Esta área cuenta con una infraestructura para manejar y procesar 1.650 MMPCED, con un potencial de extracción de líquidos de 8.500 BEPD. El área mayor de Anaco esta dividida a su vez por AMA oeste, la cual abarca las plantas compresoras San Joaquín I, II, IV y AMA este, abarca las plantas compresoras El Toco II y Santa Ana III.

La Planta Compresora Santa Ana III, está diseñada para recibir gas asociado de 60, 250 y 800 psi provenientes de las estaciones de producción y comprimirlo hasta 1.200 psi, para ser luego enviado hacia la planta de Extracción San Joaquín. La planta tiene una capacidad nominal de 110 MMPCND; disponiendo para ello de tres unidades integrales motocompresores reciprocantes, marca Clark de dos tiempos en línea que comprimen el gas natural (K1, K2 Y K3), enfriadores inter- etapas y un separador para cada nivel de presión de entrada. Actualmente se encuentran operativos dos motocompresores (K2 y K3) debido a que el motocompresor K1 está en mantenimiento mayor.

Hay que destacar que de diez unidades motocompresoras instaladas en la planta, solo cuatro de ellas están disponibles y las restantes se encuentran en mantenimiento mayor, es decir, se encuentran fuera de servicio siendo sus piezas usadas en otras unidades de características similares.

Los equipos a estudiar serán los Clark, los cuales presentan diversas alarmas y fallas en los sistemas de enfriamiento, compresión, depuración, ignición y lubricación, que van desde altas temperaturas, fugas de gas, aceite y agua, excesivos ruidos, corrosión, vibraciones, generando así condiciones operacionales desfavorables. La ocurrencia de estas fallas es debido a la larga vida operativa de los equipos y la falta de una política de mantenimiento actualizada de la empresa.

Estas fallas desencadenan en paradas no planificadas, numerosas horas de sobretiempo por parte del personal de mantenimiento operacional, elevación de los costos asociados a la mantenibilidad de los equipos, disminución de la capacidad productiva y generación de grandes pérdidas económicas. Ante tal situación, el departamento de compresión de la empresa PDVSA GAS del distrito Anaco necesita conservar los equipos motocompresores operativos y disponibles en condiciones óptimas de funcionamiento.

Por esta razón, es de vital importancia la propuesta de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para los equipos motocompresores Clark TLA-10 de la Planta Compresora Santa Ana III, que permita a los operarios y mecánicos conocer a profundidad los sistemas, sus componentes y funcionamiento, permitiendo tomar decisiones efectivas en el menor tiempo posible, evitando paradas inesperadas, reduciendo los costos por mantenimiento, maximizando la seguridad y protección integral de las personas, instalaciones, equipos y garantizando una política de mantenimiento preventiva que permita un óptimo funcionamiento

operacional de los equipos; todo esto con el propósito de mantener un nivel de producción rentable y contribuir con el desarrollo de nuestro país.

Este estudio tiene como propósito incrementar la operatividad de los equipos y reducir las intervenciones imprevistas durante la operación de los mismos, de manera de conservarlos en condiciones de alta eficiencia. Es importante señalar que los resultados obtenidos a través de este proyecto, serán objeto de estudio para investigaciones y acciones futuras dentro de la empresa, con el cual se beneficiará tanto el nivel operativo como el económico, sin dejar de mencionar el importante aporte que será para la Universidad.

El estudio se realizará en la Planta Compresora de Gas Santa Ana III y abarcará un plan de mantenimiento preventivo a las unidades motocompresoras Clark TLA-10, de tal forma que permita preservar el correcto funcionamiento de los equipos para que pueda alcanzar su vida útil y llevar un control del mantenimiento aplicado a estos equipos.

Este proyecto es el primero a ser aplicado a los motocompresores, el cual abarca la descripción del contexto operacional, jerarquización de las fallas presentadas en el último año de operación, análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF) y la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo bajo la metodología MCC.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Proponer 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.

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir el contexto operacional de las unidades motocompresoras operativas de la Planta Compresora de Gas Natural Santa Ana III.
- Jerarquizar las fallas de las unidades motocompresoras de la Planta Compresora de Gas Natural Santa Ana III mediante el análisis de Pareto.
- Realizar un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) a las unidades motocompresoras de la Planta Compresora de Gas Natural Santa Ana III.
- Aplicar el Árbol Lógico de Decisión para la selección de las tareas de mantenimiento más adecuadas a las unidades motocompresoras de la Planta Compresora de Gas Natural Santa Ana III, según lo establecido en la metodología MCC.
- Elaborar el plan de mantenimiento de las unidades motocompresoras de la Planta Compresora de Gas Natural Santa Ana III, aplicando la metodología MCC.

1.3 Descripción de la empresa

1.3.1 Ubicación geográfica

La Empresa Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) tiene sus principales oficinas administrativas en la capital de la República Bolivariana de Venezuela, en la ciudad de Caracas, extendiendo sus actividades hacia los estados: Monagas, Guárico, Barinas, Apure, Zulia y Anzoátegui. Este último sirve de sede a la empresa PDVSA Gas Anaco la cual se encuentra ubicada en la zona centro – sur del estado, y se divide en varias áreas operacionales. Tal es el caso del área AMO ubicado en Campo Mata perteneciente al Municipio Freites, cuya capital es Cantaura con un área aproximada de 13.400 Km².

1.3.2 Reseña histórica

El 30 de Julio de 1975, el ejecutivo nacional mediante el decreto Nro. 1123 crea Petróleos de Venezuela (PDVSA) como matriz de la industria, siendo su responsabilidad planificar, coordinar, supervisar y controlar, las actividades de las empresas filiales que integraron a partir de la nacionalización el 1 de Enero de 1978, investigación y apoyo tecnológico. Con un nuevo proceso de integración que se realizó en 1998, se crea la Sociedad Anónima “Petróleos de Venezuela” PDVSA, la cual integró a Corpoven, Lagoven y Maraven, quedando como rectora de las compañías operadoras encargadas de ejecutar todo lo relacionado con la Industria y el Comercio de los Hidrocarburos, encargándose también del desarrollo de la industria Petroquímica y la Carbonífera, así como también la celebración de convenios y asistencia técnica con Empresas Nacionales y Extranjeras.

Petróleos de Venezuela, encargada del desarrollo de la industria petrolera, petroquímica y carbonífera, además de planificar, coordinar, supervisar y controlar

las actividades operativas de sus divisiones tanto en Venezuela como en el exterior. PDVSA lleva adelante actividades en materia de exploración y producción.

1.3.3 PDVSA gas

PDVSA constituye una empresa cuya función es racionalizar las operaciones de producción y refinación del petróleo. Inicialmente todos los esfuerzos y recursos de la empresa se orientaron básicamente a la explotación y producción del crudo, para obtener el mayor rendimiento de éste, sin tomar en cuenta la importancia del gas asociado, el cual era considerado un inconveniente operacional. El mayor porcentaje del gas se utilizaba para aumentar la presión de los pozos y realizar levantamiento artificial del crudo y el resto era desechado a la atmósfera. A través de los años, el gas natural pasó a ser la principal materia prima para la industria petroquímica del país, utilizándose en procesos de polimerización, craqueo o pirolisis y reformación para la obtención de polímeros, urea, metanol, olefinas, etc. Fue entonces que se comenzaron a evaluar los procesos, desde los sistemas de recolección del gas hasta su transmisión, optimizándolos cada vez más para garantizar la producción.

La Gerencia de Manejo de Gas, es la encargada de controlar las actividades inherentes a la compresión de gas en el distrito Gas Anaco, realizada a través de 30 plantas compresoras que se encuentran operativas actualmente, teniendo como objetivo manejar de forma óptima y segura los procesos de recolección, compresión y transmisión bajo los estándares de calidad, a través de la utilización de tecnología de punta, a fin de cumplir con los planes de producción, con los compromisos internos y externos y a su vez promover el desarrollo social del país.

1.3.4 Misión

PDVSA Gas, posee la misión de satisfacer las necesidades de energía de la sociedad, apoyándonos en la excelencia de su gente y tecnologías de vanguardia, y creando el máximo valor para la nación venezolana.

1.3.5 Visión

La visión de PDVSA Gas es la de ser reconocida internacionalmente como la corporación energética de referencia mundial por excelencia, a través del aprovechamiento óptimo de sus recursos, la eficiencia operacional y la introducción oportuna motivada, preservando su integridad y la de los activos, en total armonía con el medio ambiente y el entorno. Además, la de ser la organización líder en la generación de los lineamientos técnicos para el establecimiento de las estrategias de exploración y producción de hidrocarburos gaseosos a mediano y largo plazo, mediante la actualización e integración continua de información técnica, estrategias y económicas del país, para ser reconocido como el mejor equipo energético de referencia mundial por excelencia.

1.3.6 Características del distrito gas Anaco

El municipio Anaco tiene una superficie total de 727,85 km², ocupando unos 400 km de este a oeste y 50 km de norte a sur. El manejo de gas en Anaco comprende dos áreas:

- Área Mayor de Oficina (AMO)

Ubicada en la parte sur de la zona central del estado Anzoátegui con un área de 10,240 km². Está integrada por los campos de Soto-Mapiri, la Ceibita, Zapatos, Mata

R y Aguasay y cuenta con una infraestructura para manejar y procesar 430 millones de pies cúbicos estándar de gas diarios (MMPCED), con un potencial de extracción de líquidos de 9.000 barriles estándar por día (BEPD).

- Área Mayor de Anaco (AMA)

Ubicada en la parte norte de la zona central del estado Anzoátegui con un área de 3,160 km². Esta área cuenta con una infraestructura para manejar y procesar 1.650 MMPCED, con un potencial de extracción de líquidos de 8.500 BEPD. El área mayor de Anaco está dividida a su vez por AMA oeste, la cual abarca las plantas compresoras San Joaquín I, II, IV y AMA este, abarca las plantas compresoras Santa Ana III y El Toco II. En la figura 1.1 se observa la ubicación geográfica de la planta.

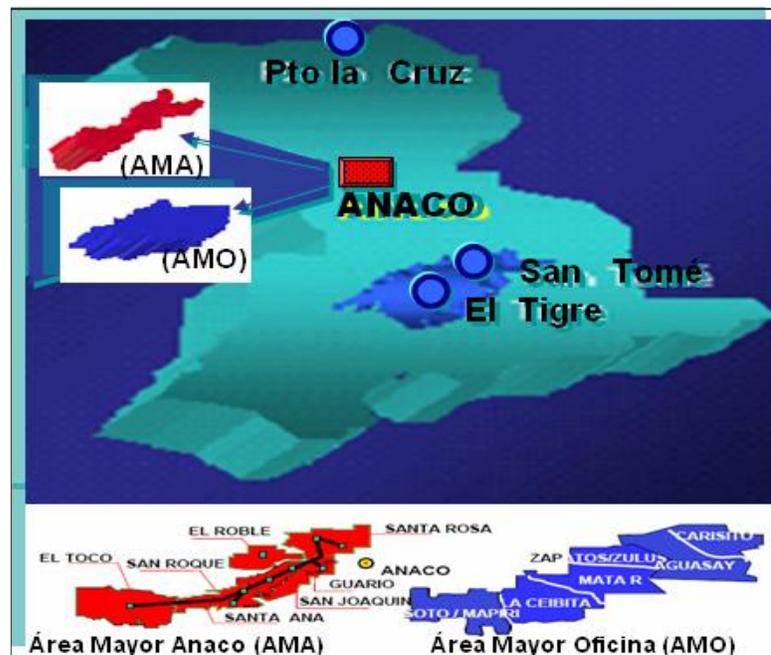


Figura 1.1. Ubicación geográfica de la planta.
Fuente: servicio de información de PDVSA GAS

1.3.7 Gerencia de mantenimiento

1.3.7.1 Misión

La Gerencia de Mantenimiento es una organización con personal altamente calificado (Ver anexo C. Organigrama General), motivado e identificado para manejar en forma óptima, segura y oportuna las situaciones relacionadas al proceso de recolección, compresión y transmisión del gas natural, bajo estándares de calidad, a través de la utilización de tecnología de punta a fin de cumplir con los planes de producción y compromisos con nuestros socios operadores.

1.3.7.2 Visión

Ser reconocido como una organización líder y competitiva en el manejo de técnicas y metodologías de mantenimientos tendiente a fortalecer nuestra organización, con personal capacitado, infraestructura moderna, segura y automatizada para optimizar los procesos, calificado y comprometido con las metas de la organización, en permanente búsqueda de la excelencia para satisfacer a todos nuestros socios operadores.

1.3.8 Planta compresora de gas natural Santa Ana III

La Planta Compresora Santa Ana III fue construida en el mes de septiembre del año de 1979. Está ubicada a 45 km al suroeste de la ciudad de Anaco. Su objetivo es elevar la presión del gas proveniente de las estaciones Santa Ana I, II y III, cuyas líneas ingresan a la planta a presiones de 60, 250 y 800 psig y debe salir de la planta compresora a 1.200 psig, para posteriormente ser transportados hacia las plantas de procesamiento de gas (San Joaquín Extracción o Refrigeración San Joaquín).

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1 Antecedentes de la investigación

Para la realización de este proyecto se llevó a cabo una revisión bibliográfica, seleccionando investigaciones relacionadas al tema, que sirvieron de apoyo en el desarrollo del presente estudio en base a su metodología y contenido, en tal sentido las citas que se presentan a continuación forman parte de los trabajos revisados:

Millán, S (2013). “Evaluación de la confiabilidad de los motocompresores en la Planta Compresora Santa Rosa II 2000 localizada en Área Mayor PDVSA Gas Oriente, Anaco estado Anzoátegui”. Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Industrial, en la Universidad de Oriente, Extensión Centro-Sur Anaco, estado Anzoátegui. Este proyecto tuvo como objetivo evaluar la confiabilidad de los motocompresores de la Planta Compresora Santa Rosa II 2000. El estudio surgió por el extravío de documentos. Adicionalmente, estas unidades no contaban con equipos motocompresores de respaldo, lo que puso en riesgo el funcionamiento del sistema de compresión, generando un aumento significativo de fallas, gastos en piezas o equipos por retraso del proceso de mantenimiento. En relación al aspecto metodológico, la investigación es de tipo explicativa y su diseño de campo, por recolectarse información en forma directa mediante visitas de campo, con el objeto de diagnosticar las condiciones actuales y constatar el estado de los equipos involucrados. Para obtener la información se aplicaron las técnicas e instrumentos de recolección de datos al personal que labora de Mantenimiento de la empresa. Posteriormente, se identificaron los equipos críticos del sistema en estudio mediante criterios ponderados, se estimó su confiabilidad, a través del software Raptor, usando la herramienta de Análisis de los Modos y Efectos de Falla (AMEF) y el árbol lógico

de decisiones se propusieron acciones de mantenimiento a los motocompresores en estudio.

Este trabajo sirvió para observar el seguimiento de cada punto a analizar en referencia a las unidades motocompresoras a la hora de obtener información requerida para su estudio.

Londoño, L (2013). “Diseño del plan de mantenimiento preventivo, centrado en la confiabilidad de los motores de fondo de la empresa OPTIDRILL, S.A. utilizados en el área de perforación direccional de pozos petroleros”. Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Industrial, en la Universidad de Oriente, Extensión Centro-Sur Anaco. Esta investigación tiene como finalidad el diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para los motores de fondo de la empresa OPTIDRILL S.A, como caso específico la base Anaco Edo. Anzoátegui, con fines de mejorar la confiabilidad de los equipo, evitar la utilización excesiva de las horas extras de mantenimiento, las recurrentes alarmas, fallas y paradas en los equipos todo esto en búsqueda del manejo óptimo de los motores de fondo a la hora de su ensamblaje y operación en el campo. Para la realización de la investigación se utilizó un tipo de investigación descriptiva y un diseño de campo. En vista de no contar con historiales de mantenimiento, fue conveniente utilizar la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad, donde se realizó un diagnóstico de la situación actual del sistema, se determinó el contexto operacional de los motores de fondo y se aplicó un análisis de criticidad para enfatizar estudios y destinar recursos en los componentes de mayor relevancia, luego se realizó un Análisis de Modos y Efecto de Falla a los componentes críticos, asentándolos en la hoja de información para luego determinar el tipo de mantenimiento mediante el Árbol Lógico de Decisiones y registrarlas en la hoja de decisión, de allí se elaboró el plan de mantenimiento donde se generaron tareas preventivas. Las tareas son variadas y con paridad de porcentajes, entre las cuales figuran tareas a condición,

reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y búsqueda de falla, en las cuales los motores de fondo, luego de cumplir con el plan sugerido, ofrecerán más continuidad y confiabilidad en el proceso de trabajo afín de mantener a la empresa en competitividad dentro del mercado con un buen desempeño en el trabajo.

El trabajo antes presentado fue de gran ayuda para la elaboración del Plan de Mantenimiento de las unidades motocompresoras. Además, servirá de guía para la aplicación de los métodos de recolección de datos necesarios para realizar el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), y el Árbol Lógico de Decisiones (ALD).

Barrios, J (2013). “Evaluación de las fallas del Sistema de Suabo perteneciente a la empresa Ingeniería y Servicios Técnicos Newsca S.A., localizada en Anaco Estado Anzoátegui”. Trabajo de Grado que se presenta como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Industrial, en la Universidad de Oriente, Extensión Región Centro-Sur Anaco, estado Anzoátegui. El presente trabajo tuvo como objetivo la evaluación de fallas del sistema Suabo de la Empresa Newsca, S.a. dicha evaluación se llevó a cabo tras la aplicación conjunta de las herramientas de confiabilidad AMEF y ACRF, donde se evaluaron los sub-sistemas críticos (UA, ME y SH), determinados mediante la aplicación de la técnica de diagrama de Pareto. Dando como resultado los modos de fallas inaceptables, a los cuales mediante la herramienta de Árbol Lógico de Fallas se le pudieron detectar causas raíces latentes tales como: deficiencia en la programación control de mantenimiento preventivo programado, falta de adiestramiento del personal, falta de procedimientos, entre otras. En base a estos resultados se propuso una mejora en el programa de mantenimiento actual, lo cual resultó rentable, según los resultados de un análisis costo-beneficio.

