

Universidad de Oriente  
Núcleo de Anzoátegui  
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas  
Departamento de Mecánica



**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN  
CONFIABILIDAD (MCC) PARA SISTEMAS DE AIRE EN PLANTAS  
DE EXTRACCIÓN DE LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL”**

**CASO: PLANTA DE EXTRACCIÓN DE LÍQUIDOS DE GAS  
NATURAL SAN JOAQUÍN. BUENA VISTA, ESTADO ANZOÁTEGUI.**

Realizado por:

**Carlos Manuel Salazar Pérez**  
**C.I. 16.486.226**

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

**Ingeniero Mecánico**

Barcelona, Junio de 2009.

Universidad de Oriente  
Núcleo de Anzoátegui  
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas  
Departamento de Mecánica



**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN  
CONFIABILIDAD (MCC) PARA SISTEMAS DE AIRE EN PLANTAS DE  
EXTRACCIÓN DE LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL”**

**CASO: PLANTA DE EXTRACCIÓN DE LÍQUIDOS DE GAS NATURAL SAN  
JOAQUÍN. BUENA VISTA, ESTADO ANZOÁTEGUI.**

Asesores:

---

**Prof. Luís Griffith**  
**Asesor Académico**

---

**Ing. Daniel Cáceres**  
**Asesor Industrial**

Barcelona, Junio de 2009.

Universidad de Oriente  
Núcleo de Anzoátegui  
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas  
Departamento de Mecánica



**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN  
CONFIABILIDAD (MCC) PARA SISTEMAS DE AIRE EN PLANTAS  
DE EXTRACCIÓN DE LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL”**

**CASO: PLANTA DE EXTRACCIÓN DE LÍQUIDOS DE GAS  
NATURAL SAN JOAQUÍN. BUENA VISTA, ESTADO ANZOÁTEGUI.**

**Jurado:**

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

**EXCELENTE**

---

**Prof. Luís Griffith  
Asesor Académico**

---

**Prof. Delia Villarroel  
Jurado Principal**

---

**Prof. Diógenes Suárez  
Jurado Principal**

Barcelona, Junio de 2009.

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo con el Artículo 44 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

Principalmente ofrendo este trabajo a Dios, por ser nuestro creador, fuente de inspiración.

A mis padres, Lesvia y Carlos, por ser mi vida, por entregarse a cada uno de sus hijos y por ser los mejores de este mundo. Este logro es por ustedes. Los Amo.

A mis hermanos (Jean y Carlevys), porque los quiero y por el progreso que juntos hemos planeado.

A los que no están físicamente (Mi Abuela Amalia Pérez, Tío Nelson, Tío Roberto Lezama), y que hoy día seguro estarían felices por verme culminada esta meta, para ustedes también este logro.

A los chamos, Carlos David, Arian, Cristhian, Anthony, Nathaly, José Rafael y los que están por venir, que este logro le traiga repercusiones positivas, estudien y luchen por lo que quieren. Los quiero.

A Antonimel Contreras, mi novia, por todo lo que hemos vivido y todo el futuro que nos espera juntos, por ser esa persona en la que puedo confiar incondicionalmente, se que soñabas con este triunfo... Te Amo....

A todas aquellas personas que creyeron, apoyaron y confiaron en mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darme todo lo que tengo, gracias por hacerme tan feliz, darme a 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 para sus hijos los 365 días del año, las 24 horas al día, por todas las enseñanzas y los valores que me inculcaron, se que hicieron un esfuerzo sobrehumano para llevarme hasta donde estoy, este logro es en 99% de ustedes, 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 hermanos, aunque a pesar de estar distanciados, por estar estudiando carreras universitarias en diferentes ciudades, siempre estuvieron allí apoyándome, estando ahí en momentos importantes y que siempre me echaron una mano cuando la necesite. Gracias.. Los adoro.....

A mi familia, aunque es bien extensa, gracias a todos por están pendientes de mí.. mil gracias a todos.

A Antonimel Contreras, gracias por estar ahí cada segundo para mí, ayudándome, pendiente, consintiéndome haciéndome sentir feliz, motivándome en los momentos difíciles, gracias por las millones de cosas que me has enseñando, por todo los momentos que me has aguantado... sobre todo gracias por esos bellos momentos que hemos pasado.. de verdad muchísimas gracias, este triunfo mi me también es tuyo... gracias..

A la Familia Contreras Lezama, por darme todo su apoyo, por su valiosa e incalculable colaboración durante mi carrera universitaria, por la confianza que han depositado en mí, por darme la oportunidad de formar parte de su familia. Muchas gracias.

A mi Tío José Pérez, por todo su apoyo y colaboración, por todas sus lecciones, sus consejos y su aliento, por estar siempre ahí en todo momento para mí y para todos. Gracias

Al Sr. Orlando Becerra García, por ser ese ejemplo a seguir, por toda la colaboración que ha prestado a mi familia y a mí, por estar ahí apoyándome y ayudando en todo, por sus valiosos consejos. Muchas Gracias.

A Sr. Fernando Velásquez, porque en todo momento estuvo cerca, pendiente y ayudando en cualquier cosa que me hiciera falta. Gracias.

A Mis Amigos de toda la vida, Gollo, David, Wilfre, Nene, Argenis Diaz, Manuel, Felipe, Denicse, Andrés, Moncho, la familia Rodríguez Gómez, gracias o todos por sus consejos, apoyo y preocupación, además de todos esos buenos tiempos que hemos pasado juntos.

A Mis Compañeros en la Universidad, demostraron ser amigos de verdad, por todos esos momentos que vivimos junto tanto dentro como fuera de la universidad, Robinson, Ira, Gualberto, Juan, Alberto, Bibi, Nina, Carlos.... Gracias a todos.

A Mis compañeros de bachillerato y amigos en la universidad, aunque compartimos poco durante nuestras carreras universitarias, gracias por esos pocos momentos, Rosmar, Romina, María Celeste, María Daniela, Miguel, Patricia, María José...

A la universidad de Oriente, a los profesores, en especial a los de mecánica, por todo lo que me enseñaron. Al Prof. Luis Griffith, por ayudarme en todo momento, por los consejos, impartirme sus conocimientos y por toda su colaboración, gracias profesor. A la Prof. Delia Villarroel y al Prof. Diógenes Suárez, 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, A Sr. Miguel Rojas y Sra. Francinela Ascanio por ayudarme ingresar a la empresa, Al Ing Daniel Caceres (Asesor Industrial), por su ayuda, sus enseñanzas y por guiarme en el desarrollo del trabajo. Al departamento de Mantenimiento de la Planta ESJ, por estar pendiente de mí y por ayudarme en todo momento, al Ing. Ricardo, al Sr. Sixto, Luis Ramírez,

Efrén Ancheta, Tomas Guarepero, Tomas Rodriguez, Jose Marinez, Yulian,  
Sergio, Alberto... Gracias a todos....

## RESUMEN

En el siguiente trabajo, se realizó el diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para sistemas de aire en plantas de extracción de líquido de gas natural, como caso específico la Planta de Extracción San Joaquín, con fines de mejorar la confiabilidad de los equipos, evitar la utilización excesiva de las horas extras de mantenimiento, las recurrentes alarmas, fallas y paradas en los equipos. En vista de no contar con historiales de mantenimiento, fue conveniente utilizar la metodología del Mantenimiento centrado en Confiabilidad, donde se realizó un diagnóstico de la situación actual del sistema, se determinó el contexto operacional del sistema 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 83% de tareas preventivas, para una totalidad de 465 Horas Hombres, de las cuales 78% son atribuidas al departamento de Mecánica. Las tareas son variadas y con paridad de porcentajes, entre las cuales figuran tareas a condición, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y búsqueda de falla, donde el compresor generó la mayor cantidad de ellas.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>X</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA</b> .....	<b>19</b>
1.1 Generalidades De La Empresa. ....	19
1.1.1 Reseña Histórica de la Empresa. ....	19
1.1.2 Estructura de PDVSA GAS. ....	21
1.1.3 Complejo Criogénico de Oriente (CCO). ....	22
1.1.4 Planta de Extracción San Joaquín. ....	23
1.2 Planteamiento Del Problema. ....	25
1.3 Objetivos. ....	27
1.3.1 Objetivo General. ....	27
1.3.2 Objetivos Específicos. ....	27
<b>CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	<b>28</b>
2.1 Antecedentes. ....	28
2.2 Mantenimiento. ....	29
2.2.1 Objetivos del Mantenimiento. ....	29
2.2.2 Tipos de Mantenimiento. ....	30
2.2.2.1 Mantenimiento Preventivo. ....	30

2.2.2.2 Mantenimiento Correctivo.....	31
2.2.3 Sistema de Mantenimiento.....	32
2.2.4 Planificación y Programación del Mantenimiento.....	32
2.2.5 Tipos de Planes.....	33
2.3 Análisis de Criticidad.....	33
2.3.1 Clasificación de los Equipos según su Criticidad. ....	33
2.3.2 Metodología D.S. Para Determinar Criticidad.....	33
2.4 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	37
2.4.1 Ventajas y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad.....	38
2.4.2 Equipo Natural de Trabajo.....	38
2.4.3 Contexto Operacional.....	39
2.4.4 Preguntas Básicas para el Análisis del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. ....	40
2.4.5 Análisis de Modo y Efecto de Fallas.....	40
2.4.5.1 Funciones y Estadares de Funcionamiento.....	41
2.4.5.2 Fallas Funcionales.....	42
2.4.5.3 Modos de Fallas. ....	43
2.4.5.4 Efecto de Fallas. ....	43
2.4.6 Árbol Lógico de Decisiones (ALD).....	43
2.4.6.1 Consecuencia de los Fallas. ....	43
2.4.6.2 Tareas de Mantenimiento Preventivo. ....	45
2.4.6.3 Tareas a “Falta de”. ....	46
2.5 Gas Natural.....	46
2.5.1 Origen del Gas Natural.....	47
2.5.2 Usos del Gas Natural. ....	47
2.6 Descripción General del Proceso de la Planta.....	48
2.6.1 Facilidades de entrada.....	48
2.6.2 Deshidratación. ....	49

2.6.3 Enfriamiento y Expansión.....	50
2.6.4 Acondicionamiento y Recolección de Líquidos.....	51
2.6.5 Gas Residual.....	52
2.7 Sistema de Aire para Instrumentos y Servicios. ....	52
2.7.1 Aire Comprimido. ....	52
2.7.2 Aire de Instrumento.....	52
2.7.3 Compresor.....	52
2.7.4 Ventilador. ....	53
2.7.5 Separador de humedad.....	53
2.7.6 Trampa de Líquidos. ....	54
2.7.7 Bomba.....	54
2.7.8 Válvula.....	55
2.7.9 Motor Eléctrico. ....	56
2.7.10 Depósito de Aire.....	56
2.7.11 Filtros.....	57
2.7.12 Torres Secadoras por absorción. ....	57
2.7.13 Nitrógeno como Aire Para Instrumento. ....	58
<b>CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>60</b>
3.1 Tipo de Investigación.....	60
3.1.1 Nivel de la Investigación.....	60
3.1.2 Diseño de la Investigación.....	61
3.1.3 Propósito de la Investigación:.....	62
3.2 Técnicas de Investigación, Recolección y Análisis De Datos . ....	63
3.2.1 Observación Directa. ....	63
3.2.2 Entrevistas con el Personal.....	63
3.2.3 Encuestas.....	64
3.2.4 La Descripción.....	64
3.2.5 Gráficas. ....	64

3.2.6 La Explicación. ....	64
3.2.7 Análisis de Criticidad. ....	64
3.2.8 Mantenimiento centrado en Confiabilidad (MCC). ....	65
3.2.9 Documentación. ....	65
3.2.10 La Predicción. ....	65
3.2.11 Manejo de Programas de Computación. ....	65
3.3 Instrumentos de Recolección Y Análisis de Datos. ....	66
3.3.1 Equipos. ....	66
3.3.2 Materiales. ....	67
3.3.3 Sustancias. ....	67
3.4 Población y Muestra. ....	67
3.5 Etapas de la Investigación. ....	68
3.5.1 Revisión Bibliográfica. ....	68
3.5.2 Identificación, Diagnostico y Recopilación de Información del Sistema, Equipos y componentes a Estudiar. ....	69
3.5.3 Determinación de los componentes de los Equipos Relevantes del Sistema. ....	69
3.5.4 Aplicación de Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF). .....	71
3.5.5 Establecer Árbol Lógico de Decisiones. ....	71
3.5.6 Diseño del Plan de Mantenimiento. ....	72
3.5.7 Sistema de Recolección de Información. ....	73
<b>CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL TRABAJO</b> .....	<b>74</b>
4.1 Equipo Natural de Trabajo (Ent). ....	74
4.2 Contexto Operacional. ....	75
4.2.1 Descripción del Sistema de Aire para Instrumentos y Servicios. ....	75
4.2.1.1 Subsistema de Compresión del Aire. ....	76

4.2.1.2 Subsistema de Secado.....	78
4.2.1.3 Subsistema de Suministro Alterno de Nitrógeno. ....	79
4.2.1.4 Subsistema de Almacenado de Aire Seco.....	80
4.2.2 Descripción del Compresor de Aire.....	81
4.2.3 Factores Operacionales. ....	84
4.2.4 Factores de Mantenimiento. ....	84
4.2.5 Sistema de Seguridad. ....	84
4.2.6 Sistema de Protección de los Equipos. ....	85
4.3 Diagnostico de la Situación Actual de los Equipos. ....	86
4.3.1 Verificación del Estado Actual de los Equipos del Sistema. ....	86
4.3.2 Recolección de Parámetros Operaciones. ....	87
4.4 Identificación de los Componentes Críticos del Sistema. ....	90
4.5 Análisis de Modos y Efecto de Fallas (Amef).....	101
4.6 Árbol Lógico de Decisión. ....	105
4.7 Plan de Mantenimiento. ....	110
4.8 Sistema de Recolección de Información.....	115
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>119</b>
5.1 Contexto Operacional. ....	119
5.2 Diagnostico de la Situación Actual de los Equipos. ....	120
5.3 Análisis de Criticidad.....	121
5.4 Análisis de Modos y Efecto de Falla. ....	124
5.5 Árbol Lógico de Decisiones. ....	125
5.6 Plan de Mantenimiento. ....	130
5.7 Sistema de Recolección de Información.....	132
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>133</b>
CONCLUSIONES. ....	133
RECOMENDACIONES.....	135

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>136</b>
<b>APÉNDICE A. PARTES DEL COMPRESOR.....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>APÉNDICE B. ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>APÉNDICE C. HOJAS DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>APÉNDICE D. HOJAS DE DECISIÓN¡</b>	<b>ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>APÉNDICE E. PLAN DE MANTENIMIENTO .....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>APÉNDICE F. FORMATOS DE REGISTRO .....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO.....</b>	<b>138</b>

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años el área de mantenimiento, ha cambiado aceleradamente, principalmente en aspectos de tipo tecnológico, organizacional, documental y económico. Esto como consecuencia a la importancia que se le atribuye en el ámbito industrial, pasando a formar parte e influyendo de forma directa sobre la gestión y sobrevivencia de cualquier empresa, puesto que actualmente es el encargado de asegurar la condición operativa de una instalación, tomando en cuenta factores importantes como: seguridad del personal y del medio ambiente, gasto generales y utilización de recursos disponibles.

En búsqueda de mejoras sobre la gestión de mantenimiento, se han creado técnicas, metodologías y filosofías, denominadas como Mantenimiento de Clase Mundial, las cuales se fundamentan en cubrir principalmente aspectos importantes y generar propuestas tanto para contextos generales como específicos. Entre las nuevas tendencias encontramos: Mantenimiento Productivo Total (MPT), Mantenimiento Basado en Condición (MBC), Optimización Costo Riesgo (OCR) y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), ésta última utilizada en este trabajo.

El mantenimiento Centrado en confiabilidad, fue desarrollado en principio por la aviación comercial de Estados Unidos, en los años 1960 y 1970, en cooperación con entidades como la NASA y Boeing, posteriormente generando gran aceptación sobre sectores de generación de energía, petroquímicos, gasíferos, refinación, industria manufacturera, entre otros. El MCC se basa en determinar lo que debe hacerse para asegurar

que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente, tratando de minimizar o mitigar las consecuencias negativas que puedan generarse sobre la producción, costos y seguridad.

Partiendo de lo anterior, la empresa PDVSA GAS, con actitudes proactivas, encargada de explorar, producir, transportar, procesar, distribuir y comercializar gas natural y sus derivados en Venezuela, se encuentra implementado políticas de mantenimiento actualizadas, por lo que el propósito de este trabajo consistió en diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para sistemas de aire en plantas de extracción de líquidos del gas natural, como caso específico la Planta de Extracción San Joaquín. La metodología del MCC fue elegida para este trabajo por no encontrarse disponible historiales ni registros confiables, siendo esta técnica la más recomendable.

Incluido a lo anteriormente descrito, el interés del trabajo radica en que el sistema actualmente presenta inconvenientes que influyen adversamente sobre la gestión de manteniendo, como lo son incremento de las paradas no programadas, gran cantidad de horas extras utilizadas, desgaste de los equipos por vejes, igualmente la importancia que representa para lograr normal producción en la planta.

El presente trabajo consta de V capítulos, descritos a continuación:

El capítulo I, denominado El Problema, se describe brevemente las generalidades de la empresa PDVSA GAS, que van desde su historia, estructura, pasando por el complejo criogénico de oriente, hasta llegar a la Planta de Extracción San Joaquín, lugar de realización de la investigación.

Además se muestra el planteamiento del problema, el objetivo general y los objetivos específicos a cumplir para lograr la solución al problema.

En el segundo capítulo, Fundamentos Teóricos, se definen, explican y estructuran aspectos relacionados con el trabajo, comenzando por mantenimiento, el cual es el tema general del trabajo, análisis de criticidad y mantenimiento centrado en confiabilidad. Aunado a esto se hace mención a uso del gas natural, el proceso de producción en la planta y definiciones de los equipos del sistema objeto de estudio.

El capítulo III, Marco Metodológico, se mencionan los tipos de investigación que abarca el estudio, las técnicas y métodos empleados, instrumentos, población y muestra, sistemática de las etapas de la investigación.

El capítulo IV, llamado Desarrollo del Trabajo, se describe la secuencia y los parámetros utilizados para el diseño del plan, así mismo se presentan los resultados obtenidos en cada etapa de la investigación. Seguidamente en el capítulo V, se analizan los resultados, a fin de entender, justificar y cerciorarse de que el plan diseñado propicie las mejoras y cumpla con los objetivos planteados.

Como parte final, las 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 sistema.

# **CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA**

## **1.1 Generalidades De La Empresa.**

PDVSA Gas, es una empresa comercial, cuyo accionista es el estado venezolano. Se encarga de explorar, producir, transportar, procesar, distribuir y comercializar 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. La empresa propicia un clima organizacional favorable para los trabajadores y promueve la incorporación del sector privado en el desarrollo de la industria del gas.

PDVSA Gas sufre la demanda de gas metano a más de 460 mil clientes residenciales / comerciales. Adicionalmente produce 193,2 mil barriles diarios de líquidos del gas natural de los cuales la exportación de productos fraccionados alcanza un 34 por ciento.

### **1.1.1 Reseña Histórica de la Empresa.**

El estallido que se produjo el día 14 de diciembre de 1922 en el pozo de la SHELL llamado Barroso 2, ubicado en la costa del Lago de Maracaibo, es el acontecimiento que sirve como referencia para indicar el inicio de la industria petrolera en Venezuela, ya que implicó el comienzo de las actividades de la Compañía Gulf en el país. El desarrollo de la industria petrolera en Venezuela comenzó a tomar forma definitiva con la promulgación de la Ley de Hidrocarburos en 1943, en la cual se reconocía al Estado el derecho de explorar y explotar los hidrocarburos. En el año 1967, mediante una reforma parcial de la Ley de Hidrocarburos, se hace la

introducción de la figura legal de los contratos de servicios como una nueva fórmula jurídica de contratación entre el Estado Venezolano y las empresas transnacionales. El Estado es entonces representado por la Corporación Venezolana de Petróleo (CVP).

Con la nacionalización del petróleo (1975–1976) el Ejecutivo Nacional crea a Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) a quien se la asignó la tarea de gestionar la Industria Petrolera una vez nacionalizada a través del decreto 1.123, en ese momento surgen catorce (14) empresas operadoras. En los años (1977-1978) el Ejecutivo Nacional racionaliza la Industria Petrolera Nacional. Entre dicha racionalización, quedan como empresas activas Corpoven, Lagoven, Maraven y Meneven, de las catorce (14) empresas operativas, siendo responsables de la explotación, producción, transporte, refinación y comercialización del petróleo y el gas tanto en el mercado nacional como en el internacional. Corpoven, registrada como filial de Petróleos de Venezuela en Noviembre de 1978, inicia sus operaciones el 18 de Diciembre de ese año, se fusiona con Meneven en junio de 1986, convirtiéndose en una empresa integrada con presencia en oriente, centro occidente y sur de Venezuela. Corpoven SA., realizaba todas las actividades inherentes a la industria de los hidrocarburos, desde la exploración, producción y transporte, hasta la refinación, almacenamiento y comercialización nacional e internacional de petróleo crudo y sus derivados. También efectuaba la extracción y procesamiento de los gases licuados del petróleo (GLP), además de la comercialización y distribución del gas natural hacia los sectores industriales y domésticos.

Un nuevo proceso de integración que se realizó en 1998, dió origen a la nueva gerencia de PDVSA para el procesamiento de gas, producto de una fusión entre las cuatro operadoras existentes involucradas con la industria,

este proceso de reorganización de la empresa tuvo lugar el 1 de Enero de 1998 con la creación de PDVSA GAS, convirtiéndose en responsable del procesamiento, transmisión, distribución y comercialización de todo el LGN, metano y gas natural producido por PDVSA. En la figura 1.1 se muestra el proceso de fusión o racionalización de la industria petrolera en nuestro país.