El trabajo de investigación anteriormente citado, fue utilizado como un canal informativo en lo que respecta a la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC). A su vez, aportará conocimientos acerca de la aplicación de las

herramientas que serán aplicadas como son el árbol lógico de decisiones y el análisis modo efecto falla.

Meneses, L (2013). “Diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) para las unidades de registro 2K1, 2K6 y 2K7 de La Empresa ALEX, C.A. Localizada en la ciudad de Anaco, Estado Anzoátegui”. Trabajo de Grado que se presenta como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Industrial, en la Universidad de Oriente, Extensión Región Centro-Sur Anaco, estado Anzoátegui. En el presente trabajo se aplicó la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), para el diseño de un plan de mantenimiento a las unidades de registro 2K1, 2K6 y 2K7 de La Empresa ALEX, C.A. (Advanced Logging and Explosives), ubicada en la ciudad de Anaco, Estado Anzoátegui. Se describió el contexto operacional de las unidades de registro mediante la revisión y recolección de información técnica y operacional los manuales y documentos técnicos de cada uno de los componentes que derivan de los sistemas (hidráulico, mecánico, eléctrico y de superficie) que componen las unidades, además de la realización de entrevistas no estructuradas al personal de la empresa y visitas al área operacional. Se realizó un levantamiento de fallas a los sistemas que componen las unidades de registro, con la finalidad de hacerle un seguimiento al comportamiento de los sistemas entre los periodos 2010 y 2011, para después aplicarle el diagrama de Pareto para determinar los componentes críticos de cada unidad, ya que dicha unidad poseen los mismos sistemas y componentes, luego se aplicó un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) a todos los componentes críticos que arrojaron dicho diagrama seguidamente, se realizó el árbol lógico de decisiones donde se realizaron las tareas a realizar de acuerdo a cada modo de falla, finalmente se desarrolló un plan de mantenimiento preventivo a las unidades de registro, con el propósito que se cumplan todas las acciones y mejoras para su operatividad.

El trabajo de investigación anteriormente citado, será utilizado como un canal informativo en lo que respecta a la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC). A su vez, aportará conocimientos acerca de la aplicación de las herramientas que serán aplicadas como son el árbol lógico de decisiones y el análisis modo efecto falla.

2.2 Bases teóricas

A continuación se establece la teoría referida al mantenimiento, así como los aspectos relacionados con el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

2.2.1 Mantenimiento

Según la norma COVENIN 3049-93(1993). “Es el conjunto de acciones que permite conservar o restablecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir un servicio determinado” (p.1).

2.2.2 Tipos de mantenimiento

Existen diferentes formas de diferenciar los tipos de mantenimientos, sin embargo la generalmente utilizada, parte del mantenimiento preventivo y correctivo, en la figura 1.1 se muestra los tipos de mantenimiento de acuerdo a la metodología de Suárez, D (2001).

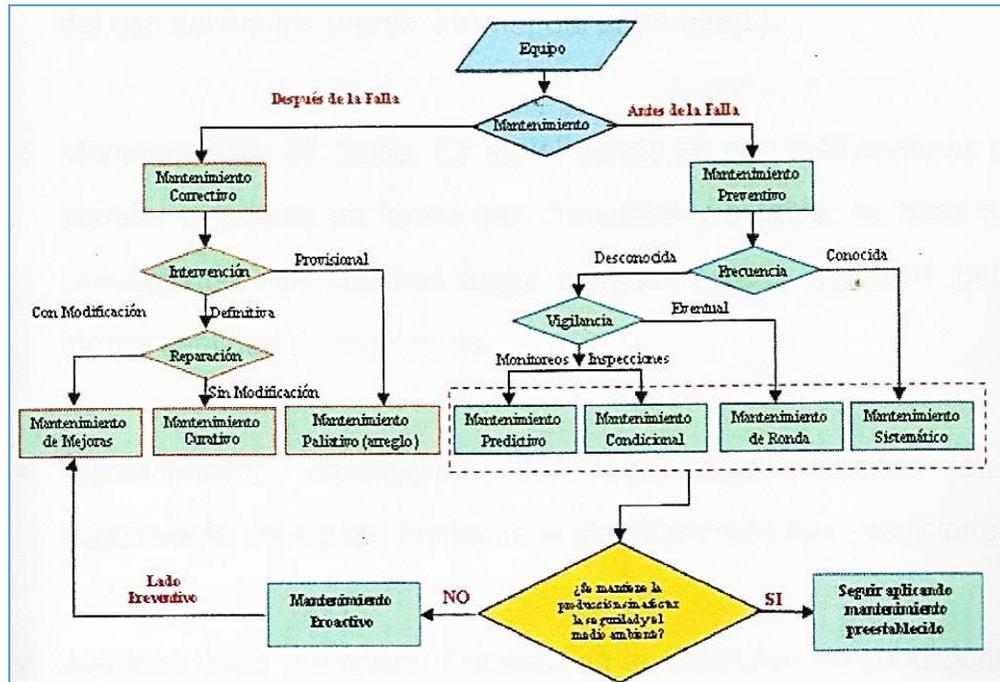


Figura 2.1. Tipos de Mantenimiento.

Fuente: Suárez D. “Guía Teórico-Práctico Mantenimiento Mecánico” (2001).

2.2.3. Mantenimiento preventivo

Según Suárez, D. (2001). “Es una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener el equipo bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales y la historia de fallas de los equipos”. (p.17).

2.2.4. Las ventajas que proporciona el Mantenimiento Preventivo

Según Suárez, D. (2001). Las ventajas son las siguientes:

- Disminución de los paros imprevistos y no deseados, Menor número de reparaciones repetitivas que pudieran resultar en daños y costos excesivos.

- Mayor conservación y seguridad de los equipos y personal.
- Intervenciones de manera organizada, ubicación de repuesto y con el personal calificado, y así tener control de materiales, herramientas, repuestos y personal.
- Menor número de los productos rechazados, por tanto mayor control de calidad.

2.2.5 Tipos de mantenimiento preventivo

Según Suárez, D. (2001). Pueden distinguirse cinco tipos de mantenimiento:

- **Mantenimiento Sistemático:** es el grupo de tareas de mantenimiento que se realizan sobre un equipo o instalación siguiendo un programa establecido, según el tiempo de trabajo, la cantidad producida, los kilómetros recorridos, de acuerdo con una periodicidad fija o siguiendo algún otro tipo de ciclo que se repite de forma periódica.
- **Mantenimiento de Ronda:** se refiere a la vigilancia regular a frecuencias cortas, se diferencia de los demás, por ser actividades de mantenimiento eventuales, es decir no están contempladas en un programa de mantenimiento, por esta razón también se conoce como mantenimiento circunstancial.
- **Mantenimiento Condicional:** son actividades basadas en el seguimiento del equipo mediante el diagnóstico de sus condiciones.
- **Mantenimiento Predictivo:** este mantenimiento está basado en la inspección para determinar el estado y operatividad de los equipos, mediante el conocimiento de valores de variables que ayudan a descubrir el estado de operatividad; esto se realiza en intervalos regulares para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas.

- **Mantenimiento Correctivo:** es una actividad no programada y se dirige a reparaciones por fallas ocurridas. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a sus condiciones operativas, por medio de restauración, reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste, daños o roturas.

2.2.6 Sistema de mantenimiento

Según Suárez, D. (2001). “Es un conjunto de componentes que trabajan de manera combinada hacia un objetivo común. El mantenimiento puede ser considerado como un sistema con un conjunto de actividades que se realizan en paralelo con los sistemas de producción”. (p.23).

2.2.7 Tipos de planes

Según Suárez, D. (2001). El proceso de planificación puede dividirse en tres niveles básicos, dependiendo de horizonte de la planificación. Los cuales son:

- Planes a largo plazo (cubre un periodo de hasta de 5 años).
- Planes a mediano plazo (cubre un período de hasta de un año).
- Planes a corto plazo (corresponde a los planes semanales y diarios).

2.2.8 Mantenimiento centrado en confiabilidad

Según STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. (1999). Expresa que: el Mantenimiento MCC hace énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante: Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la

hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento, Manteniendo mucha atención en las tareas del Mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar. (p.18).

2.2.9 Ventajas y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad

Según STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. (1999). Cuando es aplicado correctamente produce los beneficios siguientes:

- Mayor seguridad y protección del entorno.
- Mejores rendimientos operativos.
- Mayor Control de los costos del mantenimiento.
- Mayor aprovechamiento de la vida útil de los equipos.
- Una amplia base de datos de mantenimiento.

2.2.10 Contexto operacional

Según STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. (1999). Establece que: el primer documento que se realiza para un análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, es el contexto operacional, lo que debe realizarse muy cuidadosamente porque de esto dependerá la ejecución del análisis, el cual debe contener una descripción detallada de la instalación que será analizada; también 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, servicio, planes a futuro, personal, turnos de trabajo, operaciones, mantenimiento, gerencia, límites del sistema y un listado de componentes de cada sistema en caso de que haya división del sistema en varios subsistemas, incluyendo dispositivos de seguridad e indicadores. (p.24).

2.2.11 Preguntas básicas para el análisis del mantenimiento centrado en confiabilidad

Según la norma SAE JA-1011, toda aplicación del MCC debe responder siete (7) preguntas, las cuales permiten consolidar los objetivos de esta filosofía (aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los activos por medio del empleo adecuado de recursos). Para la resolución de estas preguntas se cuenta con técnicas de confiabilidad como el AMEF (Análisis de los Modos y Efectos de las fallas) y ALD (Árbol Lógico de Decisión). La primera ayuda a determinar las consecuencias de los modos de falla de cada activo en su contexto operacional, mientras que la segunda permite decidir el tipo de mantenimiento más adecuado, para cada modo de falla. La primera técnica ayuda a responder las cinco primeras preguntas, mientras que la segunda ayuda a responder las restantes, a continuación se detallan las preguntas del MCC.

1. ¿Cuál es la función del activo?
2. ¿De qué manera puede fallar?
3. ¿Qué origina la falla?
4. ¿Qué pasa cuando falla?
5. ¿Importancia de la repercusión de la falla?
6. ¿Qué hacer para prevenir la falla?
7. ¿Qué hacer si no podemos prevenir la falla?

2.2.12 Análisis de modo y efecto de fallas

Según la norma SAE JA-1011 expresa que: es un conjunto de directrices, un método y una forma de identificar problemas potenciales (errores) y sus posibles efectos en un sistema para priorizarlos y poder concentrar los recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta.

2.2.13 Modos de fallas

Según la norma SAE JA-1011 expresa que: son aquellos eventos que se consideran las causas que desencadenan los fallos en las funciones de los activos (fallos funcionales), sistema o proceso que se analice. Es decir, las diferentes razones técnicas y humanas que pueden llevar a un estado de incumplimiento, ya sea total o parcial, de la misión deseada.

2.2.14 Efecto de fallas

Según la norma SAE JA-1011. Corresponde a la información de los eventos secuenciales que ocurren cuando un modo de fallas se da. . Esto se refiere a que pasaría si ocurriera. Este paso permite decidir la importancia de cada fallo, y por lo tanto que nivel de mantenimiento preventivo (si lo hubiera) sería necesario. Es decir, proporciona la base para decidir si merece la pena realizar el mantenimiento preventivo.

En esta etapa se debe especificar el impacto que trae consigo la ocurrencia de un modo de falla sobre el ambiente, la seguridad, las operaciones y los costos. Cada modo de falla puede tener más de una consecuencia o efecto.

2.2.15 Árbol lógico de decisiones (ALD)

Según STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. (1999) expresa que: “es una herramienta del MCC, que permite seleccionar la tarea de mantenimiento más adecuada para evitar la ocurrencia de cada modo y efecto de falla. Da respuesta a las tres últimas preguntas básicas del MCC, Basándose en un flujograma de preguntas. El tipo de pregunta busca jerarquizar las actividades”. (p.25).

2.2.16 Consecuencia de las fallas

Según STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. (1999) expresa que: para el ALD pueda decidir sobre las tareas de mantenimiento a realizar, es importante que se tengan las consecuencias de los fallas y decidir el eslabón en que se encuentra cada modo de falla. El ALD propone el diagrama que se muestra en la figura 2.2.

- Consecuencia de las Fallas Oculito

Una función oculta o no evidente, es aquella cuya falla no es detectable por los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí solo. Generalmente no ejercen efecto directo, pero si exponen a las instalaciones a otros fallas cuyas consecuencias serían más graves, y a menudo catastróficas. Suelen ser hasta la mitad de los modos de falla de los equipos complejos modernos.



Figura 2.2. Diagrama del Árbol Lógico de Decisiones.

Fuente: Strategig Technologies Inc. “Manual de Reability Center Maintenance” (1999), con Adaptación Propia.

- Consecuencia para la Seguridad

Un modo de falla tiene consecuencias sobre la seguridad personal si causa una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien, mientras que sobre el ambiente si origina una infracción de cualquier normativa o reglamento relacionado con el medio ambiente.

- Consecuencias Operacionales

Una falla trae consecuencias operacionales si tiene efecto adverso directo sobre la capacidad operacional, afectan al rendimiento total, la calidad del producto y el servicio al cliente. En todos estos casos estas consecuencias cuestan dinero.

- Consecuencias no operacionales

Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría son aquellos que no traen consecuencia sobre la seguridad ni la producción, de modo que solo originan el coste directo de la reparación.

2.2.17 Planta compresora de gas natural (PCGN)

Según Sarabia, L. (2002). Son instalaciones, que en el caso de la industria petrolera reciben gas de las estaciones de producción, para elevar su presión por medio de compresores hasta un nivel mayor, para su posterior utilización; entre ellas cuentan, la transmisión hasta las estaciones de entrega o de medición y regulación, disposición en yacimiento o inyección en proyectos de recuperación o en proyectos de recuperación secundaria.

2.2.18 Gas natural

Según Sarabia, L. (2002). Es un líquido a temperatura y presión ambiente con fuerte tendencia a evaporarse a dichas condiciones, sus componentes básicos son: pentano, hexano, y heptano.

2.2.19 Generalidades del proceso de compresión del gas natural

Según Sarabia, L. (2002). El gas natural es un combustible que se obtiene de rocas porosas del interior de la corteza terrestre, y se encuentra mezclado con el petróleo cerca de yacimientos del mismo. Como se trata de un gas, puede encontrarse solo en yacimientos separados, sin embargo la manera más común en que se encuentra este combustible es atrapado entre el petróleo y una capa rocosa impermeable. En condiciones de alta presión se mezcla o disuelve en aceite crudo.

Una vez que la mezcla de gas - petróleo, es sacada a la superficie, se transporta a través de líneas de flujo bifásicas hasta llegar a las estaciones de flujo o estaciones de descarga, dónde se llevan a cabo los procesos de separación crudo-gas, fiscalización y bombeo de crudo, para luego ser enviado a través de gasoductos de recolección a las plantas compresoras.

Estas plantas tienen un aporte de gran importancia dentro de las operaciones de producción de petróleo, cuyo objetivo fundamental es aumentar la presión del gas separado del crudo en las estaciones de flujo, para ser utilizado como gas de levantamiento artificial en el proceso de recuperación secundaria (gas lift), para satisfacer ciertas necesidades de consumo tales como; suministro de gas a plantas eléctricas, plantas de fraccionamiento, refinerías, para usos domésticos, la entrega a otras filiales de PDVSA y para utilizar el remanente como gas de inyección a los yacimientos.

Las plantas compresoras están constituidas por etapas de compresión (figura 2.3), cada etapa está constituida por un compresor, un enfriador y un separador. El gas de alimentación ingresa al separador de entrada, con la finalidad de separar el gas del agua e hidrocarburos más pesados que hubiesen sido arrastrados en línea. Seguidamente el gas proveniente del separador de entrada es comprimido por las

etapas de compresión. En cada etapa el gas es comprimido (compresor) para elevar su presión, enfriado (enfriador) para que la temperatura de descarga no exceda los parámetros de diseño de los equipos, y depurado (separador) para eliminar del gas los líquidos producidos por la condensación en enfriamiento.

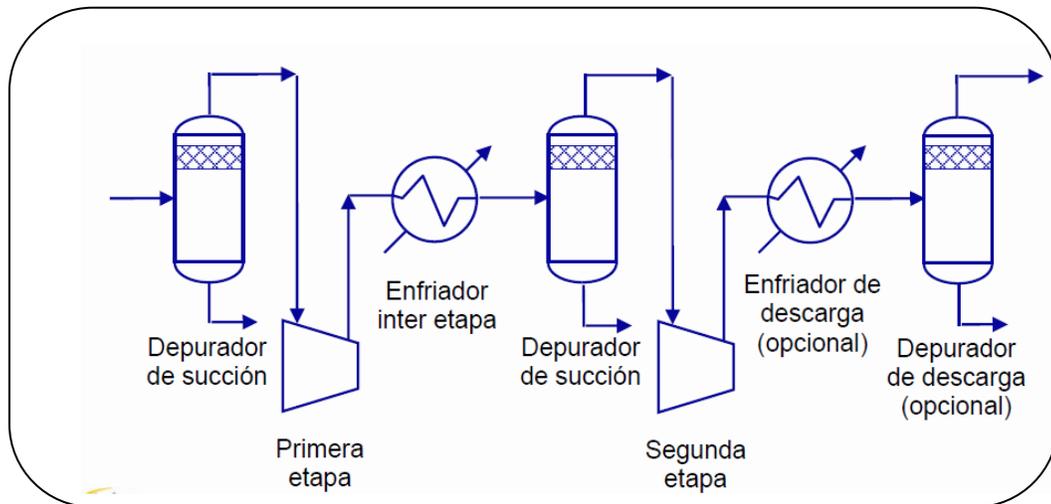


Figura 2.3. Esquema de un proceso de compresión por etapas
Fuente: Green, R. (1992)

2.2.20 Equipos compresores del gas natural

Según Green, R. (1992). Los compresores son ampliamente usados para comprimir grandes volúmenes de gas, mediante la aplicación de fuerzas inerciales al gas manejado. Están diseñados para comprimir gas entre ciertos límites de presión, mediante la energía impartida al mismo. Esta compresión se efectúa en el impulsor, cuyas paletas imparten energía al fluido, aumentando su energía cinética y presión estática. La corriente de gas debe estar libre de líquidos, componentes corrosivos, materiales abrasivos, partículas que puedan depositarse en el impulsor y compuestos que se polimerizan a las condiciones existentes dentro de la unidad.