**Figura 1.1.** Proceso de Racionalización de la Industria Petrolera (1976-2008)

**Fuente:** Servicio de Información de PDVSA GAS.

### 1.1.2 Estructura de PDVSA GAS.

La sede principal de PDVSA Gas se encuentra en la avenida Francisco de Miranda, urbanización La Floresta, Caracas, Venezuela. PDVSA Gas dispone de oficinas gerenciales y comerciales a lo largo del territorio nacional donde mantiene operaciones. Está dividida en dos grupos regionales de operación: región oriente y región occidente. La región oriente lo conforman las plantas: fraccionamiento JOSE, Extracción San Joaquín, Extracción Jusepín y Extracción Santa Bárbara. La región occidental lo conforman las plantas: fraccionamiento Ulé y fraccionamiento Bajo Grande en occidente. A su vez PDVSA Gas posee dos puertos de desembarque: despacho JOSE en

oriente y Ulé en Occidente. En la figura 1.2 se representa la distribución operacional básica de PDVSA gas.



**Figura 1.2.** Ubicación Geográfica Áreas Administrativas y Operativas de PDVSA GAS.

**Fuente:** Servicio de Información de PDVSA GAS.

### 1.1.3 Complejo Criogénico de Oriente (CCO).

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

El CCO lo componen tres Plantas de Extracción de Líquidos: San Joaquín y Santa Bárbara y Jusepín con capacidades de producción de 1000, 800 y 400 MMPCD (Mil Millones de Pies Cubicos Diarios) respectivamente y una Planta de Fraccionamiento situada en Jose con una capacidad de procesamiento de 150 MBD (Mil Barriles Diarios) y un Total de 312 Kilómetros de poliductos; instalaciones de almacenamiento y un muelle de despacho, situado en JOSE, a orillas del Mar Caribe. (Ver figura 1.3).



**Figura 1.3.** Ubicación Geográfica del Complejo Criogénico de Oriente.

**Fuente:** Servicio de Información de PDVSA GAS, con Adaptación Propia.

#### 1.1.4 Planta de Extracción San Joaquín.

La planta de extracción de líquidos del gas natural San Joaquín, está ubicada geográficamente en el Oriente del país, al sur del estado Anzoátegui específicamente en la localidad de Buena Vista a 12 km. aproximados de la ciudad Anaco y a 100 km. de la Ciudad de Barcelona. En la figura 1.4, se visualiza la ubicación geográfica de la planta.

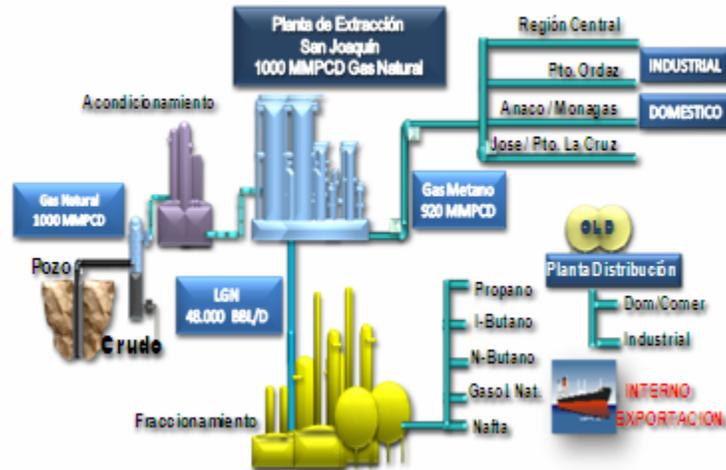
La planta originalmente estaba constituida por dos trenes de proceso idénticos que producían 400 MMPCD (Mil Millones de Pies Cúbicos Diarios) diseñados por Fish Engineering and Construction Inc. y construidos por Brown and Root en 1985, año en que comenzó a funcionar la planta. Dichos trenes fueron ampliados a 500 MMPCD cada uno en 1992 por la Fluor Daniel basados en tecnología propia.



**Figura 1.4.** Ubicación Geográfica de la Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Servicio de Información de PDVSA GAS, con Adaptación Propia.

Para el procesamiento del Gas Natural en la planta (ver figura 1.5), el mismo es extraído de yacimientos junto con el petróleo crudo. De allí, se separan los hidrocarburos para su procesamiento, el gas fluye hacia una etapa de acondicionamiento, donde generalmente se deshidrata y endulza. Posteriormente fluye hacia una planta de Extracción de Líquidos de Gas Natural. Para el caso de la Planta de extracción San Joaquín, la cual es capaz de procesar 1.000 MMPCD (Millones de Pies Cúbicos Diarios) de Gas Natural. De allí Se obtienen dos grandes productos que luego son comercializados: los líquidos del gas natural (LGN) produciendo 48.000 BBL/D (Barriles Diarios) enviados a fraccionamiento JOSE y 920 MMPCSD de gas natural residual, que luego es transmitido y distribuido a industrias y hogares. La planta basa su extracción de líquidos en la expansión sucesiva del gas y en el aprovechamiento de las corrientes internas del proceso como fuentes de enfriamiento y calentamiento de las diferentes etapas.



**Figura 1.5.** Gas Natural en el entorno de la Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Servicio de Información de PDVSA GAS.

## 1.2 Planteamiento Del Problema.

El sistema de aire para instrumentos y servicios pertenece a los servicios auxiliares y sirve de apoyo para que se lleve con normalidad las operaciones. Éste es de suma importancia, ya que es el encargado de suministrar el aire necesario para mantener en funcionamiento las válvulas de control, válvulas de parada de emergencia (ESD) y accionadores de la planta, haciéndolo fundamental para la seguridad operacional, humana, de la planta y del medio ambiente. El sistema está compuesto por: el subsistema de compresión, el cual se encarga de elevar la presión del aire, éste posee dos trenes colocados en paralelo, formados por un compresor recíprocante de dos etapas para aumentar la presión, un ventilador como medio de enfriamiento del aire y agua, una bomba para hacer fluir el agua por las camisas del compresor y separadores de humedad para deshidratar las corrientes de aire. El subsistema de secado, donde el aire es recibido por un depósito de aire húmedo, para luego pasar por filtros y torres secadoras para

deshumidificar el aire completamente. Existe un subsistema de reserva llamado suministro alternativo de nitrógeno, el cual supe la demanda de aire en caso de fallar los subsistemas anteriores, mediante nitrógeno líquido almacenado en un tanque y una válvula de control para manejar el flujo. El subsistema final es el de almacenamiento de aire, compuesto por filtros y un depósito de aire seco.

El sistema presenta diversas alarmas y fallas, en los compresores, ventiladores y bombas, que van desde altas temperaturas, altas vibraciones y excesivo ruido, generando así condiciones desfavorables para el sistema. La ocurrencia de estas fallas es por la larga vida operativa de los equipos y la falta de una política de mantenimiento actualizada de la empresa.

Este trabajo de investigación comprende la elaboración de un plan de mantenimiento basado en la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), el cual estará estructurado de la siguiente forma: diagnóstico de los equipos del sistema, jerarquización de los componentes de los equipos utilizando el análisis de criticidad, análisis de modos y efectos de fallas a los componentes críticos, aplicar el árbol lógico de decisiones para determinar el tipo de mantenimiento a aplicar para cada modo de falla, luego establecer la frecuencia inicial y asentarlas en la hoja de decisión. Es importante acotar que la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), fue seleccionada para realizar este plan de mantenimiento, debido a que en la empresa no se dispone de histórico de fallas.

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1 Objetivo General.**

Diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) para sistemas de aire en plantas de extracción de líquidos de gas natural. Planta de Extracción San Joaquín. Buena Vista, Estado Anzoátegui.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

1. Diagnosticar la situación actual de los equipos pertenecientes al sistema de aire para instrumentos y servicios.
2. Identificar los componentes de los equipos que acarrearán mayor relevancia en el sistema de aire para instrumentos y servicios, aplicando un análisis de criticidad.
3. Realizar un análisis de modos y efectos de falla (AMEF) a los componentes críticos de los equipos del sistema de aire para instrumentos y servicios.
4. Determinar tareas y frecuencias de mantenimiento a los componentes críticos de los equipos del sistema.
5. Elaborar un plan de mantenimiento que genere mejoras en la gestión de mantenimiento.

## CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Antecedentes.

La metodología del mantenimiento Centrado en Confiabilidad ha causado aceptación dentro del área de mantenimiento, por lo que actualmente es comúnmente utilizado. Entre las referencias encontradas mencionamos las siguientes:

❖ En 2007, Montaña L., diseñó un plan de mantenimiento para el sistema de medición de gas del Complejo Santa Rosa, PDVSA – GAS, Distrito Social Anaco. Entre sus conclusiones más resaltantes se citan las siguientes: los equipos críticos son la cámara de presión diferencial (DPU), el resorte Bourdon y el reloj, por cuanto tiene la mayor influencia sobre la medición y se obtuvieron tres (3) tareas de reacondicionamiento cíclico, nueve (9) tareas de sustitución cíclica, cuatro (4) tareas de búsqueda de fallo, tres (3) de ningún mantenimiento programado y un (1) rediseño obligatorio. <sup>[4]</sup>

❖ En 2007, Torres R., definió las estrategias para el mejoramiento del plan de mantenimiento de las bombas de doble tornillo ubicadas en el Terminal Orimulsión®. Las conclusiones que causaron mayor impacto son las siguientes: El sistema de lubricación de las bombas es el mayor causante de fallas en las mismas y acumula el 52% de las fallas totales en el período de estudio y el programa de mantenimiento propuesto presenta un 68% de actividades preventivas y 32% de actividades correctivas. <sup>[9]</sup>

❖ En el año 2007, Calderón W., estableció las tareas de mantenimiento para garantizar la operatividad y la confiabilidad de los equipos rotativos del centro de almacenamiento y transporte de crudo Jusepín PDVSA mediante la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Los resultados más resaltantes fueron los siguientes: Para las Bombas Principales 29 Tareas de Reacondicionamiento Cíclico, 23 Tareas a Condición, 7 actividades de ningún mantenimiento preventivo programado y 2 Tareas de sustitución cíclica y para las Bombas Booster 13 Tareas de Reacondicionamiento Cíclico, 12 Tareas a Condición, 6 actividades de ningún mantenimiento preventivo programado y 1 Tarea de sustitución. [5]

## **2.2 Mantenimiento.**

Conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que cumpla las funciones para las cuales fueron diseñados y asignados o restablecer dicha condición cuando esta se pierde. [7]

### **2.2.1 Objetivos del Mantenimiento.**

- ❖ Mejorar continuamente los equipos hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.
- ❖ Aprovechar al máximo los componentes de los equipos, para disminuir los costos de mantenimiento.
- ❖ Garantizar el buen funcionamiento de los equipos, para aumentar la producción.
- ❖ Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.
- ❖ Maximizar el beneficio global. [7]

## 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 2.1 se muestra los tipos de mantenimiento. [7]



**Figura 2.1.** Tipos de Mantenimiento.

**Fuente:** Ing. Diógenes Suárez “Guía Teórico-Práctico Mantenimiento Mecánico” (2001).

### 2.2.2.1 Mantenimiento Preventivo.

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. Las ventajas que proporciona este tipo de mantenimiento 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.<sup>[7]</sup>

#### **2.2.2.1.1 Tipos de Mantenimiento Preventivo.**

##### **❖ Mantenimiento Sistemático.**

Son actividades establecidas en función del uso del equipo (horas, kilómetros, etc.).<sup>[7]</sup>

##### **❖ Mantenimiento de Ronda.**

Es aquel donde se dan instrucciones para atender al equipo en forma muy frecuente y estable; se basa en el concepto de que mientras mejor atendida este la máquina, genera menor cantidad de problemas.<sup>[7]</sup>

##### **❖ Mantenimiento Condicional.**

Son actividades basadas en el seguimiento del equipo mediante el diagnóstico de sus condiciones.<sup>[7]</sup>

##### **❖ Mantenimiento Predictivo.**

Consiste en el monitoreo de condiciones y análisis del comportamiento de los equipos para determinar intervenciones, según los niveles de admisibilidad.<sup>[7]</sup>

#### **2.2.2.2 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.<sup>[7]</sup>

### **2.2.3 Sistema de Mantenimiento.**

Un sistema 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.