2.2.21 Compresores reciprocantes

Según Marín, J. (2007). Son unidades formadas por varios cilindros compresores, cada uno de ellos unidos a un cigüeñal común por medio de dos piezas llamadas: cruceta y biela compresora. Los compresores reciprocantes pueden ser de dos tipos: integrales, donde la misma unidad incluye parte motriz y parte compresora, llamados motocompresores (figura 2.4), solo hay un cigüeñal; el otro tipo se llama separados, cuando son de dos unidades diferentes, por lo tanto dos cigüeñales. Dos o más compresores reciprocantes pueden instalarse en una planta para trabajar como unidades operando contra cabezales, es decir dos o más compresores succionan de una misma tubería y descargan para una misma tubería, llamados cabezales de succión y cabezales de descarga.



Figura 2.4. Motocompresor integral reciprocante

Fuente: el autor (2015)

2.2.22. Ventajas más importantes de los compresores reciprocantes

Según Green, R. (1992). Entre las ventajas más resaltantes de los compresores reciprocantes se encuentran las siguientes:

- Poseen la capacidad de desarrollar altas presiones.
- Son de capacidad y velocidad constante, tienen presiones de descarga variables.
- Son menos sensibles a los cambios en las características de composición y gravedad específica del gas.

2.2.23 Sistema de lubricación de un motocompresor

Según Marín, J. (2007). El sistema de lubricación se emplea para disminuir la fricción en los mecanismos internos del motocompresor. Éste funciona con un sistema de bomba de lubricación forzada la cual lubrica los componentes del motocompresor tales como envases (packing), pistones, barras, etc. y un sistema de lubricación adicional que lubrica las bielas, cigüeñal, entre otros componentes del motocompresor. El sistema de lubricación se compone de bombas de pre-lubricación, una caja o bomba de lubricación, líneas de distribución, intercambiador de calor para el aceite y filtros.

2.2.24 Sistema de enfriamiento de un motocompresor

Según Marín, J. (2007). Los numerosos procesos mecánicos (dilatación, fricción, resistencia al calor del aceite, y otros) y los intercambios térmicos que ocurren entre las cámaras de combustión y sus paredes, hacen necesarias la presencia de un sistema de refrigeración o enfriamiento de las partes internas del motocompresor. Este sistema puede ser de refrigeración directa (por aire) y de refrigeración indirecta (por agua).

2.2.25 Componentes que integran el sistema de enfriamiento de un motocompresor

Según Marín, J. (2007). El sistema de enfriamiento de las unidades motocompresoras disponen de una serie de equipos, accesorios e instrumentos que en conjunto garantizan el correcto enfriamiento de sus partes, entre los principales componentes se encuentran el agua o líquido refrigerante, bombas, líneas de distribución, intercambiadores de calor, entre otros.

2.2.25.1 Bomba

Las bombas del sistema de enfriamiento son de tipo centrífugas cuyos ejes están engranados al cigüeñal del motor (figura 2.5); éstas son las encargadas de suministrar la energía necesaria al líquido enfriador, para mantener el flujo a través de todo el sistema de enfriamiento en valores apropiados y a su vez bajo control de la temperatura de la unidad motocompresora.



Figura 2.5. Bomba centrífuga engranada al motocompresor
Fuente: el autor (2015)

2.2.25.2 Enfriador por aire de tubos aleteados

Estos enfriadores están constituidos por tubos con aletas para una mayor área de transferencia de calor. Poseen una estructura de sustentación de acero con una cámara y anillo para el ventilador, uno o más ventiladores de flujo axial con su impulsor, así como diversos accesorios tales como: persianas, protectores del ventilador, tirantes y protectores contra granizo. Estos equipos pueden suministrar el flujo de aire ya sea en tiro forzado o tiro inducido. En las unidades de tiro forzado el ventilador empuja el aire a través de la superficie de los tubos aleteados, mientras que en las unidades de tiro inducido, el ventilador está colocado sobre los tubos, e induce el aire a través de ellos.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Según Arias (2006): la investigación descriptiva “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (p. 24).

El nivel de investigación utilizado en el proyecto es de tipo descriptiva, debido a que fue descrito el proceso operacional de las unidades motocompresoras operativas en la Planta Compresora Santa Ana III, lo cual permitió establecer todo el proceso de investigación del presente proyecto.

3.2 Diseño de investigación

Según Arias (2006): “este tipo de investigación consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos” (p. 31).

El diseño de investigación es el llamado investigación de campo. Este proyecto se realizó en base a este tipo de investigación debido a que la recolección de los datos e información se hizo directamente en el sitio de trabajo donde se lleva a cabo la actividad, específicamente en la Planta Compresora de Gas Santa Ana III; mediante entrevistas no estructuradas a los involucrados en el proceso y observación directa, donde se obtuvo una visión amplia de cada etapa del proceso de compresión del gas natural.

3.3 Técnicas de recolección de datos

Son todas aquellas formas o procedimientos que se utilizan para recolectar u obtener información del tema en estudio. Las técnicas empleadas fueron la revisión documental, la observación directa, y entrevistas no estructuradas, las cuales se detallan a continuación:

3.3.1 Revisión documental

Comprende la revisión de todo el material bibliográfico relacionado con el proyecto, tales como normas, tesis, libros, manuales, registros de la empresa e internet con el fin de obtener una base teórica sólida.

3.3.2 Observación directa

Esta técnica permitió efectuar la visualización de los equipos que conforman la Planta Compresora de Gas Santa Ana III y su vez las actividades de mantenimiento realizadas por el equipo de mantenimiento operacional.

3.3.3 Entrevistas no estructuradas

Esta técnica permitió obtener y soportar gran parte de la información necesaria para la elaboración de este trabajo, siendo de gran utilidad ya que la información aportada por el personal de experiencia en el área de mantenimiento operacional ayudo conocer en detalle los trabajos realizados a los equipos, fallas más recurrentes, así como también las condiciones operacionales de éstos.

3.4 Técnicas de análisis de datos

Las técnicas de análisis presentadas a continuación, fueron los medios que permitieron mostrar y analizar los datos extraídos durante la recolección de la información.

3.4.1 Fichas técnicas y diagrama de procesos

Las fichas técnicas permiten observar de manera resumida los datos de los equipos y parámetros operacionales. Mientras que el EPS es una herramienta grafica que facilita la visualización del contexto operacional, en el se identifican: las entradas, los procesos y las salidas principales.

3.4.2 Análisis de criticidad mediante diagrama de pareto

El principio de Pareto (también conocido como regla del 80/20) establece que, aunque un efecto es producido por varias causas, una parte importante del efecto (80%) habitualmente es explicado por unas pocas causas (20%). Se utilizó para representar y jerarquizar de forma gráfica el mayor porcentaje (%), en cuanto a fallas de los sistemas y a los impactos producidos por estas.

3.4.3 Análisis de modos y efectos de las fallas (AMEF)

Mediante este análisis se realizó un estudio exhaustivo de las causas más probables que generan una falla en los sistemas que resultaron tener mayor criticidad, así como los efectos que dicho evento puede causar a la organización.

3.4.4 Árbol lógico de decisiones

Se utilizó el flujograma de preguntas del diagrama de decisión de la norma SAE JA1012, el cual se muestra en la figura 3.1.

Para resolver las interrogantes que propone el diagrama, se aplicaron entrevistas con el personal de mantenimiento y reuniones con el Equipo natural de trabajo, y así llegar a la acción más satisfactoria. El estudio consistió en realizarle las preguntas a cada modo de falla, siguiendo el flujograma hasta tener una respuesta determinante, es decir tener una acción a implementar, para luego asentar los resultados de cada modo de falla.

Para asentar los datos reflejados por el flujograma de preguntas, se utilizó una hoja de decisión de elaboración propia.

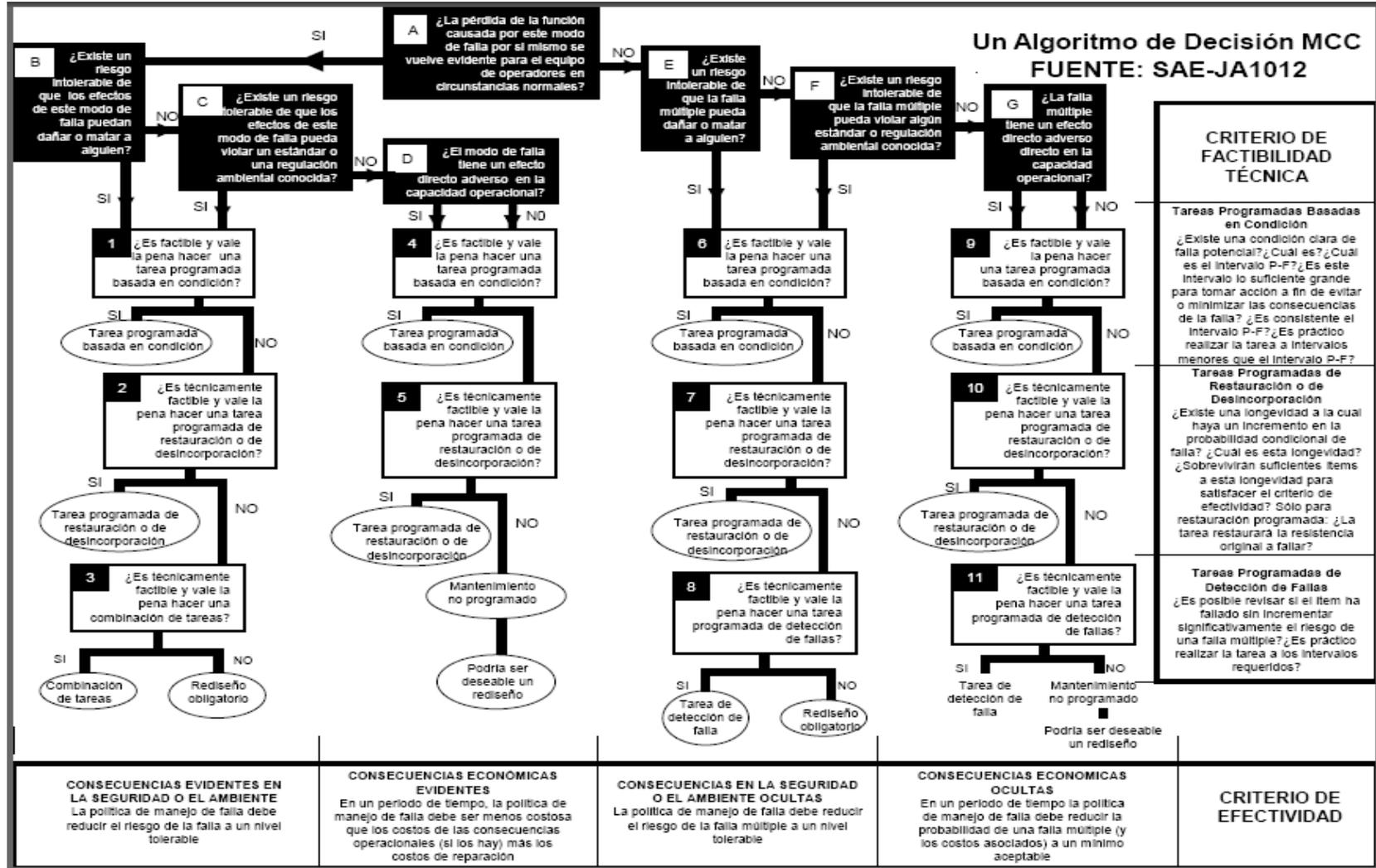


Figura 2.6. Árbol lógico de decisiones RCM II
Fuente: Norma SAE JA1012

3.5 Procedimiento metodológico para el logro de los objetivos

Para desarrollo del proyecto en búsqueda de la solución adecuada y satisfactoria al problema planteado y cumplir con los objetivos propuestos se realizaron las etapas que se describen a continuación.

3.5.1 Descripción del contexto operacional de la planta compresora de gas Santa Ana III

Esta etapa contó con la utilización de varias técnicas y sub etapas (fases), las cuales nos ayudaron a describir el contexto operacional de la Planta. La primera fase se basó en la recolección de datos e información en las superintendencias de operaciones y mantenimiento. Se hizo una búsqueda de los datos técnicos y de proceso de los equipos mediante los manuales de los fabricantes y los de PDVSA GAS.

La segunda fase consistió en realizar visitas al área de procesos, para así determinar el estado de los equipos. Mediante observación directa se logró conocer el estado externo de los equipos, se consiguió tocar y escuchar los equipos para determinar cualquier anomalía presente. Se tomaron mediciones parámetros que se usaron para la realización de un diagrama de procesos y fichas técnicas de los equipos más relevantes dentro del proceso de compresión del gas.

3.5.2 Jerarquizar las fallas de las unidades motocompresoras de la Planta Compresora de Gas Natural Santa Ana III mediante el análisis de Pareto.

Esta etapa consistió en jerarquizar los componentes de los equipos asociados al estudio, para así enfocar e intensificar los estudios hacia los componentes que lo

ameriten. Esta jerarquización propició al Equipo de Trabajo a seleccionar los equipos relevantes del sistema.

Se utilizó la metodología de Diagrama de Pareto para determinar los sistemas con mayor criticidad, esta técnica se basa en que el 80% de los efectos es producido por el 20% de las causas, dirigiendo el estudio a aquellos sistemas con el mayor número de fallas presentadas.

3.5.3 Realizar un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) a las unidades motocompresoras de la planta compresora de gas Natural Santa Ana III.

Una vez determinados los equipos y componentes críticos del sistema, se le aplicó el Análisis de Modos y Efecto de Fallas, el cual consistió en determinar las funciones, las fallas de las funciones, las causas y las consecuencias de las fallas. Para el desenvolvimiento de esta etapa se utilizaron técnicas de revisión bibliográfica y entrevistas con el personal.

Los manuales de fabricantes, manuales de Operaciones de la Planta Compresión Santa Ana III, Internet y libros técnicos fueron las referencias revisadas, para indagar sobre las interrogantes que propicia el AMEF.

Las entrevistas con el personal formaron parte fundamental de esta etapa y el desarrollo del trabajo, se hicieron de manera directa, en el área de procesos, el taller de mantenimiento y área de oficinas. Las entrevistas se realizaron al personal de mantenimiento operacional, el Equipo Natural de Trabajo y personal de mayor experiencia.

Para asentar los resultados del AMEF se creó una hoja de información adaptada a la planta de Compresión Santa Ana III, basada en la propuesta de Hoja De

Información de la Norma SAE JA1012, con la finalidad de mejorar la identificación del los componentes objeto de estudio, cumpliendo normalmente con los requisitos que amerita la aplicación del AMEF.

3.5.4 Aplicar el árbol lógico de decisión para la selección de las tareas de mantenimiento más adecuadas a las unidades motocompresoras de la planta compresora de gas natural Santa Ana III, según lo establecido en la metodología MCC.

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. La técnica empleada fue las reuniones con el Equipo Natural de Trabajo y entrevistas constante con el personal de experiencia.

Se llevaron a cabo dos fases: la primera consistió en someter a cada modo de falla al flujograma de preguntas del Árbol Lógico de decisiones, 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 de adaptación propia.

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.

3.5.5 Elaborar el plan de mantenimiento de las unidades motocompresoras de la planta compresora de gas natural Santa Ana III, aplicando la metodología MCC.

El desarrollo de esta etapa se llevó a cabo con la finalidad de crear una herramienta que le facilite a los trabajadores obtener una información clara y precisa sobre el mantenimiento en cada situación que se presente, es decir las actividades propuestas se realizaron de acuerdo al tiempo establecido, mediante los manuales del fabricante y la ayuda del ENT.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Equipo natural de trabajo

Para la resolución del trabajo se creó un equipo natural de trabajo, el cual tuvo reuniones constantes, donde se producía una tormenta de ideas hasta llegar a la solución más adecuada al problema. En la figura 4.1 se muestra como estaba integrado el ENT.

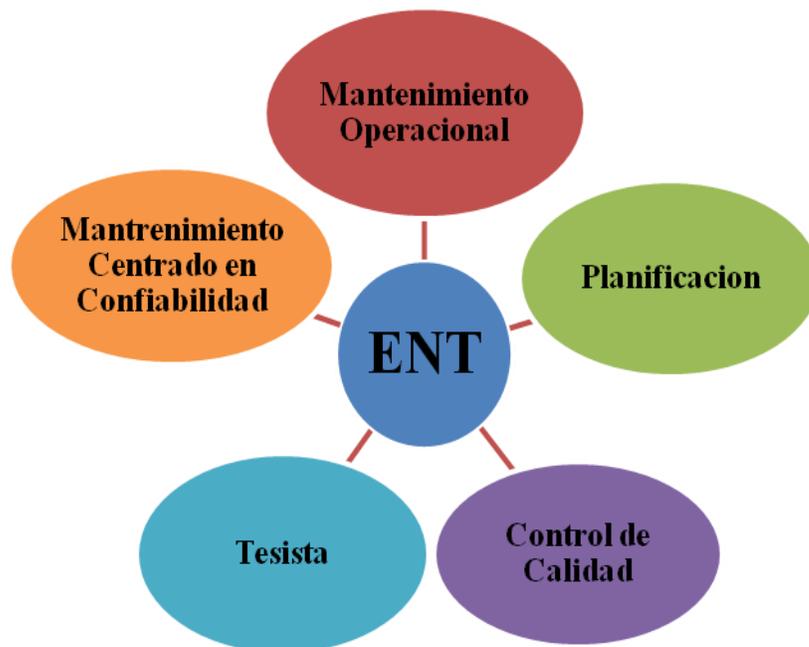


Figura 4.1. Conformación del ENT
Fuente: El autor (2015)

4.2 Descripción del contexto operacional de la planta compresora de gas natural Santa Ana III

4.2.1 Planta compresora Santa Ana III

La Planta San Ana III fue construida en el mes de septiembre del año de 1.979 a un costo de 40.000.000 millones de bolívares, su principal objetivo es elevar la presión del Gas Natural desde los niveles de 60, 250 y 800 PSI provenientes de las diversas estaciones de producción asociadas a la planta; hasta 1.200 PSI y posteriormente enviar el gas comprimido a San Joaquín Booster y posteriormente hacia la Planta de Extracción de Líquidos de Gas Natural San Joaquín. Esta planta consta de tres unidades motocompresoras las cuales generan una potencia instalada de 10.200 BHP, una capacidad para 110.0 MMPCND, una producción asociada de 3.300 BPD y LGN de 8.250 BPD.

Esta planta se alimenta de la Estación de Descarga Santa Ana III (SAED-3) (Nivel de 800, 250, 60 PSI), Estación de Descarga Santa Ana II (SAED-2) (Nivel 250, 60 PSI) y Estación de Flujo Santa Ana I (SAEF-1) (Nivel 250 PSI) proveniente del campo.

La Planta consta de tres unidades motocompresoras (K1,K2 y K3), de los cuales se encuentra fuera de servicio el K1, estando en funcionamiento el K2 y el K3. Se encuentran instalados tres (3) depuradores (Nivel 800 PSI, nivel 250 PSI y nivel 60 PSI) los cuales se encuentran operativos, tres enfriadores inter-etapas; uno para cada motocompresor.

En la Planta se lleva a cabo mantenimiento de tipo preventivo y correctivo a las unidades motocompresoras, mientras que a los depuradores se le realiza

mantenimiento de tipo predictivo con el fin de determinar el porcentaje de pérdida de espesor.

Las operaciones se llevan a cabo las veinticuatro horas del día, distribuidas por tres turnos de trabajo. El personal requerido por cada turno es de dos operadores.

4.2.2 Descripción del proceso

El gas proveniente de la Estación de Descarga Santa Ana III y Estación de Flujo Santa Ana I forman parte de las entradas de la Planta Compresora Santa Ana III. El proceso de compresión en la planta se realiza por etapa, como se describe a continuación:

- Primera etapa de 60 PSI: el gas proveniente del nivel de 60 PSI llega a la planta por medio de una tubería de 20” para luego pasar por el depurador E-785 para remover cierta cantidad de condensado que la corriente pudo arrastrar desde la estación. El gas que sale del depurador es succionado por el cilindro compresor de la primera etapa (cilindro compresor 1 nivel 60 PSI – 250 PSI) y es comprimido de 60 a 250 PSI, luego es enviado al enfriador para posteriormente ser pasado al cabezal de descarga de 250 PSI.
- Segunda etapa de 250 PSI: el gas de 250 PSI proveniente del cabezal de descarga se une con el gas que viene a la planta por medio de la tubería de 14” para luego pasar por el depurador E-786; el gas de salida es succionado por dos cilindros compresores (2 y 3) de la segunda etapa, elevando la presión a 800 PSI, luego es enviado al enfriador para disminuir su temperatura y posteriormente ser enviado al cabezal de descarga de 800 PSI.

- Tercera etapa de 800 PSI: el gas de 800 PSI del cabezal de descarga correspondiente a este nivel se une con el gas proveniente de las estaciones a 800 PSI y es enviado hacia el depurador E-787, donde se obtiene una corriente de gas que es succionado por el cuarto cilindro compresor que constituye la presión de descarga de 1200 PSI, descargándola por una línea de 20" al gaseoducto para ser enviada a la Planta de Extracción San Joaquín.

A continuación, se muestra en las figuras 4.2 y 4.3 un diagrama Entrada Proceso Salida (EPS) y un esquema simplificado del proceso de compresión del gas natural, respectivamente.

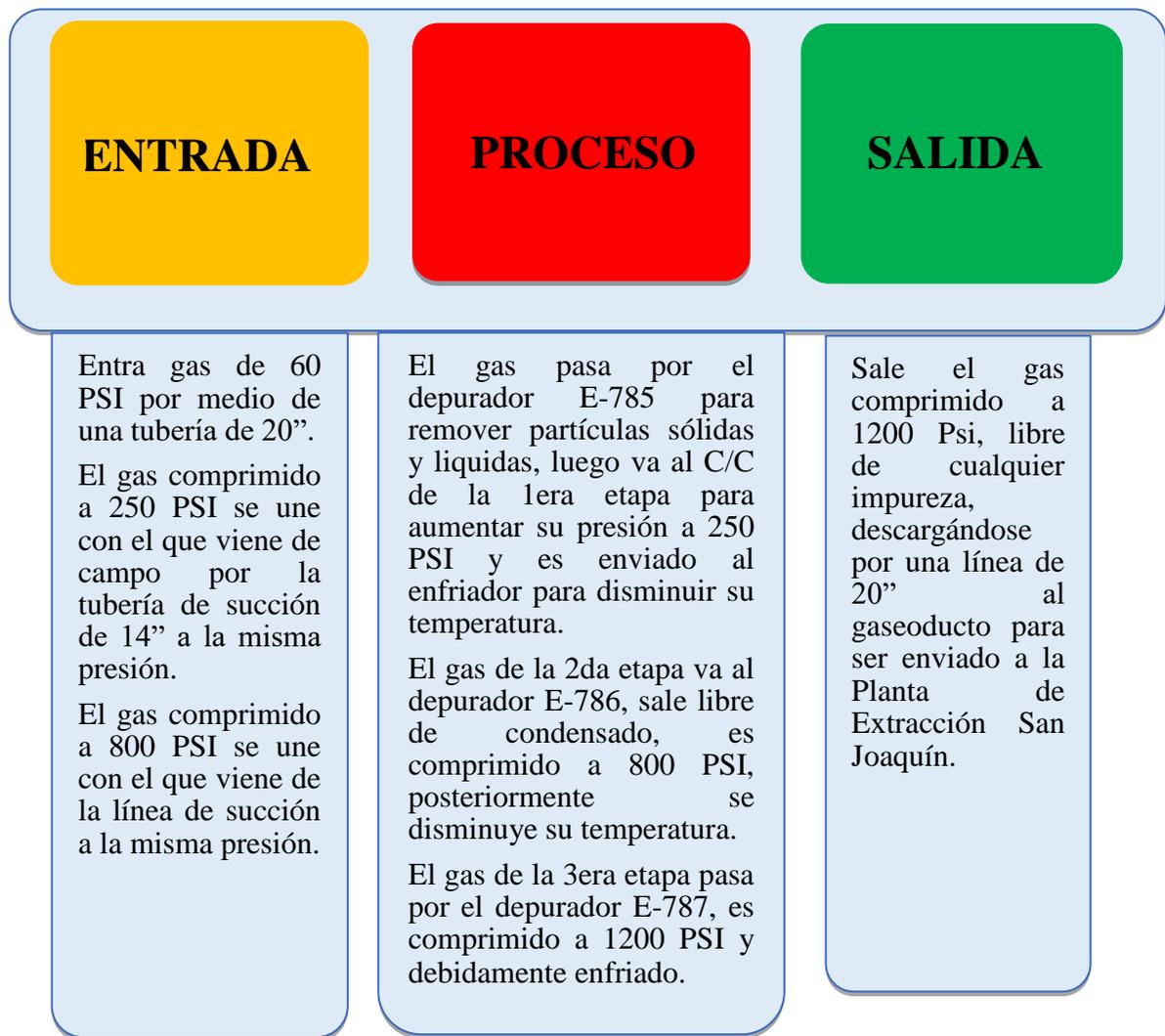


Figura 4.2. Diagrama entrada proceso salida de la PCSAIII

Fuente: el autor (2015)

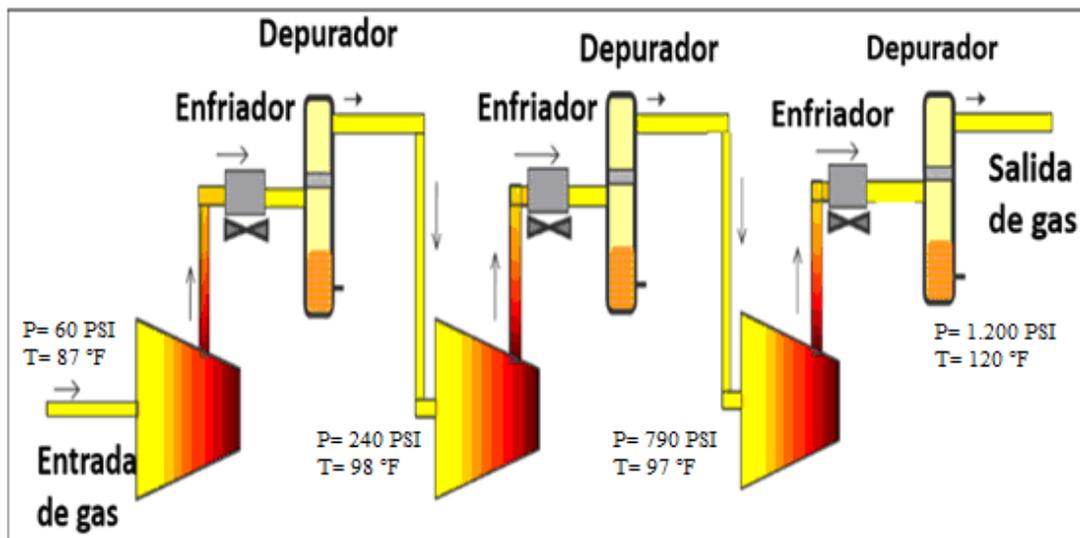


Figura 4.3. Diagrama simplificado del proceso de compresión del gas
Fuente: el autor (2015)

4.2.3 Descripción de los sistemas que componen la planta compresora de gas natural Santa Ana III

- Sistema de Compresión

Este sistema está comprendido de cuatro cilindros compresores por cada motocompresor. El cilindro compresor está constituido por un pistón que se ajusta a las paredes del mismo con tolerancias del orden de las centésima o milésima de pulgada, el pistón está accionado por un vástago, el cual a su vez está conectado al cigüeñal, que controla la dirección del movimiento del pistón compresor durante el ciclo de compresión. Todo el cilindro se encuentra dentro de una camisa por la cual circula agua de enfriamiento, permitiendo mantener la temperatura de los materiales en un rango aceptable. Finalmente en la parte posterior del cilindro y sobre el vástago se encuentra la caja de empacaduras la cual sirve para aislar al cilindro exterior. En la tabla 4.1 se puede observar el sistema de compresión que conforma la planta compresora en estudio su ficha técnica correspondiente.

Tabla 4.1. Ficha técnica del sistema de compresión de la planta compresora de gas Santa Ana III

Parámetros	Etapa I	Etapa II	Etapa III
Carrera de la Barra (PULG)	19	19	19
Diámetro de la Barra (PULG)	4	4	4
RPM	300	300	300
Diámetro del Cilindro (PULG)	23	13,5	11
Presión de Succión (PSIG)	60	240	790
Presión de Descarga (PSIG)	240	790	1200
Temperatura de Succión (°F)	87	98	97

Fuente: El autor (2014)

- Sistema de Depuración

Es un separador cuya función básica es remover las partículas e impurezas líquidas y sólidas que arrastra el gas. Se encuentran instalados en las plantas compresoras, donde por efectos de la variación de temperatura en el transporte del gas o ineficiencia en la separación del mismo ocurren estos factores. En cada etapa de compresión del motocompresor hay un depurador para eliminar los líquidos condensados que se generan luego que el gas comprimido sale del sistema de enfriamiento para pasar a su siguiente etapa sin porcentaje de líquido y no dañar los cilindros compresores.

Los depuradores de todos los niveles tienen como línea de salida, caída en forma de cascada por nivel, es decir, es descendente. El condensado del depurador de 800 Psi entra al depurador de 250 Psi y por último el condensado de este nivel va al depurador del nivel más bajo de 60 Psi, el cual tiene como salida un condensado que es enviado a la Estación de Descarga Santa Ana III. En la figura 4.4 y tabla 4.2 se puede observar el sistema de depuración que conforma la planta compresora en estudio su la ficha técnica correspondiente.



Figura 4.4. Sistema de depuración de la PCSAIII
Fuente: El autor 2014

Tabla 4.2. Ficha técnica del sistema de depuración de la PCSAIII

Equipo	Depuradores		
Etapa	Primera	Segunda	Tercera
Presión de Operación (Psi)	76,70	269,70	714,70
Max. Presión de Operación (Psi)	125	300	900
Temperatura (°F)	93	90	95
Flujo de Gas (MMPCGD)	5,10	12,90	14,70
Diámetro del Recipiente (Pies)	18	19	18
Diámetro de la Boq. Ent. (Pulg)	18	18	14
Fabricante	PEARLESS MEG.	PEARLESS MEG.	PEARLESS MEG.
Modelo	13-366	13-372	13-366

Fuente: El autor 2015

- Sistema de Enfriamiento

El proceso de compresión está asociado a incrementos en la temperatura del gas, es por esto que después de una etapa de compresión es necesario el enfriamiento del mismo. Una vez que el gas es comprimido en los cilindros compresores, es

enviado al sistema de enfriamiento a través de las líneas de descarga de cada etapa, luego que el gas ha sido enfriado y regulado su temperatura pasa a la siguiente etapa de compresión, no sin antes pasar por el depurador correspondiente.

Existe un enfriador para cada motocompresor, la máxima temperatura de entrada a los enfriadores es de 120 °F. En la figura 4.5 se puede observar el sistema de enfriamiento que conforma la planta compresora para cada motocompresor.



Figura 4.5. Enfriador por aire de tiro forzado
Fuente: El autor 2015

- Sistema Contra Incendio (S.C.I)

Es un sistema de mitigación de incendios integrado principalmente por bombas, extintores de polvo químico seco, cilindros de CO₂, monitores e hidrantes.

- Sistema de Descarga de Líquidos (S.D.L.)

Es utilizado para el despacho de los líquidos separados del gas antes y después de la compresión. Lo conforman Depuradores, Válvulas de Despacho de Líquidos y líneas de despacho hacia estaciones y fosas.

- Sistema de suministro de aire de instrumentos y servicios

Está conformado por compresores de aire, pulmones de almacenamiento y líneas de interconexión con la función de proveer aire para el sistema de arranque de los motores y el sistema de aire de instrumentos.

- Sistema de Alivio y Venteo

Permite mantener la presión de succión en un nivel de seguridad permitido, desviando los volúmenes excedentes de gas al Flare. Está conformado por válvulas de alivio, válvulas de seguridad, Cabezales de recolección, Mechurrios, estaca de venteo, un Separador KOD, tanque y bomba de condensado.

Estas tuberías se encuentran interconectadas que envían el gas no usado en la planta hacia un mechurrio donde se quema de manera segura, también envía el gas que queda depositado en los equipos, cuando hay una parada de planta, a unos tubos que expulsan el gas a la atmosfera.

Cada motocompresor tiene su tubería de venteo; las válvulas de seguridad ubicadas en la descarga de las etapas se comunican por medio de un niple a dicha tubería de venteo general con el fin de aliviar las altas presiones de descarga.

- Sistema de Gas Combustible (S.G.C.).

El sistema de gas combustible está conformado por depuradores que son alimentados por gas proveniente de las estaciones. Es usado por los motocompresores para llevar a cabo el proceso de combustión y a su vez le da movimiento al cigüeñal del compresor.

4.3 Jerarquización de las fallas de los motocompresores de la planta compresora de gas Santa Ana III

En esta etapa se investigó, recopiló y analizó las fallas presentadas por los equipos Motocompresores Clark TLA-10 durante el año 2013, excepto el motocompresor K1 que se encuentra en mantenimiento mayor desde el año 2008 y solo se analizó las fallas presentadas durante su último año de operación.

A continuación se muestran las fallas que presentaron los motocompresores en estudio:

4.3.1 Fallas del motocompresor K1

En la tabla 4.3 se muestran las fallas presentadas por el motocompresor K1 durante el año 2008.