Los sistemas de mantenimiento también contribuyen en el logro de las metas al incrementar las utilidades y la satisfacción del cliente. Estas se logran reduciendo el mínimo el tiempo muerto de la planta, mejorando la utilidad, incrementando la productividad y entregando oportunamente los pedidos a los clientes. El Objetivo del mantenimiento es asegurar la competitividad de la empresa por medio de:

- ❖ Garantía de la disponibilidad y confiabilidad planeada.
- ❖ Satisfacción de todos los requisitos de calidad.
- ❖ Maximizar el beneficio global.
- ❖ Adecuada disponibilidad de equipos e instalaciones al costo más conveniente. <sup>[4]</sup>

### **2.2.4 Planificación y Programación del Mantenimiento.**

Es el diseño de programas de actividades de mantenimiento, distribuidas en el tiempo, donde la frecuencia puede ser conocida o desconocidas, los recursos asignados dependiendo de la situación actual y contexto de los equipos y permite mantener los equipos en operación para cumplir con las metas de producción preestablecidas por la organización.

El inicio de mantenimiento es la planificación, donde se prepara la ejecución de los trabajos, consiguiendo la participación de todos los recursos y resolviendo todos los problemas que puedan afectar su eficiente ejecución.

### **2.2.5 Tipos de Planes.**

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).<sup>[4]</sup>

### **2.3 Análisis de Criticidad.**

El análisis de criticidad permite establecer niveles jerárquicos en procesos, sistemas, equipos y componentes en función del impacto global que se generan, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones. También es el análisis de confiabilidad que establece un orden de prioridades de mantenimiento sobre una serie de instalaciones y equipos, otorgándole un valor numérico o estatus, en función de ciertos factores a tomar en cuenta.

El análisis se orienta a través de tormenta de ideas en una reunión de trabajo con un grupo multidisciplinario conformado por la línea supervisora y trabajadores de operaciones y mantenimiento, ingeniería de procesos o infraestructura y analista de mantenimiento, con la finalidad de unificar criterios y validar la información.<sup>[7]</sup>

#### **2.3.1 Clasificación de los Equipos según su Criticidad.**

Los equipos se clasifican de acuerdo a su criticidad en Categorías:

- ❖ No crítico.
- ❖ Semi-crítico.
- ❖ Crítico.<sup>[7]</sup>

#### **2.3.2 Metodología D.S. Para Determinar Criticidad.**

Es un método diseñado por el Ing. Msc. Diógenes Suárez, el cual se encarga de determinar la criticidad de equipos o componentes, basado en

estudiar por separado factores del área de mantenimiento y el de operación, con fin de ponderarlos y determinar la criticidad.<sup>[7]</sup>, ver figura 2.2.



**Figura 2.2.** Matriz de Criticidad de la Metodología D.S.

**Fuente:** Ing. Diógenes Suárez “Guía Teórico-Práctico Mantenimiento Mecánico” (2001).

La criticidad a determinar por este método, depende de los siguientes factores:

❖ **En el área de mantenimiento:**

**Cantidad de fallas ocurridas.**

Este parámetro es la cantidad o número de veces que el activo falla en el tiempo de estudio.<sup>[7]</sup>

**MTFS.**

El tiempo medio fuera de servicio, es el promedio del tiempo que el activo esta indisponible o fuera de servicio, durante el tiempo de estudio.<sup>[7]</sup>

$$MTFS = \frac{\sum_{i=1}^n TFS}{N} = \frac{TFS_1 + TFS_2 + TFS_3}{3} \quad \text{Ec. 2.1}$$

### Disponibilidad de Repuestos.

Es el porcentaje de componentes nuevos adquiridos con respecto a la cantidad de repuestos pedidos o necesarios para mantenimiento. <sup>[7]</sup>

$$DR = \frac{\text{Cantidad Satisfecha}}{\text{Cantidad Demandada}} \times 100 \quad \text{Ec. 2.2}$$

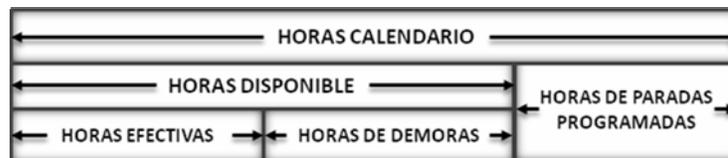
### Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo.

Es el porcentaje en que se ejecutan las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo. <sup>[7]</sup>

$$CMP = \frac{\text{ODT Ejecutadas}}{\text{ODT Emitidas}} \times 100 \quad \text{Ec. 2.3}$$

### Efectividad.

Es el porcentaje del tiempo en que el activo está realmente en operatividad con respecto al tiempo programado para estar operativo, (ver figura 2.3). <sup>[7]</sup>



**Figura 2.3.** Distribución de las Horas de Mantenimiento.

**Fuente:** Ing. Diógenes Suárez “Guía Teórico-Práctico Mantenimiento Mecánico” (2001).

$$\text{Efectividad} = \frac{\text{Horas Efectivas}}{\text{Horas Disponibles}} \times 100 \quad \text{Ec. 2.4}$$

**Backlog.**

Indica la cantidad de trabajo pendiente por realizar en un periodo determinado en función de las horas disponibles. Se recomienda evaluar este indicador semanalmente. <sup>[7]</sup>

$$\text{Backlog} = \frac{\text{H} - \text{H de las Ordenes de Trabajo Pendientes por Ejecución}}{\text{H} - \text{H Disponibles por Semanas}} \quad \text{Ec. 2.5}$$

❖ **En el área de operaciones:****Tipo de Conexión.**

Este factor evalúa como está conectado el activo operacionalmente, ya sea en serie, paralelo o combinación. <sup>[7]</sup>

**Costo de Producción en el Periodo a Evaluar.**

Este indicador resulta de la comparación de los costos que trae como consecuencia la falla del activo, con los costos que se propone como meta la organización. <sup>[7]</sup>

**Seguridad del Personal, Equipos y/o Ambiente.**

Es la evaluación de las consecuencias por falla del activo sobre la seguridad de las personas, los equipos y el medio ambiente. <sup>[7]</sup>

Para el cálculo de la criticidad, se deben tener los valores del área de mantenimiento y el área de operaciones, para luego ingresarlos a la fórmula 2.6, mostrada a continuación:

$$\text{Criticidad} = (0,027 \times \text{Puntos Mantto} + 0,0555 \times \text{Puntos Oper}) \times 100 \quad \text{Ec. 2.6}$$

Para conocer la clasificación de criticidad del activo, se debe comparar con la tabla 2.1 que se muestra a continuación:

**Tabla 2.1.** Valores para Clasificación de la Criticidad de los Activos para la Metodología DS.

<i>Criticidad</i>	
<b>No Crítico</b>	( $33 \leq$ Ponderación total $< 50\%$ )
<b>Semi-Crítico</b>	( $50 \leq$ Ponderación total $< 70\%$ )
<b>Crítico</b>	(Ponderación total $\geq 70\%$ )

#### **2.4 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.**

El MCC es una filosofía desarrollada durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los recursos físicos o sistemas y manejar las consecuencias de sus fallas, para que así continúe prestando el servicio que sus usuarios quieren de él. Una definición más amplia de MCC podría ser “un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúa desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente”. Esta filosofía trata de determinar las estrategias más adecuadas al contexto de operación, siendo exigido que no sólo sean técnicamente factibles, sino económicamente viables trabajando de manera funcional, organizada, lógica y documentada.

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. <sup>[8]</sup>

#### **2.4.1 Ventajas y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad.**

El MCC ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos diez años. 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. <sup>[8]</sup>

#### **2.4.2 Equipo Natural de Trabajo.**

Es el conjunto de personas de diferentes funciones de la organización, que trabajan juntas por un periodo de tiempo determinado en un clima de potenciación de energía, para analizar los problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común. Los equipos naturales de trabajo son vistos como los mayores contribuyentes al valor de la empresa, y trabajan consistentemente a largo plazo.

En la práctica, el personal de mantenimiento no puede contestar todas las preguntas por sí mismos. Esto porque muchas de las respuestas solo las pueden dar el personal de operaciones, los cuales se aplica especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de las fallas y las consecuencias de los mismos. Por esta razón, una revisión de los

requisitos de mantenimiento de cualquier equipo debería hacerse por equipos de trabajos reducidos que incluyan una persona por lo menos de mantenimiento y otra de producción, en la figura 2.4 se muestra un ejemplo básico de un Equipo Natural de Trabajo. . [8]



**Figura 2.4.** Representación Típica de un Grupo de Trabajo de MCC.

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

### 2.4.3 Contexto Operacional.

El primer documento que se realiza para un análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, es el contexto operacional, lo que debe realizarse muy cuidadosamente por que 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. [8]

#### 2.4.4 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, en la figura 2.5 se observa las preguntas del MCC.<sup>[8]</sup>



**Figura 2.5.** Preguntas Básicas del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

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

#### 2.4.5 Análisis de Modo y Efecto de Fallas.

El Análisis de los modos y efectos de Fallas (AMEF), constituye la herramienta principal del MCC, para la optimización de la gestión de

mantenimiento en una organización determinada. El AMEF es un método sistemático que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Hay que tener presente que la realización del AMEF, constituye la parte más importante del proceso de implantación del MCC, ya que a partir del análisis realizado por los grupos de trabajo MCC, a los distintos activos en su contexto operacional, se obtendrá la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias.