Tabla 4.3. Fallas del motocompresor K1

Fecha/H paro	Fecha/H Arranque	Tfs (Hrs:min)	Tfs (Hrs)	Tef (Hrs:min)	Tef (Hrs)	To (Hrs)	Observaciones	Sistema
5/1/08 9:30	5/1/08 12:40	3:10	3,17	240:50	240,83	235,59	Alta temperatura C/C N° 1	Enfriamiento
8/1/08 12:00	8/1/08 14:20	2:20	2,33	74:30	74,50	71,33	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
22/1/08 10:00	22/1/08 13:10	3:10	3,17	190:00	190	187,67	Golpeteo C/C N° 2	Compresión
3/2/08 7:30	3/2/08 11:00	3:30	3,50	285:30	285,50	282,33	Bajo nivel del Carter	Lubricación
11/2/08 10:40	11/2/08 13:50	3:10	3,17	195:10	195,17	191,67	Fuga de agua C/C N° 2	Enfriamiento
20/2/08 15:00	20/2/08 17:15	2:15	2,25	220:20	220,33	217,16	Golpeteo C/C N° 2	Compresión
15/3/08 1:00	19/3/08 13:20	108:20	108,33	106:00	106	103,75	Vibración del ventilador	Enfriamiento
28/3/08 10:15	29/3/8 9:20	23:05	23,08	321:15	321,25	212,92	Alta temperatura C/C N° 2	Enfriamiento
5/4/08 12:20	5/4/08 14:00	1:40	1,67	194:20	194,33	171,25	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
17/4/08 9:30	17/4/08 12:00	2:30	2,50	285:10	285,17	283,50	Alta temperatura C/C N° 4	Enfriamiento
27/4/08 13:10	27/4/08 15:00	1:50	1,83	243:40	243,67	241,17	Alta temperatura C/C N° 2	Enfriamiento
19/5/08 10:00	19/5/08 11:30	1:30	1,50	195:10	195,17	193,34	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración

Fuente: Indicadores gerencia de mantenimiento Operacional

Continuación, Tabla 4.3. Fallas del motocompresor K1

Fecha/H paro	Fecha/H Arranque	Tfs (Hrs:min)	Tfs (Hrs)	Tef (Hrs:min)	Tef (Hrs)	To (Hrs)	Observaciones	Sistema
20/5/08 15:20	20/5/08 17:30	2:10	2,17	29:20	29,33	27,83	Bajo nivel de agua	Enfriamiento
12/6/08 17:00	15/6/08 14:30	69:30	69,50	526:40	526,67	524,50	Preventivo	
20/6/08 8:00	20/6/08 12:10	4:10	4,17	183:00	183	113,50	Alta temperatura C/C N° 1	Enfriamiento
25/6/08 11:45	25/08/08 15:00	3:15	3,25	123:45	123,75	119,58	Bujías	Ignición
20/7/08 11:00	20/7/08 12:30	1:30	1,50	559:15	559,25	556	Baja presión de aceite	Lubricación
N° Total de Paros	17							
Total Horas de Paro	237:05=237,08							
Paros por Preventivo	1							
Horas Preventivo	69:30=69,50							
Horas de Paro del Equipo	167:35=167,58							

Fuente: Indicadores Gerencia de Mantenimiento Operacional

Partiendo de la tabla 4.3 se agrupó las fallas de acuerdo a su sistema, con el propósito de contabilizarlas y conocer cual sistema causó mayor número de paradas en el equipo. En la tabla 4.4 se muestra la descripción y en la figura 4.6 se muestra gráficamente.

Tabla 4.4. Resumen de fallas según el sistema del K1

Sistemas	N° de Paros	Hrs de Paros	% N° de Paros	% Acumulado
Enfriamiento	8	148,42	50%	50%
Depuración	3	5,50	18,75%	68,75%
Compresión	2	5,42	12,50%	81,25%
Lubricación	2	5,00	12,50%	93,75%
Ignición	1	3,25	6,25%	100%
Gas Combustible	0	0	0,00%	100%
Fuerza	0	0	0.00%	100%
Monitoreo y Control	0	0	0.00%	100%
Admisión	0	0	0.00%	100%
Arranque	0	0	0.00%	100%
Escape	0	0	0.00%	100%
	16	167,58	100%	

Fuente: El autor (2015)

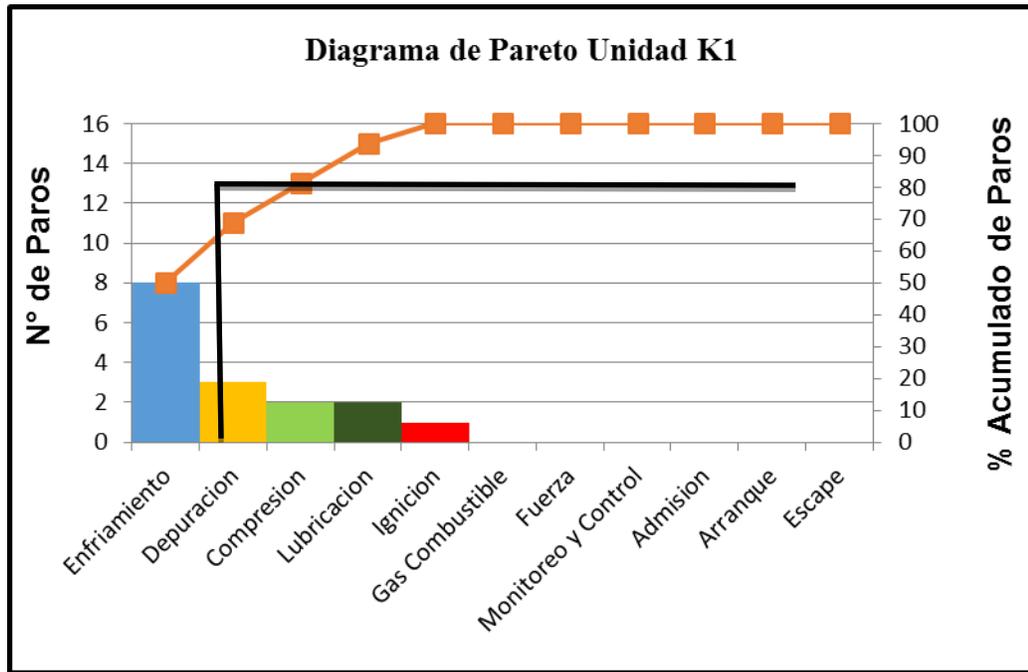


Figura 4.6. Fallas según el sistema del K1
Fuente: El autor (2015)

El diagrama de Pareto es una herramienta que permite enfocar el análisis a los sistemas que mayor número de fallas han presentado, cuyo principio establece que el 20% de las causas totales originan el 80% de los efectos. Según los datos suministrados por la Gerencia de Mantenimiento Operacional se concluye que el motocompresor K1 presentó numerosos problemas en su sistema de enfriamiento, debido a que en este periodo de tiempo las fallas más comunes fueron en sistema de Enfriamiento con un 50%, Depuración 18,75%, Compresión 12,50%.

4.3.2 Fallas del motocompresor K2

En la tabla 4.5 se exponen los datos de las fallas presentadas por el motocompresor K2 durante el año 2013, suministrados por la Gerencia de Mantenimiento Operacional.

Tabla 4.5. Fallas del Motocompresor K2

Fecha/H paro	Fecha/H Arranque	Tfs (Hrs:min)	Tfs (Hrs)	Tef (Hrs:min)	Tef (Hrs)	To (Hrs)	Observaciones	Sistema
4/1/13 14:30	4/1/13 15:30	0:50	0,83	30:00	30	30	Alta temperatura de agua	Enfriamiento
5/1/13 8:00	5/1/13 9:30	1:30	1,50	18:30	18,5	17,67	Alta temperatura C/C N° 1	Enfriamiento
10/1/13 11:35	10/1/13 17:00	5:25	5,42	123:35	123,58	122,08	Fuga de compresión C/C N° 2	Compresión
13/1/13 10:00	13/1/13 16:30	6:30	6,50	70:25	70,42	65	Fuga de compresión C/C N°2	Compresión
24/1/13 14:10	24/1/13 18:15	4:05	4,08	268:10	268,17	261,67	Fuga Valv. Inyección Gas Combustible C/F N° 4	Gas Combustible
5/2/13 14:30	6/2/13 10:00	19:30	19,50	288:20	288,33	284,25	Fuga de aceite C/C N° 4	Lubricación
10/2/13 13:00	11/2/13 11:00	22:00	22,00	118:30	118,50	99	Ruido en la botella de succión C/C N° 1	Compresión
17/2/13 11:20	17/2/13 2:30	3:10	3,17	165:40	165,67	143,67	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
19/2/13 9:00	19/2/13 11:30	2:30	2,50	45:40	45,67	42,50	Bujías	Ignición
22/2/13 14:00	22/2/13 18:00	4:00	4,00	67:00	67	64,50	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
25/2/13 7:00	25/2/13 12:00	5:00	5,00	65:00	65	61	Fuga de compresión C/C N° 2	Compresión
2/3/13 16:00	2/3/13 19:00	3:00	3,00	129:00	129	124	Bajo nivel de agua	Enfriamiento

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.5. Fallas del Motocompresor K2

Fecha/H paro	Fecha/H Arranque	Tfs (Hrs:min)	Tfs (Hrs)	Tef (Hrs:min)	Tef (Hrs)	To (Hrs)	Observaciones	Sistema
10/3/13 13:20	10/3/13 17:35	4:15	4,25	21:20	21,33	18,33	Bajo nivel de aceite en el compresor	Lubricación
17/3/13 9:20	17/3/13 16:20	7:00	7,00	20:00	20	15,75	Fuga en los C/C N° 6 y 7	Compresión
23/3/13 20:20	25/3/13 17:00	44:40	44,67	155:00	155	148	Preventivo	
24/4/13 9:00	24/4/13 18:30	9:30	9,50	762:40	762,67	718	Fuga de gas C/C N° 4	Compresión
22/5/13 10:00	22/5/13 17:15	7:15	7,25	673:00	673	663,50	Fuga de gas C/C N° 4	Compresión
12/6/13 20:00	12/6/13 23:00	3:00	3,00	514:00	514	506,75	Baja presión de agua	Enfriamiento
30/6/13 17:25	30/6/13 21:00	3:35	3,58	429:35	429,58	426,58	Alta temperatura en los cilindros de fuerza	Enfriamiento
8/7/13 18:00	8/7/13 20:00	2:00	2,00	192:45	192,75	189,17	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
17/7/13 13:00	17/7/13 15:20	2:20	2,33	211:00	211	209	Bujías	Ignición
7/8/13 14:15	7/8/13 /17:00	2:45	2,75	505:15	505,25	502,92	Alta temperatura C/C N° 3	Enfriamiento
12/8/13 10:00	12/8/13 12:15	2:15	2,25	115:45	115,75	113	Alta temperatura de agua	Enfriamiento
27/8/13 13:15	27/8/13 15:00	1:45	1,75	363:15	363,25	361	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
4/9/13 17:30	4/9/13 18:30	1:00	1,00	196:15	196,25	194,50	Alta temperatura de agua	Enfriamiento

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.5. Fallas del Motocompresor K2

Fecha/H paro	Fecha/H Arranque	Tfs (Hrs:min)	Tfs (Hrs)	Tef (Hrs:min)	Tef (Hrs)	To (Hrs)	Observaciones	Sistema
6/9/13 12:30	6/9/13 13:40	1:10	1,17	43:00	43	42	Alta temperatura de agua	Enfriamiento
13/9/13 13:00	13/9/13 22:30	9:30	9,50	168:30	168,50	167,33	Bajo nivel de agua	Enfriamiento
17/9/13 10:00	17/9/13 11:20	1:20	1,33	93:00	93	83,50	Baja presión de gas combustible	Compresión
25/9/13 17:20	25/9/13 18:00	0:40	0,67	199:20	199,33	198	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
29/9/13 12:30	29/9/13 13:20	0:50	0,83	90:50	90,83	90,16	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
8/10/13 18:00	15/10/13 20:00	2:00	2,00	245:30	245,50	244,67	Alta temperatura de agua	Enfriamiento
15/10/13 10:00	15/10/13 16:30	6:30	6,50	160:00	160	158	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
26/10/13 9:30	26/10/13 13:30	4:00	4,00	263:30	263,50	257	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
2/11/13 12:30	2/11/13 14:00	1:30	1,50	171:00	171	167	Bujías	Ignición
9/11/13 15:30	9/11/13 16:20	0:50	0,83	171:00	171	169,50	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
13/11/13 10:00	13/9/13 11:40	1:40	1,67	90:30	90,50	89,67	Alta temperatura de agua	Enfriamiento
18/11/13 20:00	19/11/13 10:00	14:00	14,00	130:00	130	128,33	Bajo nivel de agua	Enfriamiento
25/11/13 10:00	25/11/13 11:15	1:15	1,25	158:00	158	144	Baja presión de gas combustible	Compresión

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.5. Fallas del Motocompresor K2

Fecha/H paro	Fecha/H Arranque	Tfs (Hrs:min)	Tfs (Hrs)	Tef (Hrs:min)	Tef (Hrs)	To (Hrs)	Observaciones	Sistema
4/12/13 9:30	4/12/13 12:00	2:30	2,50	215:30	215,50	214,25	Alta temperatura de agua	Enfriamiento
8/12/13 11:00	8/12/13 1:20	2:20	2,33	97:30	97,50	95	Bujías	Ignición
14/12/13 13:20	14/12/13 14:30	1:10	1,17	146:20	146,33	144	Alta temperatura de agua	Enfriamiento
15/12/13 7:00	15/12/13 9:40	2:40	2,67	17:40	17,67	16,50	Fuga de gas C/C N° 2	Compresión
20/12/13 15:40	20/12/13 18:00	2:20	2,33	128:40	128,67	126	Bajo nivel de agua	Enfriamiento
29/12/13 16:00	29/12/13 20:00	4:00	4,00	216:20	216,33	214	Fuga de gas C/C N° 1	Compresión
N° Total de Paros	44							
Total Horas de Paro	229:05=229,08							
Paros por Preventivo	1							
Horas Preventivo	44:40=44,67							
Horas de Paro del Equipo	184,41							

Fuente: El autor (2015)

En la tabla 4.6 se exponen de manera resumida las fallas presentadas por el motocompresor K2, donde se evidencia que presenta mayor fallas en los sistemas de enfriamiento, ignición y compresión. A continuación en la figura 4.7 se muestra el diagrama de Pareto de fallas.

Tabla 4.6. Resumen de fallas según el Sistema del K2

Sistemas	N° de Paros	Hrs de Paros	% N° de Paros	% Acumulado
Enfriamiento	16	52,25	37,21%	37,21%
Compresión	11	71,92	25,58%	62,79%
Depuración	9	23,75	20,93%	83,72%
Ignición	4	8,66	9,30%	93,02%
Lubricación	2	23,75	4,65%	97,67%
Gas Combustible	1	4,08	2,33%	100%
Fuerza	0	0	0%	100%
Monitoreo y Control	0	0	0%	100%
Admisión	0	0	0%	100%
Arranque	0	0	0%	100%
Escape	0	0	0%	100%
	43	184,41	100%	

Fuente: El autor (2015)

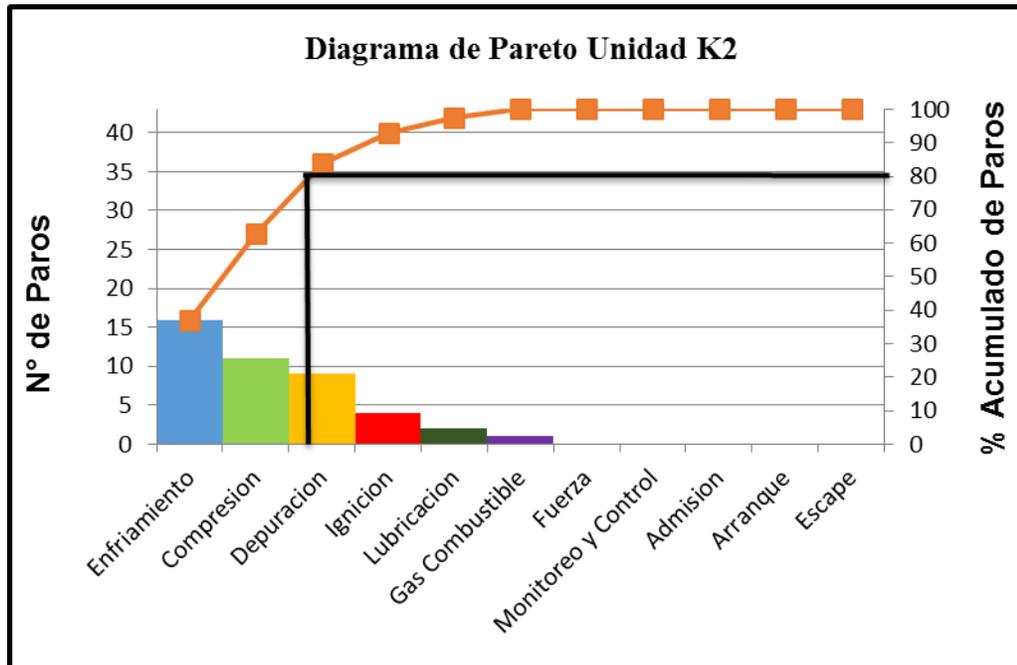


Figura 4.7. Fallas según el Sistema del K2

Fuente: El autor (2015)

De acuerdo a los resultados obtenidos en la figura 4.7, este es el equipo que ha presentado el mayor número de fallas con un total de 43 paros al año, siendo el sistema de enfriamiento con el mayor número de fallas registradas con 37,21%, Compresión 22,58% y Depuración 20,93%.

4.3.3 Fallas del motocompresor K3

En la tabla 4.7 se exponen los datos de las fallas presentadas por el motocompresor K3 durante el año 2013.

Tabla 4.7. Fallas del Motocompresor K3

Fecha/H paro	Fecha/H Arranque	Tfs (Hrs:min)	Tfs (Hrs)	Tef (Hrs:min)	Tef (Hrs)	To (Hrs)	Observaciones	Sistema
7/1/13 11:30	7/1/13 3:00	3:30	3,50	216:15	216,25	210	Fuga compresión C/F N°8	Compresión
16/1/13 10:40	16/1/13 13:10	2:30	2,5	216:50	216,83	213,13	Atascamiento de la bomba prelubricadora	Lubricación
28/1/13 15:15	28/1/13 17:00	1:45	1,75	292:35	292,38	289,88	Fuga compresión C/F N°8	Compresión
5/2/13 19:50	5/2/13 20:30	0:40	0,67	196:35	196,38	194,63	Alta temperatura C/C N° 1	Enfriamiento
6/2/13 1:00	6/2/13 2:00	1:00	1	5:10	5,17	4,50	Alta temperatura C/C N° 1	Enfriamiento
15/2/13 9:00	15/2/13 11:00	2:00	2	224:00	224	223	Bujías	Ignición
28/2/13 14:00	28/2/13 16:20	2:20	2,33	317:00	317	315	Fuga de compresión C/C N° 3	Compresión
5/3/13 9:40	5/3/13 12:00	2:20	2,33	115:40	121,67	119,34	Fuga de agua C/F N° 7	Enfriamiento
18/3/13 10:10	18/3/13 14:20	4:10	4,17	312:30	312,50	310,17	Fuga de gas C/C N° 1 y 3	Compresión
27/3/13 12:20	27/3/13 15:00	2:40	2,67	218:10	218,17	214	Baja compresión C/F N° 8	Compresión
15/4/13 14:30	15/4/13 18:05	3:35	3,58	458:10	458,17	455,50	Fuga aceite C/C N° 1	Lubricación

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.7. Fallas del Motocompresor K3

Fecha/H paro	Fecha/H Arranque	Tfs (Hrs:min)	Tfs (Hrs)	Tef (Hrs:min)	Tef (Hrs)	To (Hrs)	Observaciones	Sistema
17/4/13 10:00	17/4/13 14:00	4:00	4	43:30	43,50	39,92	Alta temperatura C/C N° 1	Enfriamiento
20/4/13 13:00	20/4/13 13:40	0:40	0,67	75:00	75	71	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
23/4/13 17:00	23/4/13 18:00	1:00	1	76:00	76	75,33	Alta temperatura de agua	Enfriamiento
27/4/13 15:30	27/4/13 17:00	1:30	1,5	94:30	94,50	93,50	Baja presión de gas combustible	Gas combustible
4/5/13 10:30	4/5/13 11:50	1:20	1,33	163:00	163	161,50	Alta temperatura de agua	Enfriamiento
12/5/13 11:20	12/5/13 14:20	3:00	3	192:50	192,83	191,5	Perdida de potencia	Ignición
20/6/13 12:00	20/6/13 12:45	0:45	0,75	936:40	936,67	933,67	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
23/6/13 13:15	23/6/13 15:15	2:00	2	73:15	73,25	72,5	Bujías	Ignición
25/6/13 17:20	25/6/13 20:20	3:00	3	28:05	28,08	26,08	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
4/7/13 16:30	5/7/13 8:30	16:00	16	215:10	215,17	212,17	Bajo nivel de agua	Enfriamiento
20/7/13 9:30	20/7/13 11:30	2:00	2	377:00	377	361	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
15/8/13 10:00	15/8/13 12:00	2:00	2	624:30	624,50	622,50	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
20/8/13 14:00	20/8/13 16:00	2:00	2	124:00	124	122	Fuga de gas C/C N° 3	Compresión

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.7. Fallas del Motocompresor K3

Fecha/H paro	Fecha/H Arranque	Tfs (Hrs:min)	Tfs (Hrs)	Tef (Hrs:min)	Tef (Hrs)	To (Hrs)	Observaciones	Sistema
24/8/13 10:30	24/8/13 11:00	0:30	0,50	92:30	92,50	90,50	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
2/9/13 7:00	2/9/13 11:00	4:00	4,00	213:30	213,50	213	Fuga de gas C/C N° 1	Compresión
6/9/13 15:00	6/9/13 18:30	3:30	3,50	104:00	104	100	Alta temperatura C/C N° 1	Enfriamiento
25/9/13 8:00	27/9/13 10:00	50:00	50	451:00	451	447,50	Preventivo	
6/10/13 10:20	8/10/13 14:40	52:20	52,33	266:20	266,33	216,33	Reemplazo C/C N° 1	Compresión
29/10/13 12:00	29/10/13 16:15	4:15	4,25	553:40	553,67	501,34	Alta temperatura C/C N° 1	Enfriamiento
3/11/13 14:10	3/11/13 18:00	3:50	3,83	122:10	122,17	117,92	Baja presión de aceite	Lubricación
15/11/13 15:00	16/11/10:30	19:30	19,50	289:00	289	284,17	Fuga de gas C/C N° 1	Compresión
7/12/13 17:00	7/12/13 18:15	1:15	1,25	530:00	530	510,50	Bajo nivel de agua	Enfriamiento
10/12/13 10:00	10/12/13 11:00	1:00	1	65:00	65	63,75	Bujías	Ignición
12/12/13 17:20	12/12/13 18:00	0:40	0,67	55:20	55,33	54,33	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
15/12/13 10:30	15/12/13 12:40	2:10	2,17	64:50	64,83	64,16	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración
16/12/13 16:00	16/12/13 17:00	1:00	1	17:30	17,50	15,33	Alto nivel de líquido depurador 3era etapa	Depuración

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.7. Fallas del Motocompresor K3

Fecha/H paro	Fecha/H Arranque	Tfs (Hrs:min)	Tfs (Hrs)	Tef (Hrs:min)	Tef (Hrs)	To (Hrs)	Observaciones	Sistema
20/12/13 11:30	20/12/13 13:00	1:30	1,50	91:30	91,50	90,50	Bujías	Ignición
21/12/13 18:00	21/12/13 19:00	1:00	1	17:30	17,50	16	Alta temperatura de agua	Enfriamiento
27/12/13 9:00	27/12/13 10:30	1:30	1,50	135:00	135	134	Alta temperatura de agua	Enfriamiento
Nº Total de Paros	40							
Total Horas de Paro	213,75							
Paros por Preventivo	1							
Horas Preventivo	50							
Horas de Paro del Equipo	163,75							

Fuente: El autor (2015)

En la tabla 4.8 se exponen de manera resumida las fallas presentadas por el motocompresor K3, donde se evidencia que presenta mayor fallas en los sistemas de enfriamiento, ignición y compresión. A continuación en la figura 4.8 se muestra el diagrama de Pareto de fallas.

Tabla 4.8. Resumen de fallas según el Sistema del K3

Sistemas	Nº de Paros	Hrs de Paros	% Nº de Paros	% Acumulado
Enfriamiento	12	37,83	30,77%	30,77%
Depuración	9	12,76	23,08%	53,85%
Compresión	9	92,25	23,08%	76,93%
Ignición	5	9,50	12,82%	89,75%
Lubricación	3	9,91	7,69%	97,44%
Gas Combustible	1	1,50	2,56%	100%
Fuerza	0	0	100%	100%
Monitoreo y Control	0	0	0%	100%
Admisión	0	0	0%	100%
Arranque	0	0	0%	100%
Escape	0	0	0%	100%
	39	163,75	100%	

Fuente: El autor (2015)

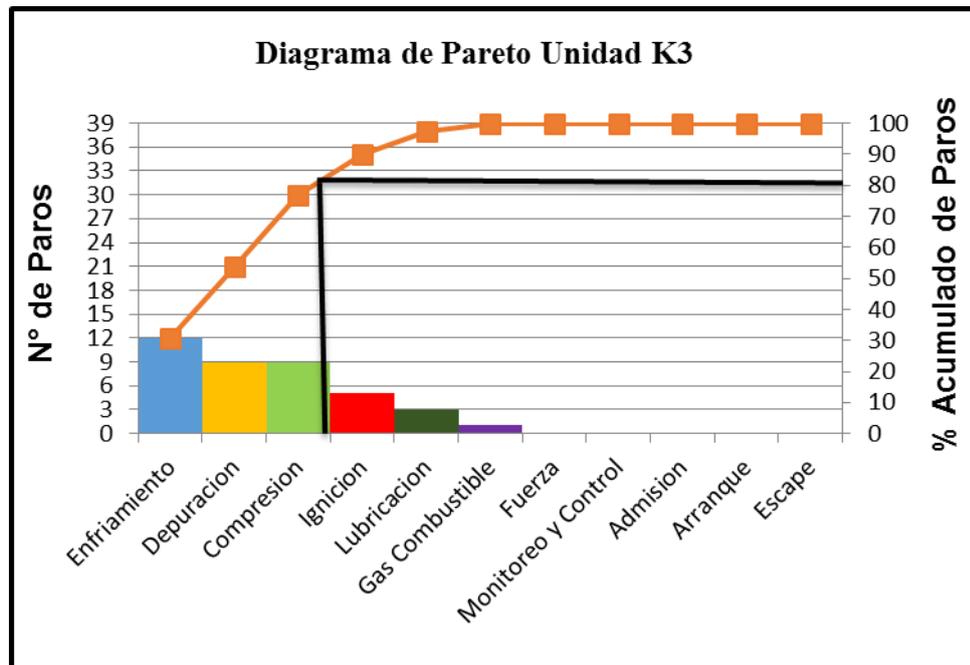


Figura 4.8. Fallas según el Sistema del K3

Fuente: El autor (2015)

Los resultados obtenidos para el motocompresor K3, muestran que el sistema con el mayor número de fallas presentadas es el sistema de Enfriamiento con un 30,77%, Depuración 23,08%, Compresión 23,08% e Ignición 12,82%.

En la tabla 4.9 se exponen las fallas generales de la planta por sistema y en la figura 4.8, se muestra el diagrama de Pareto general de falla de los equipos motocompresores por sistema.

Tabla 4.9. Resumen de fallas según el Sistema del K3

Sistemas	N° de Paros	Hrs de Paros	% N° de Paros	% Acumulado
Enfriamiento	36	238,50	36,73%	36,73%
Compresión	22	169,59	22,45%	59,18%
Depuración	21	42,01	21,43%	80,61%
Lubricación	7	38,66	7,14%	87,75%
Ignición	10	21,41	10,20%	97,95%
Gas Combustible	2	5,58	2,05%	100%
Fuerza	0	0	100%	100%
Monitoreo y Control	0	0	0%	100%
Admisión	0	0	0%	100%
Arranque	0	0	0%	100%
Escape	0	0	0%	100%
	98	515,75	100%	

Fuente: El autor (2015)

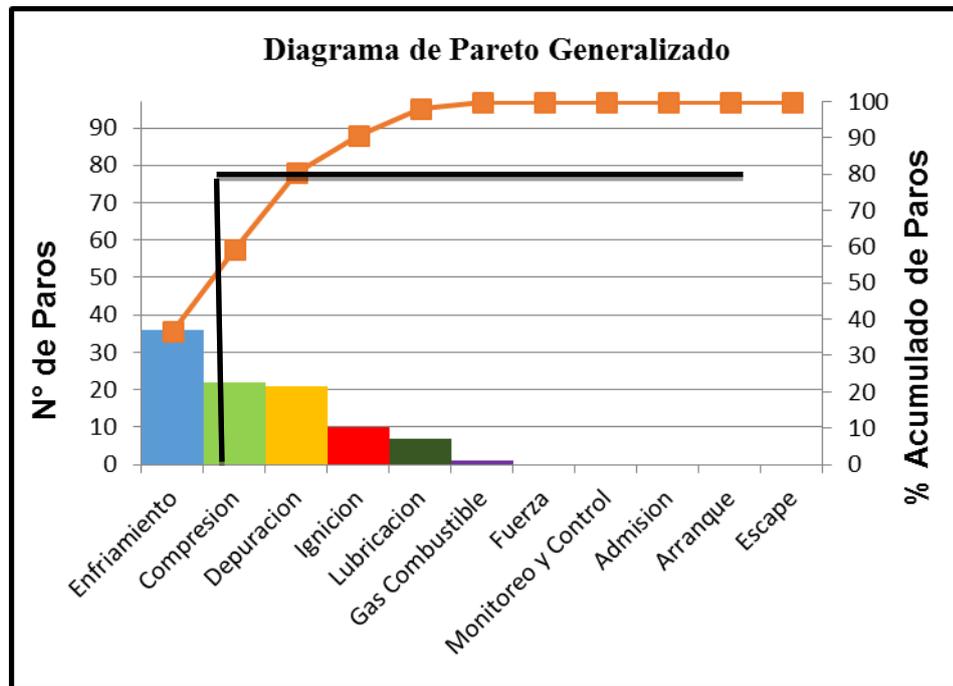


Figura 4.9. Fallas generalizadas de los motocompresores
Fuente: El autor (2015)

Como se ha mencionado anteriormente los equipos estudiados poseen las mismas características, con respecto a su fabricante, funcionamiento, tiempo de instalación y uso, es decir, operan bajo las mismas condiciones operacionales; por lo tanto las fallas que presentan frecuentemente son comunes entre estos, lo cual se observa reflejado en el análisis y diagrama de Pareto según sus fallas, en donde las causas determinadas fueron las siguientes:

- Fallas en el sistema de enfriamiento con un 36,73%
- Fallas en el sistema de compresión con un 22,45%
- Fallas en el sistema de depuración con un 21,43%

4.4 Realizar un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) a las unidades motocompresoras de la planta compresora de gas natural Santa Ana III.

Una vez obtenidos los sistemas que resultaron críticos se procedió a elaborar el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF), basado en la experiencia del

equipo natural de trabajo sobre las funciones de los mismos, las causas potenciales de fallas y los efectos que originaran al proceso de compresión del gas natural en la Planta Compresora Santa Ana III, en aspecto como seguridad, ambiente, operacional y no operacional.

Tabla 4.10. Análisis modos y efectos de fallas del sist. de compresión

 <div style="text-align: center;"> HOJA DE INFORMACION ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF) PDVSA GAS </div> 								
Hoja de Información					Realizado por: ENT		Pág. 1/5	
					Revisado por:			
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA		
Compresión	Compresor	1	Comprimir el gas de 60 a 1200 PSI.	A	Incapaz de comprimir el gas de 60 a 1200 PSI.	1	Fallas en los anillos del pistón del cilindro compresor.	Aumenta la relación de compresión en la siguiente etapa, se activa alarma por alta presión y se realiza la parada del equipo por alta presión. Se ve afectada la capacidad de compresión, por la disminución del volumen manejado por el cilindro.

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.10. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Compresión

 <div style="text-align: center;"> HOJA DE INFORMACION ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF) PDVSA GAS </div> 								
Hoja de Información				Realizado por: ENT			Pág. 2/5	
				Revisado por:				
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA		
Compresión	Compresor	1	Comprimir el gas de 60 a 1200 PSI	A	Incapaz de comprimir el gas de 60 a 1200 PSI	2	Falla packing de gas C/C	Se produce una fuga de gas a la atmosfera, apagándose el equipo por alta temperatura del agua de enfriamiento de la caja de packing.
						3	Falla packing de aceite de C/C	Fuga de aceite al motor, observándose la presencia de humo en los drenajes del compresor, ocasionando la parada de la máquina y condiciones inseguras en el proceso y un impacto negativo en el ambiente.

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.10. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Compresión

		HOJA DE INFORMACION ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF) PDVSA GAS						
Hoja de Información			Realizado por: ENT			Pág. 3/5		
			Revisado por:					
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA		
Compresión	Compresor	1	Comprimir el gas de 60 a 1200 PSI	A	Incapaz de comprimir el gas de 60 a 1200 PSI	4	Desgaste de la barra del pistón.	Fuga de gas hacia el cárter del equipo. No se produce una parada inmediata pero puede generar daños en la caja de packing y sellos de aceite.
						5	Daños en el pistón	Perdida de compresión. Se produce un aumento en la temperatura del C/C, parándose el equipo por alta temperatura en el cilindro.

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.10. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Compresión

 <div style="text-align: center;"> HOJA DE INFORMACION ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF) PDVSA GAS </div> 								
Hoja de Información					Realizado por: ENT			Pág. 4/5
					Revisado por:			
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA		
Compresión	Compresor	1	Comprimir el gas de 60 a 1200 PSI	A	Incapaz de comprimir el gas de 60 a 1200 PSI	6	Daños en la camisa del cilindro compresor.	Fallas en el sistema de lubricación produciendo un aumento de la temperatura del cilindro, provocando la parada del equipo por alta temperatura del cilindro compresor. Ocurren daños en los anillos del pistón.
						7	Falla en el sistema de lubricación del C/C	Se pierde lubricación y ocurre paro automático por no flujo. Provoca recalentamiento y desgaste en los sellos de la caja packing.

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.10. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Compresión

 <div style="text-align: center;"> HOJA DE INFORMACION ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF) PDVSA GAS </div> 								
Hoja de Información					Realizado por: ENT			Pág. 5/5
					Revisado por:			
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA		
Compresión	Compresor	1	Comprimir el gas de 60 a 1200 PSI	A	Incapaz de comprimir el gas de 60 a 1200 PSI	8	Fallas en las válvulas de succión y descarga del C/C	Paro automático del equipo por alta temperatura de descarga en el cilindro compresor. Se pierde la compresión en el cilindro.
						9	Fisura en la cámara de los cilindros de fuerza	Se observa salida de agua por los gases de escape del motor y se escucha golpeteo del cilindro de fuerza. La máquina pierde potencia, ocasionando el paro de la misma.

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.11. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Enfriamiento

 <div style="text-align: center;"> HOJA DE INFORMACION ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF) PDVSA GAS </div> 								
Hoja de Información					Realizado por: ENT		Pág. 1/3	
					Revisado por:			
SISTEMA	COMPONENTE		FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
Enfriamiento	Enfriadores	2	Disminuir la temperatura de las corrientes de agua, gas y aceite provenientes del motocompresor.	A	Incapaz de disminuir la temperatura de las corrientes de agua, gas y aceite provenientes del motocompresor.	1	Falla en el eje del ventilador	Parada automática del equipo por alta temperatura. Se produce ruido y vibraciones.

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.11. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Enfriamiento

 <div style="text-align: center;"> HOJA DE INFORMACION ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF) PDVSA GAS </div> 								
Hoja de Información				Realizado por: ENT			Pág. 2/3	
				Revisado por:				
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA	
Enfriamiento	Enfriadores	2	Disminuir la temperatura de las corrientes de agua, gas y aceite provenientes del motocompresor.	A	Incapaz de disminuir la temperatura de las corrientes de agua, gas y aceite provenientes del motocompre sor.	2	Falla en las aspas del ventilador	Altas temperaturas en el proceso de manejo de gas del cilindro compresor. Se para el equipo por alta temperatura en el cilindro compresor.
						3	Motor eléctrico dañado	Altas temperaturas en el proceso de manejo de gas del cilindro compresor. Se para el equipo por alta temperatura en el cilindro compresor.