El AMEF busca responder las 5 primeras preguntas básicas del MCC, definiendo así para cada activo sus funciones, sus fallas funcionales, los modos de falla y su efecto de fallas. [8]

#### **2.4.5.1 Funciones y Estadares de Funcionamiento.**

Da inicio a la aplicación del MCC y consiste en determinar las funciones específicas y los estándares de comportamiento funcional, asociado a cada uno de los activos objeto de estudio en su contexto operacional. [8]

##### **❖ Funciones Primarias.**

Las funciones primarias de un elemento son las razones por las que existe, de modo que normalmente es una tarea sencilla identificarlas y describirlas. A menudo se identifica la función primaria por el nombre del elemento. [8]

##### **❖ Funciones Secundarias.**

Además, de sus funciones primarias, casi todo elemento tiene diversas funciones secundarias. Suelen ser menos obvias que las funciones primarias, pero su falla puede traer graves consecuencias, a veces más graves que las de al falla de una función primaria. Estas funciones son definidas por los criterios o estándares de funcionamiento. <sup>[8]</sup>

#### ❖ **Dispositivos de Seguridad.**

Es cuanto más complejos sean los equipos, crecerá casi exponencialmente el número de maneras en que puede fallar. Esto conlleva a un crecimiento correspondiente en la variedad y la severidad de las consecuencias de las fallas. <sup>[8]</sup>

#### ❖ **Funciones Superfluas.**

A veces se encuentran elementos o componentes que son totalmente superfluos. Esto suele suceder cuando el equipo ha estado sometido a modificaciones frecuentes a través de un largo período de tiempo, o cuando la especificación de un equipo nuevo es innecesariamente compleja. (Estos no se aplican a los componentes redundantes incorporados por razones de seguridad, sino a los elementos que no tengan utilidad alguna dentro del contexto bajo consideración). <sup>[8]</sup>

#### **2.4.5.2 Fallas Funcionales.**

Las fallas funcionales se producen por la incapacidad de un elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. Para definir una falla funcional sólo se requiere escribir la función en sentido negativo, es decir, negar la función. <sup>[8]</sup>

### **2.4.5.3 Modos de Fallas.**

Son las razones que dan origen a las fallas funcionales, es decir, lo que hace que la planta, sistema o activo no realice la función deseada. Cada falla funcional puede ser originada por más de un modo de falla y cada modo de falla tendrá asociado ciertos efectos, que son básicamente las consecuencias de que esta falla ocurra. <sup>[8]</sup>

### **2.4.5.4 Efecto de Fallas.**

Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). Este paso permite decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario. <sup>[8]</sup>

### **2.4.6 Árbol Lógico de Decisiones (ALD).**

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. <sup>[8]</sup>

#### **2.4.6.1 Consecuencia de los Fallas.**

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 2.6. <sup>[8]</sup>

#### **❖ Consecuencia de las Fallas Oculto.**

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 serian mas graves, y a menudo catastróficas. Suelen ser hasta la mitad de los modos de falla de los equipos complejos modernos. [8]



**Figura 2.6.** 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. [8]

#### ❖ 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. [8]

#### ❖ **Consecuencias No Operacionales.**

Los 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. [8]

#### **2.4.6.2 Tareas de Mantenimiento Preventivo.**

Son aquellas que ayudan a decidir qué hacer para prevenir una consecuencia de falla. El que una tarea sea técnicamente factible depende de las características de la falla y la tarea. [8]

#### ❖ **Tares a Condición.**

Consisten en chequear si los equipos están fallando, de manera que se puedan tomar medidas, ya sea para prevenir la falla funcional o para evitar consecuencias de los mismos, las cuales están basadas en el hecho de que un gran número de fallas no ocurren instantáneamente, sino que se desarrollan a partir de un período de tiempo. Los equipos se dejan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado. [8]

#### ❖ **Tareas Cíclicas de Reacondicionamiento.**

Consiste en revisar a intervalos fijos un elemento o componente, independientemente de su estado original. La frecuencia de una tarea de reacondicionamiento cíclico está determinada por la edad en que el elemento o componente exhibe un incremento rápido de la probabilidad condicional de falla. [8]

#### ❖ **Tareas de Sustitución Cíclicas.**

Consisten en reemplazar un equipo o sus componentes a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento. La

frecuencia de una tarea de sustitución cíclica está gobernada por la “vida útil” de los elementos. [8]

#### **2.4.6.3 Tareas a “Falta de”.**

Son las acciones “a falta de” que deben tomarse si no se pueden encontrar tareas preventivas apropiadas. Estas incluyen: la búsqueda de fallas, el no realizar ningún tipo de mantenimiento y el rediseño. Las tareas “a falta de” están regidas por las consecuencias de la falla. [8]

##### **❖ Búsqueda de Fallas.**

Consiste en chequear una función oculta a intervalo regular para verificar si ha fallado. [8]

##### **❖ Ningún Mantenimiento Preventivo.**

Se utiliza cuando la falla no causa consecuencia sobre la producción o la seguridad y no se puede encontrar una tarea preventiva adecuada, por lo que se deja que ocurra la falla y de allí la intervención para la reparación. [8]

##### **❖ El Rediseño.**

Se refiere a cualquier cambio sobre las especificaciones del sistema en estudio, es viable solo cuando las tareas preventivas no son factibles y los modos de falla pueden generar daños sobre la seguridad y la producción. [8]

#### **2.5 Gas Natural.**

Es una mezcla de compuestos hidrocarburos y pequeñas cantidades de compuestos no hidrocarburos que se encuentra en la naturaleza en estado gaseoso, por sí sola o asociada con el petróleo, y que permanece así en condiciones normales de temperatura y presión. En su composición prevalece el metano, aunque también incluye etano y otros hidrocarburos de

la cadena parafina más pesados y en menor proporción. También puede contener otros componentes como nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, helio, dióxido de carbono, agua, etc. [6]

### **2.5.1 Origen del Gas Natural.**

El gas natural se acumula en las capas rocosas del subsuelo. Puede encontrarse disuelto en petróleo crudo, a lo que se llama gas asociado; también como gas libre no asociado o como una mezcla de hidrocarburos gaseosos y líquidos llamado condensado. Tanto el petróleo como el gas natural se encuentran en depósitos naturales contenidos en los espacios porosos de ciertas rocas, en estructuras geológicas denominadas yacimientos. De acuerdo a los niveles de gas o petróleo que contienen los yacimientos, se pueden clasificar como yacimientos de petróleo o de gas asociado (producto principal el petróleo), de condensado (el gas se encuentra mezclado con hidrocarburos líquidos) y de gas libre o gas seco (donde el principal producto es el gas mismo). [6]

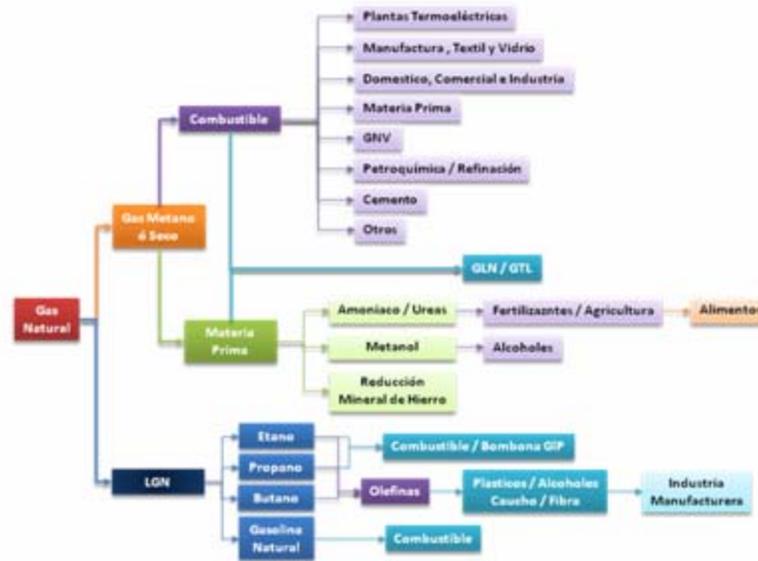
### **2.5.2 Usos del Gas Natural.**

El desarrollo y perfeccionamiento de la tecnología del gas han contribuido decididamente a que esta fuente natural de energía sea factor importante en la vida moderna, tanto para las industrias como para el hogar.

En la figura 2.7, se observa que el gas metano se utiliza como combustible y como materia prima. Como combustible ofrece ventajas que sobrepasan las características de, disponibilidad, eficiencia y manejo de otros combustibles y líquidos. Entre las ventajas se mencionan:

- ❖ Es limpio, no produce durante su combustión hollín por lo que reduce el mantenimiento de los equipos que lo usan.
- ❖ Se maneja a las presiones de entrega deseadas en los sitios de consumo.

- ❖ Su poder calorífico y combustión son altamente eficientes.
- ❖ Volumétricamente es susceptible a la compresión o expansión, en función a la relación presión-temperatura que se le desee imponer. [6]



**Figura 2.7.** Diagrama de Utilización del Gas Natural.

**Fuente:** Servicio de Información PDVSA GAS (1996), con Adaptación Propia.

## 2.6 Descripción General del Proceso de la Planta.

### 2.6.1 Facilidades de entrada

El gas de alimentación de la Planta de Extracción de San Joaquín entra a través de cuatro gasoductos (Santa Ana, Santa Rosa, San Joaquín y el toco), cada gasoducto pasa a un separador, con el fin extraer cualquier líquido arrastrado o contenidos en la corriente gaseosa y separar los hidrocarburos y el agua. Existe también un separador común (apoyo), para uno o varios gasoductos, el gas ingresa aproximadamente a 6894,75 Kpa y su flujo es controlado por válvulas automáticas de control. Las líneas de gas de salida provenientes de cada depurador (separador) se unen para ser trasladados a las instalaciones del proceso. [6]

### **2.6.2 Deshidratación.**

El gas proveniente de las facilidades de entrada se divide en dos caudales, uno hacia el Tren A y otra hacia el Tren B, cada tren cuenta con un sistema idéntico, tanto en el proceso, como equipos y productos.

En cada tren se hace pasar el gas a través de dos Filtros/Separadores operando en paralelo, para extraer cualquier líquido o sólido arrastrado antes de que pasen al contactor de Trietilenglicol (Teg). El gas fluye hacia el contactor pasando de abajo hacia arriba, mientras que el trietilenglicol fluye de arriba hacia abajo, y a medida que hacen contacto, el Trietilenglicol absorbe agua del gas y pasa a regenerarse y el gas seco sale del contactor y se divide en cuatro corrientes: una corriente principal pasa a enfriarse al intercambiador de Gas Caliente/Gas Alta Presión, las otras tres corrientes fluyen para proporcionar calor a los diferentes intercambiadores (Gas/Líquido) a lo largo del proceso.

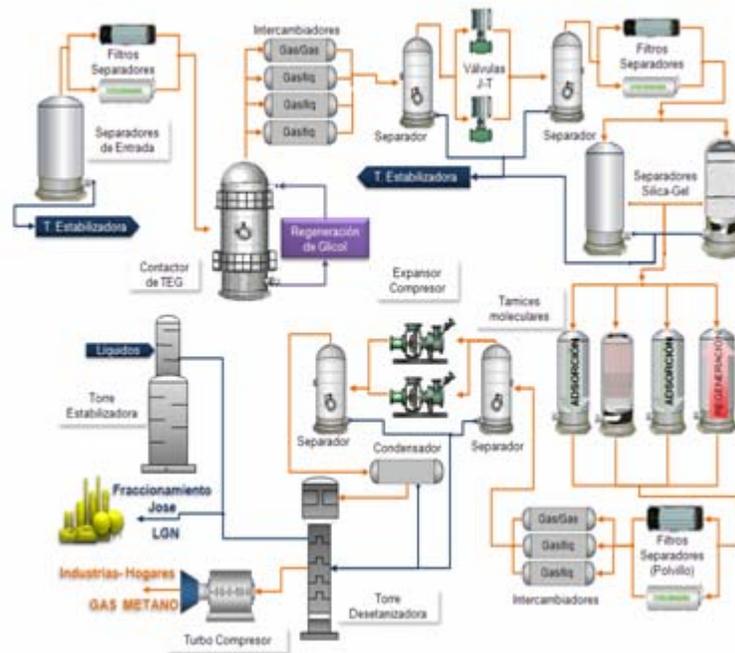
Las corrientes de gas son recombinadas y se dirigen hacia el Separador de entrada de las válvulas J-T, el líquido condensado es extraído y se envía hacia la torre estabilizadora. El gas sale por la parte superior hacia las dos válvulas J-T de alta presión: una Operativa y otra en reserva. Éstas reducen la presión provocando la expansión de gas permitiendo así condensar líquidos del gas; posteriormente, el flujo se envía al separador de salida de las válvulas J-T, el cual se encarga de atrapar los líquidos condensados para dirigirlos hacia la torre estabilizadora. El gas fluye a dos filtros separadores conectados en paralelo, para impedir que líquidos y sólidos sigan en la corriente y puedan contaminar la sílica gel. El gas posteriormente se dirige a los lechos de sílica que continúan separando

líquidos y partículas sólidas como la parafina para evitar que entren a los tamices moleculares y los contamine e inactiven.