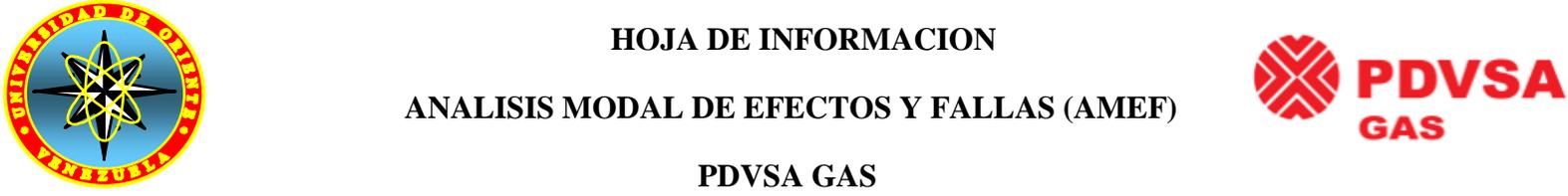
Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.11. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Enfriamiento

 <div style="text-align: center;"> HOJA DE INFORMACION ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF) PDVSA GAS </div> 								
Hoja de Información				Realizado por: ENT		Pág. 3/3		
				Revisado por:				
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA			
Enfriamiento	Enfriadores	2	Disminuir la temperatura de las corrientes de agua, gas y aceite provenientes del motocompresor.	A	Incapaz de disminuir la temperatura de las corrientes de agua, gas y aceite provenientes del motocompresor.	4	Serpentín dañado (fuga de gas)	Riesgo potencial de ocurrencia de explosión, lo que ocasiona la parada manual del equipo.

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.12. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Depuración

						
Hoja de Información			Realizado por: ENT		Pág. 1/6	
			Revisado por:			
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	
Depuración	Depurador	3 Separar del gas a las presiones de 60, 250 y 800 Psi el agua y todos los elementos pesados, manteniendo el nivel de líquido en el 50% del visor	A Incapaz de separar del gas a las presiones de 60, 250 y 800 Psi el agua y todos los elementos pesados, manteniendo el nivel de líquido en el 50% del visor	1 Perdida de espesor del equipo	Alto riesgo por posible explosión del equipo.	

Fuente: El autor (2015)

Continuación Tabla 4.12. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Depuración

 <div style="text-align: center;"> <p>HOJA DE INFORMACION</p> <p>ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF)</p> <p>PDVSA GAS</p> </div> 						
Hoja de Información				Realizado por: ENT		Pág. 2/6
				Revisado por:		
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	
Depuración	Depurador	3 Separar del gas a las presiones de 60, 250 y 800 Psi el agua y todos los elementos pesados, manteniendo el nivel de líquido en el 50% del visor	B Separación deficiente	1 Obstrucción del separador de neblina	Baja presión en la succión. Genera paro automático de la planta.	

Fuente: El autor (2015)

Continuación Tabla 4.12. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Depuración

 <div style="text-align: center;"> <p>HOJA DE INFORMACION</p> <p>ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF)</p> <p>PDVSA GAS</p> </div> 									
Hoja de Información					Realizado por: ENT			Pág. 3/6	
					Revisado por:				
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA				
Depuración	Válvula de drenaje de líquido del depurador del nivel de 800 Psi	4	Ser capaz de abrir y cerrar al 100% cuando el nivel de líquido es 50% del visor	A	Incapaz de abrir y cerrar al 100% cuando el nivel de líquido es 50% del visor	1	Desgaste o rotura de componentes internos.	Filtraciones de la válvula de control. Pérdida de elasticidad del resorte.	
						2	Obstrucción de la válvula de control de nivel	Aumenta el nivel de líquido, ya que el depurador no puede desalojarlo.	

Fuente: El autor (2015)

Continuación Tabla 4.12. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Depuración

 <div style="text-align: center;"> <p>HOJA DE INFORMACION</p> <p>ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF)</p> <p>PDVSA GAS</p> </div> 								
Hoja de Información					Realizado por: ENT		Pág. 4/6	
					Revisado por:			
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA		
Depuración	Control de nivel	5	Ser capaz de enviar una señal al actuador de la válvula cuando el nivel del líquido en el visor sea de 50%	A	Incapaz de enviar una señal al actuador de la válvula cuando el nivel del líquido en el visor sea de 50%	1	Control del nivel dañado	La válvula de drenaje de control de líquido no opera, aumentando el nivel del líquido en el depurador provocando la parada de los motocompresores.
				B	Controla fuera del rango deseado	1	Controla fuera del rango deseado	Aumento o disminución del nivel óptimo, debido a que la válvula no opera correctamente.

Fuente: El autor (2015)

Continuación Tabla 4.12. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Depuración



HOJA DE INFORMACION
ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF)



PDVSA GAS

Hoja de Información				Realizado por: ENT		Pág. 5/6		
				Revisado por:				
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA		
Depuración	Indicadores de nivel del líquido del depurador	6	Indicar localmente de forma clara el nivel de líquido contenido en el depurador.	A	No indica localmente de forma clara el nivel de líquido contenido en el depurador.	1	Cristal del visor sucio	No se visualiza el nivel de líquido en el depurador, generando el riesgo de errores operacionales.
						2	Válvulas del visor obstruidas	No se visualiza el nivel de líquido en el depurador, generando el riesgo de errores operacionales.
						3	Filtración por el visor	Se pierde el nivel en el visor. Riesgo a errores operacionales.

Fuente: El autor (2015)

Continuación Tabla 4.12. Análisis Modos y Efectos de Fallas del Sist. de Depuración

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>HOJA DE INFORMACION</p> <p>ANALISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF)</p> <p>PDVSA GAS</p> </div>  </div>								
Hoja de Información					Realizado por: ENT		Pág. 6/6	
					Revisado por:			
SISTEMA	COMPONENTE		FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	
Depuración	Válvula fleare	7	Ser capaz de aliviar hacia el venteo la presión de los depuradores de 800, 250 y 60 Psi en caso de que la presión exceda el 5% de la presión de operación.	A	Incapaz de aliviar hacia el venteo la presión de los depuradores de 800, 250 y 60 Psi en caso de que la presión exceda el 5% de la presión de operación.	1	Descalibración por encima del control	Se incrementa la presión en el sistema, se dispara el disco de ruptura y existe salida de gas al ambiente.

Fuente: El autor (2015)

4.5 Aplicación del árbol lógico de decisión para la selección de las tareas de mantenimiento más adecuadas a las unidades motocompresoras de la planta compresora de gas natural Santa Ana III, según lo establecido en la metodología MCC.

Se fundamentó en determinar las acciones necesarias a implementar para el sistema, mediante el método del flujograma de preguntas del Árbol lógico de Decisiones de la Norma SAEJA 1012. La técnica empleada fue las reuniones con el Equipo Natural de Trabajo y entrevistas constante con el personal de experiencia.

Se llevaron a cabo dos fases: la primera consistió en someter a cada modo de falla al flujograma de preguntas del Árbol Lógico de decisiones, 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 de adaptación propia.

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 personal asignado para realizar la actividad.

Tabla 4.13. Hoja de decisión del sistema de compresión

Realizado por: Jesús Flores			 HOJA DE DECISIÓN PLANTA COMPRESORA SANTA ANA III 										Revisado por: ENT
Sistema: Compresión													Pág. 1/2
REFERENCIA DE FALLA			TIPO DE FALLA		EVALUACION DE CONSECUENCIAS				TIPO DE TAREA O ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO				TAREA DE MANTENIMIENTO PROPUESTA
F	FF	MF	ABCD	AEFG	S	A	O	NO	BC	BT	DF	OT	
1	A	1	S		N	N	S		S				Realizar un seguimiento continuo a la presión de los cilindros compresores.
1	A	2	S		N	N	S		S				Chequear la existencia de fugas de gas por medio de la caja de packing gas.
1	A	3	S		N	S			S				Verificar la presencia de fugas de aceite en el packing de aceite.
1	A	4		S	N	N	N	S			S		Revisar y chequear desgaste de la barra con el fin de mantener el buen funcionamiento del equipo.
F: Falla, FF: Falla Funcional, MF: Modo de Falla; ABCD: Evidente; AEFG: Oculta; S: Seguridad; A: Ambiente; O: Operacional; NO: No Operacional; BC: Basada en Condición; Basada en el Tiempo; DF: Detección de Fallas; OT: Otras													

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.13. Hoja de decisión del sistema de compresión

Realizado por: Jesús Flores			 <div style="text-align: center;"> HOJA DE DECISIÓN PLANTA COMPRESORA SANTA ANA III </div> 										Revisado por: ENT	
Sistema: Compresión													Pág. 2/2	
REFERENCIA DE FALLA			TIPO DE FALLA		EVALUACION DE CONSECUENCIA				TIPO DE TAREA O ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO				TAREA DE MANTENIMIENTO PROPUESTA	
F	FF	MF	ABC	AEFG	S	A	O	NO	BC	BT	DF	OT		
1	A	5	S		N	N	S		S				Revisar e inspeccionar el estado del pistón.	
1	A	6	S		N	N	S		S				Revisar y chequear tolerancias permisibles. Reemplazar de ser necesario.	
1	A	7	S		N	N	S		S				Verificar el correcto flujo de aceite.	
1	A	8	S		N	N	S		S				Revisión continúa de cada válvula. Reparar en el caso de presentar irregularidades y/o reemplazar de ser necesario.	
1	A	9	S		N	N	S		S				Revisar el estado de la cámara y reemplazar en el caso de existir fisuras.	
F: Falla, FF: Falla Funcional, MF: Modo de Falla; ABCD: Evidente; AEFG: Oculta; S: Seguridad; A: Ambiente; O: Operacional; NO: No Operacional; BC: Basada en Condición; Basada en el Tiempo; DF: Detección de Fallas; OT: Otras														

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.14. Hoja de decisión del sistema de depuración

Realizado por: Jesús Flores			 HOJA DE DECISIÓN PLANTA COMPRESORA SANTA ANA III 										Revisado por: ENT	
Sistema: Enfriamiento													Pág. 1/1	
REFERENCIA DE FALLA			TIPO DE FALLA		EVALUACION DE CONSECUENCIAS				TIPO DE TAREA O ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO				TAREA DE MANTENIMIENTO PROPUESTA	
F	FF	MF	ABCD	AEFG	S	A	O	NO	BC	BT	DF	OT		
2	A	1	S		N	N	S		S				Chuequear las condiciones de funcionamiento del eje.	
2	A	2	S		N	N	S		S				Chequear alineación, ruidos y/o roturas de las aspas del ventilador.	
2	A	3	S		N	N	S		S				Revisión general del motor. Chequeo de vibraciones. Reemplazar de ser necesario.	
2	A	4	S		S				S				Chequeo de fuga de gas.	
F: Falla, FF: Falla Funcional, MF: Modo de Falla; ABCD: Evidente; AEFG: Oculta; S: Seguridad; A: Ambiente; O: Operacional; NO: No Operacional; BC: Basada en Condición; Basada en el Tiempo; DF: Detección de Fallas; OT: Otras														

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.15. Hoja de decisión del sistema de enfriamiento

Realizado por: Jesús Flores			 HOJA DE DECISIÓN PLANTA COMPRESORA SANTA ANA III 										Revisado por: ENT	
Sistema: Depuración													Pág. 1/2	
REFERENCIA DE FALLA			TIPO DE FALLA		EVALUACION DE CONSECUENCIAS				TIPO DE TAREA O ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO				TAREA DE MANTENIMIENTO PROPUESTA	
F	FF	MF	ABCD	AEFG	S	A	O	NO	BC	BT	DF	OT		
3	A	1		S	S						S		Mediante un ultrasonido inspeccionar el espesor del depurador.	
3	B	1	S		N	N	S		S				Limpieza interna de la malla del separador.	
4	A	1	S		N	N	S			S			Revisión de la válvula de control y sus componentes.	
4	A	2	S		N	N	S		S				Limpieza de la válvula de control.	
F: Falla, FF: Falla Funcional, MF: Modo de Falla; ABCD: Evidente; AEFG: Oculta; S: Seguridad; A: Ambiente; O: Operacional; NO: No Operacional; BC: Basada en Condición; Basada en el Tiempo; DF: Detección de Fallas; OT: Otras														

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.15. Hoja de decisión del sistema de enfriamiento

Realizado por: Jesús Flores			 <div style="text-align: center;"> HOJA DE DECISIÓN PLANTA COMPRESORA SANTA ANA III </div> 										Revisado por: ENT	
Sistema: Depuración													Pág. 2/2	
REFERENCIA DE FALLA			TIPO DE FALLA		EVALUACION DE CONSECUENCIAS				TIPO DE TAREA O ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO				TAREA DE MANTENIMIENTO PROPUESTA	
F	FF	MF	ABCD	AEFG	S	A	O	NO	BC	BT	DF	OT		
5	A	1	S		N	N	S		S				Reacondicionamiento del sistema de control de nivel.	
5	B	1	S		N	N	S		S				Chequeo y ajuste del control de nivel mediante un procedimiento estándar.	
6	A	1		S	N	N	S				S		Limpiar visor internamente.	
6	A	2		S	N	N	S				S		Accionar las válvulas y drenar.	
6	A	3		S	N	N	S				S		Chequear condición del visor de nivel.	
7	A	1	S		N	N	S		S				Verificar el punto de calibración de la válvula.	
F: Falla, FF: Falla Funcional, MF: Modo de Falla; ABCD: Evidente; AEFG: Oculta; S: Seguridad; A: Ambiente; O: Operacional; NO: No Operacional; BC: Basada en Condición; Basada en el Tiempo; DF: Detección de Fallas; OT: Otras														

Fuente: El autor (2015)

Para establecer las acciones necesarias para evitar la ocurrencia de cada modo de falla o minimizar sus consecuencias, según el peligro que representan, así mejorar la confiabilidad de la PCSAIII, se utilizó el Árbol Lógico de Decisiones, donde se analizaron los modos de fallas generados en el AMEF, obteniéndose un total de 23 modos de fallas, de los cuales 18 son evidentes y 5 No evidentes, en la figura 4.10 se muestra la distribución porcentual de los modos de fallas.

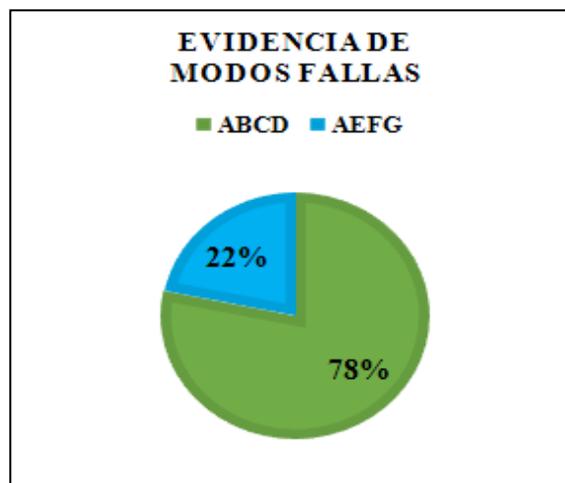


Figura 4.10. Evidencia de modos de fallos
Fuente: el autor (2015)

De los modos de fallas estudiados, se determinó que 19 de ellos traen consecuencias para las operaciones, 2 a la seguridad, 1 al ambiente y 1 no operacional. Evidentemente, como se muestra en la figura 4.11, el área que mayor se ve afectada es la operacional con 83 %.

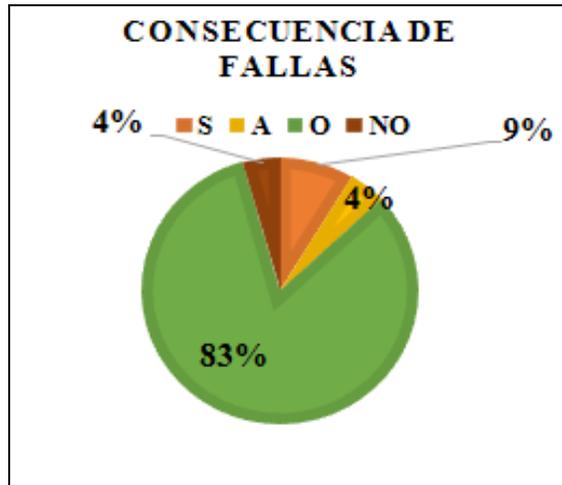


Figura 4.11. Consecuencias de fallos
Fuente: El autor (2015)

El sistema de compresión resulto tener el mayor número de tareas de mantenimiento, seguido del sistema de depuración y por último el sistema de enfriamiento. En lo concerniente a las acciones de mantenimiento arrojadas por el árbol lógico de decisión, predominan las tareas basadas en condición debido a que no se conoce con certeza la vida útil de muchos componentes, siendo esta tarea la más recomendable. En la figura 4.12 se observa la distribución porcentual de las tareas de mantenimiento.

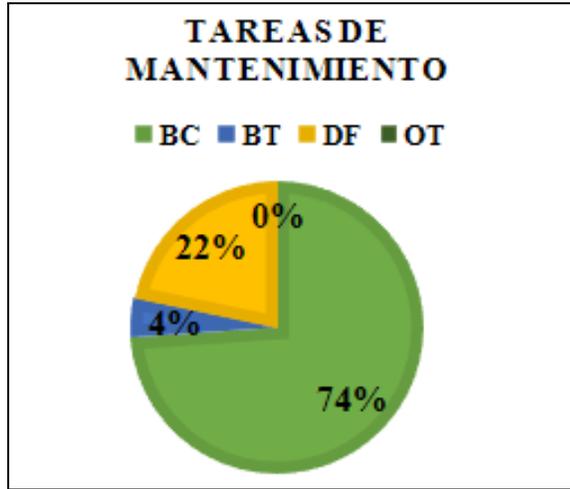


Figura 4.10. Evidencia de modos de fallos
Fuente: el autor (2015)



**PLAN DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO**

**PLANTA COMPRESORA SANTA
ANA III**

**MOTOCOMPRESORES CLARK
TLA 10**



**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS
MOTOCOMPRESORES MARCA CLARK TLA-10 DE LA
PLANTA COMPRESORA DE GAS NATURAL SANTA ANA III**

Elaborado Por	Revisado Por:
Jesús Flores	ENT Fecha: Enero 2015

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
	PLANTA COMPRESORA SANTA ANA III
	MOTOCOMPRESORES CLARK TLA 10

1. Objetivo

Mantener en estado óptimo de operación las unidades motocompresoras de gas de la Planta Santa Ana III, impidiendo la presencia de fallas que puedan incurrir en accidentes laborales y/o ambientales, pérdida de clientes vitales y sanciones en aspectos legales correspondientes a las leyes y normativas vigentes.

2. Políticas

El departamento de mantenimiento operacional tiene la obligación de cumplir a cabalidad los planes de mantenimiento diseñados para ofrecer un producto de calidad, satisfaciendo las necesidades de la empresa. Igualmente el departamento asegura el crecimiento de su personal a través a través de su capacitación técnica. Para cumplir con su política el departamento dispone lo siguiente:

- ✚ Ofrecer un producto con un alto grado de responsabilidad para que las unidades motocompresoras desarrollen todo su potencial.
- ✚ Realizar mejoras continuas en los planes diseñados para los equipos con el propósito de ofrecer un producto de alta calidad.
- ✚ Preservar la integridad física y el bienestar de todo el personal y demás partes involucradas cumpliendo con las normas de seguridad establecidas.
- ✚ Actualizarse constantemente con los cambios tecnológicos, con el fin de realizar un mantenimiento preciso y confiable.

Elaborado Por	Revisado Por:
Jesús Flores	ENT Fecha: Enero 2015

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
	PLANTA COMPRESORA SANTA ANA III
	MOTOCOMPRESORES CLARK TLA 10

3. Alcance

Los planes de mantenimiento diseñados son aplicados a las unidades motocompresoras Clark TIA-10, debidamente realizado por el personal de mantenimiento operacional de Planta Santa Ana III.

4. Responsabilidades

4.1. Supervisor de mantenimiento

- ✚ Realizar las órdenes de trabajo de manera oportuna para realizar las actividades de mantenimiento programadas en el plan de mantenimiento.
- ✚ Elaborar el análisis de riesgo en el trabajo (ART) para proceder a ejecutar con el plan de mantenimiento.
- ✚ Realizar el registro de las actividades de mantenimiento realizadas, con el propósito de contener datos estadísticos.
- ✚ Velar por la ejecución de los planes de mantenimiento.

4.2. Técnico mecánico, electricista, instrumentista y operador

- ✚ Ejecutar los planes de mantenimiento a cabalidad, haciendo correcto uso de los equipos de protección personal.
- ✚ Informar al supervisor de mantenimiento de cualquier eventualidad al realizar las actividades de mantenimiento, así como también de las posibles fallas que pueda incurrir el equipo al realizar sus operaciones.

Elaborado Por	Revisado Por:
Jesús Flores	ENT Fecha: Enero 2015

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
	PLANTA COMPRESORA SANTA ANA III
	MOTOCOMPRESORES CLARK TLA 10

5. Equipos de protección personal

- ✚ Equipos de protección personal contra impactos (Botas y Casco)
- ✚ Equipos de protección de la piel (Braga y Guantes)
- ✚ Equipos de protección auditiva y visual (Protectores de oído tipo orejeras y tapones, lentes claros)
- ✚ Equipos de protección respiratoria (Mascarilla).

6. Indicadores de mantenimiento

Productividad y competencia son características de los ambientes donde se desempeñan corporaciones e industrias, las cuáles se ven obligadas a maximizar sus capacidades productivas y minimizar costes operativos. La condición y disponibilidad de sus sistemas productivos juegan un papel decisivo en el éxito de sus negocios.

Para la función Mantenimiento, esto significa una constante búsqueda de nuevas y novedosas formas de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de plantas y equipos industriales, siempre a través de un control efectivo de costes. El hecho de planificar y programar los trabajos de Mantenimiento a grandes volúmenes de equipos e instalaciones ha visto en la automatización una oportunidad de constantes mejoras, y la posibilidad de plasmar procedimientos cada día más complejos e interdependientes.

Esto aunado a la mejor práctica de un mantenimiento de Clase Mundial, que establece Sistemas Integrados, ha conllevado a las grandes corporaciones a tomar la decisión de adoptar sistemas de Mantenimiento de Planificación Empresarial CMMS.

Elaborado Por	Revisado Por:
Jesús Flores	ENT Fecha: Enero 2015

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
	PLANTA COMPRESORA SANTA ANA III
	MOTOCOMPRESORES CLARK TLA 10

El Modelo de Mantenimiento, a través de CMMS permite la clasificación y caracterización de la información, para que ésta sea agrupada y consultada de acuerdo a los requerimientos específicos de cada usuario, lo cual facilita los procesos de análisis y toma de decisiones, tan importantes en las áreas de costes y confiabilidad.

La Gerencia de Mantenimiento está sustituyendo los viejos valores por paradigmas de excelencia de mayor nivel. La práctica de Ingeniería de Confiabilidad, la gestión de activos, la medición de los indicadores y la gestión de la disponibilidad; así como la reducción de los costes de mantenimiento constituyen los objetivos primordiales de la empresa, enfocados a asegurar la calidad de gestión de la organización de mantenimiento.

Los Indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento.

La efectividad mide si las acciones de mantenimiento son efectivas en cuanto al comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos (ISED), además, permiten medir la calidad de los trabajos y grado de cumplimiento de los planes de mantenimiento. Así como evaluar si estos planes están siendo efectivos.

Elaborado Por	Revisado Por:
Jesús Flores	ENT Fecha: Enero 2015

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
	PLANTA COMPRESORA SANTA ANA III
	MOTOCOMPRESORES CLARK TLA 10

TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAS (TPPF).

Se refiere al tiempo promedio que es capaz de operar un ÍSED a capacidad requerida sin interrupciones dentro del periodo considerado del estudio.

$$\text{TPPF} = \frac{\text{Horas Operadas}}{\text{N}^\circ \text{ de Fallas}}$$

TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (TPPR).

Se refiere al tiempo promedio en que puede ser reparado un ISED. Entendiéndose como horas de fallas, el tiempo en horas que transcurre desde que el equipo falla, hasta que el equipo es nuevamente puesto en servicio. Es decir, las horas de fallas se consideran igual al tiempo para reparar.

$$\text{TPPR} = \frac{\text{Horas de Fallas}}{\text{N}^\circ \text{ de Fallas}}$$

Elaborado Por	Revisado Por:
Jesús Flores	ENT Fecha: Enero 2015

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
	PLANTA COMPRESORA SANTA ANA III
	MOTOCOMPRESORES CLARK TLA 10

DISPONIBILIDAD (D)

Se refiere a la capacidad de un ISED para realizar una función requerida bajo condiciones específicas en un periodo de tiempo determinado, asumiendo que los recursos requeridos son suministrados.

$$D = \frac{TPPF}{TPPF + TPPR} \times 100$$

UTILIZACION (U)

Mide el tiempo efectivo de operación de un ISED durante un periodo determinado.

$$U = \frac{\text{Horas operadas}}{\text{Horas en el Periodo}} \times 100$$

CONFIABILIDAD (C)

Se refiere a la probabilidad de que un ISED pueda realizar una función requerida en un periodo considerado.

$$C = e^{-\frac{t}{TPPF}}$$

t = Periodo considerado. $TPPF$ = Tiempo promedio para fallar

Elaborado Por	Revisado Por:
Jesús Flores	ENT Fecha: Enero 2015



Acciones de Mantenimiento Planta Compresora Santa Ana III

Realizado por: Jesús A. Flores M.

Pág. 1 de 4

Actividad de Mantenimiento	Ejecutor	Frecuencia	Personal Calificado	Tiempo Estimado
Realizar un seguimiento continuo a la presión de los cilindros compresores.	Operación	Diario	1 Operador en cada turno de trabajo	30 min
Chequear la existencia de fugas de gas por medio de la caja de packing gas.	Mecánica	Trimestral	3mecanicos 1 supervisor	8 hr
Verificar la presencia de fugas de aceite en el packing de aceite.	Mecánica	Trimestral	3mecanicos 1 supervisor	8 hr
Revisar y chequear desgaste de la barra con el fin de mantener el buen funcionamiento del equipo.	Mecánica	Trimestral	3mecanicos 1 supervisor	8 hr
Revisar e inspeccionar el estado del pistón.	Mecánica	Anual	3mecanicos 1 supervisor	8 hr

Fuente: el autor (2015)



Acciones de Mantenimiento Planta Compresora Santa Ana III

Realizado por: **Jesús A. Flores M.**

Pág. 2 de 4

Actividad de Mantenimiento	Ejecutor	Frecuencia	Personal Calificado	Tiempo Estimado
Revisar y chequear tolerancias permisibles.	Mecánica	Trimestral	1 Supervisor 3 Mecánicos	8hr
Verificar el correcto flujo de aceite.	Operación	Diario en cada turno de trabajo	1 Operador	10 min
Revisión continua de cada válvula. Reparar en el caso de presentar irregularidades y/o reemplazar de ser necesario.	Operación	Diario	1 Operador	15 min
Revisar el estado de la cámara y reemplazar en el caso de existir fisuras.	Mecánica	Trimestral	1 Supervisor 3 Mecánicos	8 hr
Chuequear las condiciones de funcionamiento del eje.	Operación	Anual	1 Operador	2 hr

Fuente: el autor (2015)



Acciones de Mantenimiento Planta Compresora Santa Ana III

Realizado por: Jesús A. Flores M.

Pág. 3 de 4

Actividad de Mantenimiento	Ejecutor	Frecuencia	Personal Calificado	Tiempo Estimado
Chequear alineación, ruidos y/o roturas de las aspas del ventilador.	Mecánica	Anual	2 Mecánicos	2 hr
Revisión general del motor. Chequeo de vibraciones.	Operación	Diario	2 Operadores	1 hr
Chequeo de fuga de gas.	Operación	diario	2 Operadores	1hr
Inspeccionar el espesor del depurador mediante un ultrasonido.	Mtto Mayor	Anual	1 Supervisor 2 Mecánicos	2 hr
Limpieza interna de la malla del separador.	Operación	Anual	2 Operadores	3 hr
Revisión de la válvula de control y sus componentes.	Instrumentación	trimestral	2 Instrumentistas	30 min

Fuente: el autor (2015)



Acciones de Mantenimiento Planta Compresora Santa Ana III

Realizado por: Jesús A. Flores M.

Pág. 4 de 4

Actividad de Mantenimiento	Ejecutor	Frecuencia	Personal Calificado	Tiempo Estimado
Mantenimiento a la válvula de control del Depurador.	Instrumentación	Trimestral	2 Instrumentistas	5 hr
Reacondicionamiento del sistema de control de nivel.	Instrumentación	Semestral	2 Instrumentistas	1 hr
Chequeo y ajuste del control de nivel.	Instrumentación	Mensual	1 Instrumentista	30 min
Limpiar visor internamente. Reemplazar de ser necesario.	Instrumentación	Semestral	1 Instrumentista	2 hr
Accionar las válvulas y drenar.	Operación	Según sea el caso	1 Operador	10 min
Chequear condición del visor de nivel.	Operación	Diario	1 Operador	10 min
Verificar el punto de calibración de la válvula. Ajustar de ser necesario.	Instrumentación	Trimestral	1 Instrumentista	30 min

Fuente: el autor

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los motocompresores presentan ciertas anomalías en su operación, puesto vienen presentando diversas alarmas y fallas, que obligan a paradas no programadas del equipo y ocasionan condiciones desfavorables para los trabajadores ya que deben trabajar largas horas de sobretiempo.
- Luego de haber realizado el análisis de criticidad según la metodología de Pareto, resultaron críticos los sistemas de enfriamiento con un 36,73%, compresión con 22,45% y depuración con 21,43%; siendo estos los de mayor relevancia en el funcionamiento de una planta compresora de gas.
- A través del AMEF se determinó 7 funciones, 9 fallas funcionales y 23 modos de fallas a los sistemas críticos de los motocompresores, proporcionando información relevante para la elaboración del plan de mantenimiento.
- Se determinó que el 78% de los modos de fallas son evidentes y los 22% restantes son ocultas.
- Se determinaron las tareas de mantenimiento a aplicar mediante el Árbol Lógico de Decisiones de la norma SAE JA1012. En cuanto a las tareas de mantenimiento preventivas se implementarán basadas en condición 74%, basada en el tiempo 4% y detección de fallas 22%.

- A través del plan de mantenimiento propuesto, es posible mejorar la efectividad de la Planta Compresora Santa Ana III, siempre que se consideren las acciones recomendadas, debido a que están orientadas a disminuir el número de paradas de los activos.

5.2 Recomendaciones

- Implementar el plan de mantenimiento propuesto para los motocompresores marca Clark de la Planta Compresora Santa Ana III.
- Realizar cursos para el adiestramiento del personal de mantenimiento y operación con la finalidad de cambiar la cultura del mantenimiento actual, enfocándose hacia el mantenimiento moderno, donde aprendan lo significativo de manejar los parámetros operacionales de la planta.
- Mantener en stock los repuestos del equipo para evitar la pérdida de tiempo cuando se presente una falla.
- Inspeccionar el plan anualmente, para realizar cualquier ajuste en caso de ser necesario, principalmente revisar que las frecuencias de ejecución sean convenientes para la gestión.
- Evaluar periódicamente los indicadores de gestión de mantenimiento, para observar la variación de estos posterior a la aplicación del plan de mantenimiento propuesto, para de esta manera determinar cuan eficiente ha resultado.
- Divulgar los resultados de esta investigación a la alta gerencia a fin de contar con el apoyo y recursos para su ejecución.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Arias, F. (2006). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. Caracas, Editorial Episteme.

Barrios, J (2013). “Evaluación de las fallas del Sistema de Suabo perteneciente a la empresa Ingeniería y Servicios Técnicos Newsca S.A., localizada en Anaco Estado Anzoátegui”.

Green, R. (1992). Compresores, selección, uso y mantenimiento (Primera ed.), Editorial McGraw-Hill, México.

Londoño, L. (2013). “Diseño del plan de mantenimiento preventivo, centrado en la confiabilidad de los motores de fondo de la empresa OPTIDRILL, S.A. utilizados en el área de perforación direccional de pozos petroleros”.

Marín, J. (2007). Taller de Motocompresores Reciprocantes. Guía de trabajo, Anaco.

Meneses, L. (2013). “Diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) para las unidades de registro 2K1, 2K6 y 2K7 de La Empresa ALEX, C.A.”.

Millán, S. (2013). “Evaluación de la confiabilidad de los motocompresores en la Planta Compresora Santa Rosa II 2000 localizada en Área Mayor PDVSA Gas Oriente, Anaco estado Anzoátegui”.

Norma SAE JA1012. (2002). Practicas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie.

Normas Venezolanas. COVENIN 3049-93 (1993). "Mantenimiento. Definiciones" FONDONORMA.

Sarabia, L. (2002). Manual de Diagnóstico y Optimización de Compresores Reciprocantes, PDVSA Gas, Anaco

STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. (1999). "Manual del Curso de Formación de Reability Center Maintenance" CIED Valencia.

Suarez, D. (2001). "Guía Teórico – Práctico de Mantenimiento Mecánico", Universidad de Oriente.

PERRY, J., "Manual del Ingeniero Químico", Tomo, sexta Edición, Mc-Grau-Hill, México (1992).

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	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
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Flores M., Jesús A.	CVLAC: 20.711.857 E MAIL: floresmja@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Confiabilidad
Motocompresores
AMEF
Mantenimiento
Árbol lógico de decisiones
Contexto operacional

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería	Ingeniería Industrial

RESUMEN (ABSTRACT):

En el siguiente trabajo, se realizó una propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la Planta Compresora de Gas Natural Santa Ana III, con fines de mejorar la confiabilidad operacional de los motocompresores Clark, evitar la utilización excesiva de las horas extras de mantenimiento, las recurrentes alarmas, fallas y paradas repentinas en los equipos. Se realizó la descripción del contexto operacional, 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 Modos y Efecto de Falla a los componentes críticos para determinar las acciones de mantenimiento más adecuadas a aplicar mediante el Árbol Lógico de Decisiones basado en la norma SAE JA1012, posteriormente se elaboró el plan de mantenimiento en el cual se establecieron indicadores de mantenimiento con el fin de que el departamento de mantenimiento operacional pueda evaluar el impacto que ha de generar la aplicación del plan de mantenimiento propuesto.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
MSc. Bousquet, Juan			X		
	CVLAC:	13.166.925			
	E_MAIL	juancbousquet@gmail.com			
	E_MAIL				
Ing. Jiménez, Gladys		CA	AS	TU	JU
			X		
	CVLAC:				
	E_MAIL	jimenezgex@pdvsa.com			
Esp. Alcántara, José					
					X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
Ing. Ledezma, Melchor		CA	AS	TU	JU
					X
	CVLAC:	12.661.460			
	E_MAIL	melchorj.ledezma@gmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2015	06	23
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Plan de Mantenimiento Preventivo.doc	Application/msword

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

ALCANCE

ESPACIAL: Dpto. Mantenimiento/PDVSA Gas (Anaco) **(Opcional)**
TEMPORAL: Ocho meses **(Opcional)**

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Industrial

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Industriales

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.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *Ragely*
FECHA *5/8/09* HORA *5:20*

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

Juan A. Bolaños Cunele



JUAN A. BOLAÑOS CUNELE
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 Telemática, Coordinación General de Postgrado.
JABC/YGC/manija

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán sr utilizados para otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

Flores M., Jesús A.

AUTOR

AUTOR

AUTOR

MSc. Bousquet, Juan

TUTOR

Esp.. Alcántara, José

JURADO

Ing. Ledezma Melchor

JURADO

Ing. Valderrama, Rita

POR LA COMISION DE TESIS