El Gas fluye hacia los tamices moleculares, los cuales basan la adsorción de las moléculas de líquidos contenidos en el gas a baja temperatura y alta presión, Esto permite la adsorción del agua hasta provocar menos de 0,1 ppm (Partículas por Millón de volumen de Agua) contenido en el gas, proporcionado un gas deshidratado. Para la regeneración del lecho se hace fluir, a través del mismo, gas residual de proceso y posteriormente incorporarlo a la línea de flujo del proceso. Al salir de los tamices moleculares el gas fluye hacia los filtros de polvillo donde los sólidos más pequeños son extraídos. [6]

### **2.6.3 Enfriamiento y Expansión**

El gas deshidratado se divide en tres corrientes; cada una pasa por intercambiadores de calor para enfriarse y vuelven a combinarse para dirigirse al separador de entrada del expansor-compresor, encargado de extraer los líquidos para enviarlos a la torre deetanizadora y el gas dirigirlo al expansor. El sistema cuenta con dos expansores operando en paralelo, donde la presión se disminuye y el gas consecuentemente se enfría. La expansión del gas ocasiona la condensación de los líquidos del gas, por lo que se hace pasar el flujo al separador de salida de expansor para separar los líquidos y enviarlos a la torre deetanizadora y el gas hasta un condensador. En la figura 2.8 se muestra el diagrama general de procesos de la planta. [6]



**Figura 2.8.** Descripción del Proceso de la Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Manual de Operaciones Extracción San Joaquín(1996), con Adaptación Propia.

#### 2.6.4 Acondicionamiento y Recolección de líquidos.

El condensador se encarga de incrementar la producción de líquidos para hacerlos pasar hasta la torre deetanizadora. La torre de estabilización se utiliza para recoger los condensados de los separadores de entrada a planta, los filtros antes del contactor de glicol, los separadores de entrada y salida de la válvula J-T de alta presión y los filtros de carbón activado y sílica gel antes de los tamices moleculares para extraer agua e hidrocarburos livianos de los líquidos condensados. Los líquidos generados por la torre deetanizadora se combinan con los productos líquidos proveniente de la torre de estabilización de condensado, Posteriormente son enviados hasta las instalaciones de fraccionamiento JOSE. . [6]

### **2.6.5 Gas Residual.**

El gas proveniente de la recompresión con el turbo compresor y el gas residual proveniente de la torre deetanizadora, se combinan para pasar a dos compresores centrífugos de dos etapas colocados en paralelos, lo cuales son accionados mediante turbinas a gas. El gas residual generado se usa para apoyo del proceso y se distribuye a industrias y hogares <sup>[6]</sup>

## **2.7 Sistema de Aire para Instrumentos y Servicios.**

### **2.7.1 Aire Comprimido.**

Es un gas incoloro, insípido e inodoro, de bajo volumen específico y alta presión, que sirve para transmisión de potencia, es comúnmente utilizado para herramientas neumáticas. <sup>[10]</sup>

### **2.7.2 Aire de Instrumento.**

Es un Aire comprimido libre de humedad y partículas sólidas que se utiliza como medio de trabajo para accionar diversos dispositivos de control. <sup>[10]</sup>

### **2.7.3 Compresor.**

Máquina que eleva la presión de un gas, un vapor o una mezcla de gases y vapores. La presión del fluido se eleva reduciendo el volumen específico del mismo durante su paso a través del compresor, por esto los compresores se clasifican generalmente como máquinas de alta presión. <sup>[10]</sup>

#### **❖ Compresor Reciprocante o de Émbolo.**

Los compresores reciprocante funcionan con el principio adiabático, mediante el cual se introduce el gas en el cilindro por las válvulas de entrada,

se retiene y comprime en el cilindro mediante la fuerza de un pistón y sale por las válvulas de descarga. (ver figura 2.9) <sup>[10]</sup>



**Figura 2.9.** Compresor de Aire D4-33701, Planta de Extracción San Joaquín

**Fuente:** Planta de Extracción San Joaquín.

#### **2.7.4 Ventilador.**

Es un equipo rotativo que transmite energía a un fluido, utilizado para bajas presiones, comúnmente utilizado para trabajos de ventilación, enfriamiento, desplazamiento de volúmenes de aire, etc. (ver figura 2.10) <sup>[2]</sup>



**Figura 2.10.** Enfriador D2-33702, Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Planta de Extracción San Joaquín.

#### **2.7.5 Separador de humedad.**

Es un recipiente estático de presión, el cual posee un elemento filtrante, donde su función es deshumidificar corrientes, para así suministrar gases secos a la siguiente etapa del proceso. (ver figura 2.11) <sup>[10]</sup>



**Figura 2.11.** Recipiente Deshidratador D8-33701, Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Planta de Extracción San Joaquín.

### 2.7.6 Trampa de Líquidos.

Es un dispositivo que se utiliza para agarrar y evacuar líquidos condensados, con la finalidad de que no regresen al proceso. Son comúnmente utilizados en sistemas donde se necesite un flujo de gas seco, en el cual éstas puedan incrementar y facilitar la remoción del líquido. (ver figura 2.12) <sup>[10]</sup>



**Figura 2.12.** Trampa de Líquidos del Sistema de Aire, Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Planta de Extracción San Joaquín.

### 2.7.7 Bomba.

Es una máquina hidráulica generadora, que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve. En general, una bomba se

utiliza para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud. [2]

#### ❖ Bomba Centrífuga.

Es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que lo conduce hacia la tubería de salida. (ver figura 2.13) [2]



**Figura 2.13.** Bomba D3-33701, Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Planta de Extracción San Joaquín.

#### 2.7.8 Válvula.

Es un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación un flujo por uno o más orificios y conductos. Existen válvulas de alivio, check, control, entre otras, las cuales son utilizadas según el propósito querido. En la figura 2.14 se muestra una válvula de control y en la figura 2.15 una válvula de alivio. [2]



**Figura 2.14.** Válvula de Control PIC-33709  
Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Planta de Extracción San Joaquín.



**Figura 2.15.** Válvula de Alivio PSV-33716,  
Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Planta de Extracción San Joaquín.

### 2.7.9 Motor Eléctrico.

Es un dispositivo dinamoeléctrico encargado de transformar energía eléctrica en energía mecánica por medio de la interacción de campos magnéticos. Un motor se puede utilizar para convertir energía mecánica en energía eléctrica dando lugar a un generador de energía eléctrica.

### 2.7.10 Depósito de Aire.

Es un equipo estático, el cual sirve de almacenaje para volúmenes de aire. Generalmente son diseñados según la capacidad del compresor, sistema de presión de trabajo y variaciones del consumo de aire. Son utilizados comúnmente cuando la demanda excede momentáneamente la capacidad del compresor, captar y evacuar condensados residuales, compensar variaciones de presión y evitar ciclos de carga-descarga del compresor demasiado frecuentes. (ver figura 2.16)



**Figura 2.16.** Receptores de Aire D8-33704/05, Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Planta de Extracción San Joaquín.

### 2.7.11 Filtros.

Son equipos estáticos, que se utilizan para eliminar los contaminantes y sean llevados hasta una siguiente etapa, donde ensucien o produzcan daños. Generalmente son utilizados antes de un equipo al cual las partículas sólidas los dañen o después de un equipo que genere contaminación a la corriente. (ver figura 2.17) <sup>[10]</sup>



**Figura 2.17.** Filtros de Aire D11-33701/02/03/04, Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Planta de Extracción San Joaquín.

### 2.7.12 Torres Secadoras por absorción.

Es un equipo estático, que se utiliza para deshidratar el aire o gas completamente, ya que en muchos casos es imprescindible, como por ejemplo, aire de instrumento de aire, procesos con rápida expansión,

transporte de pintura en polvo, entre otros. En éstas, las moléculas del vapor de agua, ya sea en fase líquida o gaseosa, son atraídas por la superficie de un sólido del cual se adhieren, generalmente son utilizados como sólidos la sílica gel y la alúmina activada, por lo que son de tipo regenerativo las cuales se restablecen por la aplicación de temperatura a través de resistencias eléctricas o por ventilación directa a la atmosfera. (ver figura 2.18) <sup>[10]</sup>



**Figura 2.18.** Torres Secadoras D12-33701, Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Planta de Extracción San Joaquín.

### **2.7.13 Nitrógeno como Aire Para Instrumento.**

En un sistema que utiliza nitrógeno líquido, el tanque, el compresor de aire y el secador se reemplazan con un cilindro que contiene nitrógeno líquido criogénico, un regulador de presión permite la expansión del gas de nitrógeno dentro del instrumento y la red de tubería de control a la presión deseada. Los sistemas accionados con nitrógeno pueden ser una alternativa al aire comprimido para instrumentación en casos especiales, pero tienden a ser costosos y el uso de gas criogénico puede crear problemas de seguridad. (ver figura 2.19)



**Figura 2.19.** Sistema de Suministro de Nitrógeno, Planta de Extracción San Joaquín.

**Fuente:** Planta de Extracción San Joaquín.

## CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Tipo de Investigación.

Según: **(Cervo y Bervian, 1989)**, plantea que:

“Se define la investigación como una actividad encaminada a la solución de problemas. Su objetivo consiste en hallar respuestas a preguntas mediante el empleo de procesos científicos”. (pág. 41)

De acuerdo al problema planteado y que estará referido al Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) en Sistemas de Aire de Plantas de Extracción de Líquidos del Gas natural, como caso específico la Planta de Extracción san Joaquín, de la empresa PDVSA GAS, se utilizarán diversos tipos de investigación, los cuales se encuentran mencionados a continuación:

#### 3.1.1 Nivel de la Investigación.

Según: **(Dankhe, 1986, citado por Hernández Sampieri y otros, 2001)**, Establece:

“Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o

componentes del fenómeno o fenómenos a investigar”. (pág. 60)

Según con lo enunciado por los autores, se deduce que el nivel de investigación de este trabajo es Descriptiva por que se detallan las condiciones actuales del sistema de aire de la Planta de extracción san Joaquín, así como para describir registro e interpretación del problema actual, además requirió de técnicas específicas así como de criterios y formatos de recolección de información, entrevistas directas con el personal y documentación.

### **3.1.2 Diseño de la Investigación.**

Según **(Arias, 2004)** Establece:

“El diseño es la estrategia adoptada por el investigador para responder el problema planteado.” (pág. 47)

En este caso esta investigación incluye las modalidades **documental y de campo**. Según **(Arias, 2004)** conceptualiza:

“La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas”. (pág. 27)

Para el caso de la investigación de campo (**Arias, 2004**) expresa lo siguiente:

“La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes”. (pág. 79)

Esta investigación es documental, ya que se basa en el uso de textos, manuales, revistas, guías, normas, bitácoras, registros, tesis de pregrados realizados en la Universidad de Oriente y otros que respaldan los fundamentos teóricos para la solución del problema.

En cuanto al diseño de campo, está relacionado con el estudio porque los problemas se describen, se analizan en forma directa, utilizando métodos y técnicas para inspeccionar el Sistema de Aire tanto en el área de procesos de la planta, así como el estudio de los equipos en el taller de mantenimiento de la misma, para observar las condiciones de los equipos y establecer las posibles soluciones.

### **3.1.3 Propósito de la Investigación:**

El propósito de esta investigación es aplicado, debido a que se encuentra encaminada para implantar solución al problema que presenta el sistema de aire, por lo que se diseñó un plan de mantenimiento para mejorar la gestión del sistema.

### **3.2 Técnicas de Investigación, Recolección y Análisis De Datos .**

Según (Arias, 2004) deduce lo siguiente:

“Se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos e información”. (pág. 67)

En la realización de este trabajo se obtuvieron y manejaron una gran cantidad de información, para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados. La información recabada fue de carácter teórica y práctica, para así lograr diseñar el plan de mantenimiento propuesto para el sistema de aire. Entre las técnicas empleadas en la recolección de datos se encuentran:

#### **3.2.1 Observación Directa.**

Se utilizó como técnica para identificar y describir los elementos que conforman el sistema de aire en el área de procesos y en el taller de mantenimiento, con ayuda del personal de operaciones y mantenimiento. Aunado a esto se captó el entorno y procedimiento para las actividades de mantenimiento implementadas actualmente para el sistema.

#### **3.2.2 Entrevistas con el Personal.**

Técnica fundamental para el desarrollo de la investigación, consistió en un dialogo o conversación, donde la información suministrada por parte de los entrevistados tanto en el área e mantenimiento y operaciones, consolidó la investigación y permitió conocer el funcionamiento de los equipos, las fallas de los equipos, las actividades que se realizan, las opiniones para la toma de decisiones, entre otros.

### **3.2.3 Encuestas.**

Esta técnica se utilizó para recabar información de forma escrita tanto en el área de mantenimiento como en el de operaciones, como complemento a las entrevistas realizadas. Para ello, se elaboraron una serie de formularios con la finalidad de que el personal pudiera expresar sus ideas, opiniones de forma precisa para contribuir con el logro de los objetivos propuestos.

### **3.2.4 La Descripción.**

Esta técnica, detalló los resultados de las observaciones realizadas, para analizar el sistema en estudio tanto en el área operacional como en el de mantenimiento, con miras a la resolución de los objetivos.

### **3.2.5 Gráficas.**

Se utilizaron para facilitar la explicación, análisis e interpretación de los datos y resultados. Para aplicar esta técnica se utilizaron gráficas de circulares, barras etc.

### **3.2.6 La Explicación.**

Esta técnica proporcionó esclarecimiento de los rasgos y situación del sistema, equipo y componentes para la resolución del problema del sistema de aire de la planta de Extracción San Joaquín.

### **3.2.7 Análisis de Criticidad.**

Es una técnica que permitió simplificar el estudio, propiciando análisis exhaustivos sobre los activos que así lo ameriten, es decir, los más importantes y donde es necesario mejorar los índices registrados. Esto con el fin de tomar decisiones acertadas para la aplicación de las actividades de mantenimiento.

### **3.2.8 Mantenimiento centrado en Confiabilidad (MCC).**

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

Los estudios de esta metodología se dividen en dos técnicas: el AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas) y el ALD (Arbol Lógico de decisiones), La primera para estudiar el problema mediante, la función, las fallas, los modos y los efecto de las fallas de los activos, mientras que la segunda busca detectar las acciones necesarias para resolver los inconvenientes.

### **3.2.9 Documentación.**

Esta técnica sirvió de apoyo durante la elaboración de la investigación, se baso en obtener registros, documentos, manuales, entre otros documentos relacionados con los activos a estudiar. Esta información contribuyo para el análisis y la toma de decisiones.

### **3.2.10 La Predicción.**

Técnica que consistió en estimar las acciones a implementar para resolver el problema, tomando en cuenta información obtenida a lo largo de la investigación.

### **3.2.11 Manejo de Programas de Computación.**

El uso de programas de computación, fue importante para la recopilación de información, agilizar los cálculos y procesar la información, ordenar la información para su fácil y rápido entendimiento.

### 3.3 Instrumentos de Recolección Y Análisis de Datos.

Para (Arias, 2004) en relación a los instrumentos expresa lo siguiente:

“Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. (pág. 69)

#### 3.3.1 Equipos.

##### 1. Computador.

- ❖ Marca Dell. Tipo Portátil.
- ❖ Procesador Intel Core Duo T2350.
- ❖ Velocidad del procesador: 1.86GHz.
- ❖ 1GB de memoria RAM.
- ❖ Disco Duro de 120 GB.

##### 2. Impresora.

- ❖ Marca HP. Modelo Deskjet 3920.

##### 3. Calculadora.

- ❖ Marca Casio. Modelo ClassPad.

##### 4. Cámara Fotográfica Digital.

- ❖ Marca HP. Modelo R 717. 6.2 MP.

##### 5. Protección Personal.

- ❖ Botas, casco, Lentes, Guantes.

### 3.3.2 Materiales.

- ❖ Manuales Técnicos de PDVSA
- ❖ Documentos Bibliográficos.
- ❖ Artículos de Oficina: lápices, hojas, borradores, engrapadora y marcadores.

### 3.3.3 Sustancias.

- ❖ no se requieren.

### 3.4 Población y Muestra.

Según **(Arias, 2004)** el expresa sobre la población lo siguiente:

“La población, o en términos de población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos de estudio”. (pág. 81).

Mientras que la muestra **(Arias, 2004)** dedujo lo siguiente:

“La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población”. (pág. 83).

El desarrollo de esta investigación se realizó en la Planta de Extracción San Joaquín, ubicada en la localidad de Buena Vista, Municipio Anaco del Estado Anzoátegui, la cual es perteneciente al tipo de Plantas de Extracción

de líquidos de Gas natural. El estudio se ejecutó específicamente al Sistema de Aire para Instrumentos y Servicios, como población se tomaron todos los equipos y componentes del sistema, mientras que la muestra estudiada está representada por los componentes críticos. Cabe destacar que el estudio abarcó como población humana a todo el personal de las áreas de operaciones y mantenimiento, como muestra se tomó al Equipo Natural de Trabajo, al igual que el personal de experiencia, entre los cuales figuran los técnicos mecánicos con mas de 20 años de servicio, técnicos electricistas e instrumentista con experiencia de 8 a 20 años dentro de la planta, operadores y panelistas todos con mas de 10 años de servicio en la planta .

### **3.5 Etapas de la Investigación.**

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 Revisión Bibliográfica.**

Esta etapa se fundamentó en la búsqueda de información técnica sobre el problema planteado, para lograr el cumplimiento de los objetivos y alcanzar bases teóricas necesarias. Se recopiló información centrada en los siguientes tópicos: Mantenimiento, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF), Árbol Lógico de Decisiones (ALD) y Análisis de Criticidad (AC), Sistemas de Aire, activos que conforman el sistema objeto de estudio. La indagación se apoyó en consultar: libros, revistas científicas, documentos técnicos, tesis de grado presentados en la Universidad de Oriente, guías, bitácoras, presentaciones técnicas, manuales, normas e Internet.

### **3.5.2 Identificación, Diagnostico y Recopilación de Información del Sistema, Equipos y componentes a Estudiar.**

Esta etapa contó con la utilización de varias técnicas y sub etapas (fases), las cuales nos ayudaron a descifrar la situación actual del sistema. 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. Además se tomaron mediciones de parámetros, a fin de compararlos con los adecuados y determinar si cumplen con las especificaciones de proceso.

### **3.5.3 Determinación de los componentes de los Equipos Relevantes del Sistema.**

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, para lo cual se empleo una serie de técnicas.

Se utilizó la metodología D.S. para determinar la criticidad de los componentes, técnica que se basa en ponderar factores tanto del área de mantenimiento como el de operaciones, para así obtener un porcentaje de criticidad y determinar según los rangos establecidos por el método la criticidad del activo.

La primera fase se fundamentó en minimizar la lista de componentes a realizarle el análisis de criticidad. Mediante la experiencia del personal se descartaron directamente los componentes con criticidad baja y se definieron los componentes que si ameritaban el estudio. Esto se produjo mediante reuniones con los integrantes del Equipo Natural de Trabajo. Para la segunda fase, debido a que no se tenían registros de los equipos, se realizó una encuesta al personal de los diferentes departamentos (Mantenimiento y Operaciones). Consistió en responder las interrogantes que presenta la metodología D.S. Para el área de mantenimiento se realizaron a todo el personal de mantenimiento (Mecánica, Electricidad e Instrumentación) y en el área de operaciones se realizó la encuesta al departamento de operaciones.

Para la tercera fase de esta etapa, se recurrió a un Libro de cálculo de Microsoft Excel para determinar Criticidad mediante la metodología D.S. Libro de elaboración propia y que contiene dos hojas en la que los datos de la encuesta se introdujeron en la primera hoja "Entrada de datos" y la segunda hoja "Criticidad" reflejo la criticidad del equipo.

Cabe destacar que para los cálculos se obvió la ponderación del Baglock, puesto que este indicador generalmente no aplica para analizar componentes, debido a que no se le aplican mantenimientos semanalmente y las ordenes de mantenimiento para este sistema no se generan por componente, sin embargo se realizó un ajuste en las factores K1 y K2 de la metodología empleada, así mismo se restablecieron los rangos de criticidad según el ajuste realizado.

#### **3.5.4 Aplicación de Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF).**

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 de extracción San Joaquín, 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, operaciones, 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 extracción san Joaquín, basada en la propuesta de Hoja De Información RCM II ©1999 ALADON LTD, con la finalidad de mejorar la identificación de los componentes objeto de estudio, cumpliendo normalmente con los requisitos que amerita la aplicación del AMEF.

#### **3.5.5 Establecer Árbol Lógico de Decisiones.**

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, fundamentada en la propuesta de Hoja de Trabajo de decisión del RCM II por The Woodhouse Partnership Ltd.

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

### **3.5.6 Diseño del Plan de Mantenimiento.**

Una vez determinadas las actividades a realizar, al igual que su frecuencia y departamento ejecutor, la etapa del diseño del plan de mantenimiento consistió en asentar las actividades de una manera ordenada y eficaz dentro del plano de ejecución de mantenimiento, aunado a lo anterior sólo se agregó las horas hombres que traen consigo cada actividad.

En la primera fase de esta etapa realizó un programa de operación de los equipos del sistema con ayuda del personal de operaciones, para conocer con certeza cuándo operaran y así programar las actividades de mantenimiento, según la fecha en que están fuera de servicio o en servicio.

Para asentar las actividades se implantaron dos hojas, ambas con divisiones semanales por recomendación del Equipo Natural de Trabajo: una consta de 52 semanas que dan un total de doce meses o lo que es igual un año regular, donde se anotaron las actividades con frecuencia igual o menor

a las de un año, la cual se debe aplicar anualmente, una segunda hoja con un total de 104 semanas o dos años para actividades con frecuencia mayores a un año pero igual o menores a dos años, dando así la aplicación de esta hoja cada dos años.

Para la segunda fase sustentada en organizar las actividades, se contó con entrevistas con el personal de mayor experiencia en el área de mantenimiento, donde se procedió a distribuir las actividades, colocando juntas las que pueden realizarse consecutivamente, pero sin acarrear tiempos diarios excesivos de mantenimiento.

Cabe destacar que el plan cuenta con actividades similares para ambos Sistema de Compresión, por lo que se adaptó las actividades cuando estén en operación o fuera de servicio dichos sistemas. Para diferenciar las actividades de cada sistema, las celdas con relleno rojo corresponden al sistema 01 mientras que el relleno azul reflejan las del sistema 02.

### **3.5.7 Sistema de Recolección de Información.**

Esta etapa no está incluida entre los objetivos a cumplir, sin embargo es fundamental para mejorar la gestión de mantenimiento del sistema. Se basó en crear un método o sistema para documentar todo lo concerniente al sistema. Las técnicas empleadas fueron constantes entrevistas con el Equipo Natural de Trabajo y revisión de manuales de equipos y libros técnicos del área de mantenimiento.

El sistema de recolección permite documentar la confiabilidad de los equipos y asentar las actividades realizadas. Ambas con la creación de formatos específicos. A su vez se creó un algoritmo de secuencia de pasos a seguir para la documentación del sistema.

## **CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL TRABAJO**

### **4.1 Equipo Natural de Trabajo (Ent).**

Para la resolución del trabajo se creó un equipo multidisciplinario, el cual tuvo reuniones constantes, donde se producía una tormenta de ideas hasta llegar a la solución más adecuada al problema. El equipo estaba conformado por áreas de la siguiente manera (ver figura 4.1):

#### **❖ Mantenimiento Centrado en Confiabilidad:**

Conformado por un facilitador-recopilador y un especialista en Mantenimiento centrado en confiabilidad.

#### **❖ Operaciones:**

Conformado por el supervisor de operaciones, operadores y panelistas de mayor experiencia en la planta y un ingeniero de procesos, los cuales son especialista en manejo y operatividad de equipos, condiciones de procesos, manejo de variables.

#### **❖ Mantenimiento:**

Estructurado por los supervisores de mantenimiento operacional (Mecánica, Electricidad e Instrumentación), los mantenedores de mayor experiencia, un especialista en mantenimiento predictivo y los programadores. Este es el personal encargado en todo lo concerniente en el área de mantenimiento.



**Figura 4.1.** Equipo Natural de Trabajo (ENT).

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

## 4.2 Contexto Operacional.

Debido a la importancia que representa la producción y las operaciones dentro de cualquier empresa, y los efectos que trae esto sobre el mantenimiento a implementar, el MCC propone determinar el contexto operacional de los equipos a estudiar.

### 4.2.1 Descripción del Sistema de Aire para Instrumentos y Servicios.

El sistema de aire para instrumentos y servicios pertenece a los servicios auxiliares de la planta de extracción San Joaquín, este no se encuentra en la línea central del proceso, pero sirve de apoyo para llevar a cabo la producción con normalidad. Su función es suministrar aire comprimido puro y deshidratado hasta los trenes de proceso, para accionar los equipos neumáticos de la planta, como lo son las diferentes válvulas de control, válvulas de parada de emergencia (ESD), accionadores a lo largo del proceso y diferentes servicios, por esta razón es importante para la seguridad operacional, personal, de la planta y del medio ambiente.

El aire es absorbido por el subsistema de compresión para aumentar su presión, posteriormente fluye hacia el subsistema de secado, donde el flujo se divide en dos corrientes: una pasa al cabezal de aire de servicio y la otra es deshidratada, por la necesidad de ser utilizado en sistemas de control, luego el aire entra a un subsistema de almacenado de aire para así ser suministrado a los trenes de proceso. El sistema de aire posee también un subsistema de suministro de nitrógeno líquido para suplir la demanda de los dispositivos de control, en caso que los subsistemas anteriores se encuentren fuera de servicio. En la figura 4.2 se muestra un diaframa general por subsistemas.



**Figura 4.2.** Diagrama General del Sistema de Aire para Instrumentos y Servicios.

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.2.1.1 Subsistema de Compresión del Aire.

El subsistema de compresión de aire (ver figura 4.3), posee dos trenes, con las mismas características en cuanto a equipos y funcionamiento; los trenes se encuentran en redundancia pasiva, es decir, que uno se encuentra operativo mientras el otro está en espera.

Cada tren de compresión posee un compresor recíprocante de dos etapas, el cual posee un filtro en la entrada, por donde pasa el aire antes de ingresar al compresor. Posterior al filtro el aire fluye a la primera etapa de compresión, donde alcanza una presión de 241,31 kPa y aumenta su temperatura hasta 137,77 °C, luego pasa a un ventilador que lo enfría hasta 43,33 °C. Debido a la disminución de temperatura se condensan líquidos, por lo que el aire es deshidratado mediante un separador colocado a la salida del enfriador; consecutivamente el aire se dirige hasta la segunda etapa, para aumentar su presión y temperatura hasta 861,84 kPa y 137,7 °C respectivamente, con el fin de enfriarlo vuelve a pasar por el ventilador donde se logra disminuir su temperatura hasta 43,33 °C; de allí pasa hasta un segundo separador donde el líquido condensado es extraído, luego se desplaza hasta el subsistema de secado por medio de una válvula check, para evitar reflujos en el sistema.

Cada separador posee una trampa de condensado para evacuar los líquidos e impedir que regresen al sistema. El compresor tiene un sistema de enfriamiento con agua de circuito cerrado, donde mediante una bomba centrífuga se hace circular el flujo por las camisas de los cilindros del compresor y luego por el ventilador para enfriarlo, volviendo así a completar el ciclo. Como medida de seguridad, el subsistema cuenta con válvulas de alivio en las líneas de salida de cada etapa de compresión. Para accionar tanto el compresor, el ventilador y la bomba son utilizados motores eléctricos.



**Figura 4.3.** Diagrama del subsistema de Compresión de Aire.

**Fuente:** Manual de Operaciones Extracción San Joaquín con Adaptación Propia.

#### 4.2.1.2 Subsistema de Secado.

Este subsistema recibe el aire a 861,84 kPa del subsistema de compresión. Por una tubería se hace transitar hasta el depósito de aire húmedo, donde el aire es almacenado y deshidratado; luego sale y se divide en dos caudales: uno que va hasta la salida de aire para servicios, donde se controla su presión, permitiéndole que varíe desde 517,10 a 861,84 kPa, siendo su valor adecuado 689,47 KPa. La otra corriente se dirige hacia los prefiltros colocados en paralelo, los cuales se encargan de deshidratar y purificar el aire de partículas arrastradas, para así luego hacerlo fluir hasta las torres secadoras (Absorción), las cuales están hechas de un lecho deshidratador para absorber humedad. Existen dos torres individuales a través de las cuales fluye el aire: una para secar, mientras que la segunda torre está regenerándose; las torres secadoras poseen válvulas de control de tres vías por la cuales controlan la dirección del flujo, realizando el cambio automáticamente. Existen válvulas de alivio, en la salida del depósito de aire húmedo como en cada torre secadora, como medida de seguridad. En la figura 4.4 se observa el diagrama del subsistema.



**Figura 4.4.** Diagrama del Subsistema de Secado de Aire.

**Fuente:** Manual de Operaciones Extracción San Joaquín con Adaptación Propia.

#### 4.2.1.3 Subsistema de Suministro Alterno de Nitrógeno.

El subsistema posee un tanque de Nitrógeno el cual es activado su descarga cuando los subsistemas anteriores no están disponibles. A la salida del tanque se encuentra una válvula de control para así manejar el flujo; posterior a eso, el nitrógeno se divide en dos corrientes: una se hace pasar el hacia el sistema de almacenado de aire seco, para ser distribuido como aire de servicio; la otra corriente pasa al cabezal de aire para servicios. El nitrógeno almacenado abastece la planta de seis (6) a ocho (8) horas según sea la demanda momentánea de la planta. En la figura 4.5 se muestra el proceso en el subsistema.



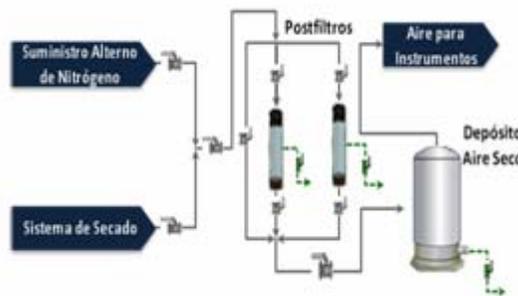
**Figura 4.5.** Diagrama del Subsistema de Suministro Alterno de Nitrógeno.

**Fuente:** Manual de Operaciones Extracción San Joaquín con Adaptación Propia.

A diferencia de los sistemas de aire para instrumentación que requieren gastos de capital y alimentación eléctrica, los sistemas de nitrógeno líquido solo requieren un cilindro de nitrógeno líquido criogénico, el cual se reemplaza periódicamente, y un vaporizador de nitrógeno líquido. El sistema usa un regulador de presión para controlar la expansión del gas de nitrógeno (es decir, el gas presurizado) a medida que éste ingresa al sistema de control. La principal desventaja de estos sistemas es el costo del nitrógeno líquido y el potencial peligro de seguridad asociado con el uso de líquidos criogénicos.

#### 4.2.1.4 Subsistema de Almacenado de Aire Seco.

El subsistema de almacenado de aire seco recibe el flujo desde el subsistema de secado o del subsistema de suministro alternativo de nitrógeno. Para el caso de nitrógeno pasa directamente hasta el depósito de aire seco, mientras que para el aire pasa por los postfiltros colocados en paralelo con el fin de eliminar partículas provenientes de las torres secadoras, de allí hasta el depósito, posteriormente el flujo almacenado para hacia el cabezal de aire para instrumentos. (Ver figura 4.6).



**Figura 4.6.** Diagrama del Subsistema de Almacenado de Aire Seco.

**Fuente:** Manual de Operaciones Extracción San Joaquín con Adaptación Propia.

#### 4.2.2 Descripción del Compresor de Aire.

El compresor de aire es el equipo fundamental de sistema, su función es elevar la presión del aire, es del tipo alternativo (Reciprocante) de dos etapas. Es accionado por un motor de 150 Hp y 1800 rpm. La marca del compresor es Gardner-Denver, modelo MLFEDAF y 880 rpm de velocidad de giro.



**Figura 4.7.** Compresor de Aire.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Para ser estudiado el compresor con mayor facilidad lo dividimos en 5 partes, cárter, extremo de fuerza 1, extremo de fuerza 2, cilindro 1 de 14" y cilindro 2 de 8,5", como visualizamos en la figura 4.7. En el apéndice A, se muestra los diagramas detallados de piezas del compresor, sin embargo a continuación mostraremos una descripción general del funcionamiento y piezas, dividido entre las partes ya mencionadas.



**Figura 4.8.** Diagrama de Descripción del Cárter.

**Fuente:** Elaboración Propia.

En la figura 4.8 observamos la descripción principal del cárter, el cual tiene como elemento principal al cigüeñal, a su vez cuenta con placas de inspección y diversas empaaduras. El cigüeñal es el encargado de recibir el movimiento giratorio del motor, a través de correas y poleas de transmisión de potencia colocadas entre ejes del motor y cigüeñal, para luego transmitirlo a los extremos de fuerza y posteriormente estos a los cilindros. Está apoyado sobre dos cojinetes de rodillo, los cuales permiten el movimiento del eje evitando su desgaste. El cojinete del extremo móvil, está apoyado a su vez sobre una caja de cojinetes. Para evitar la fuga de aceite por ese extremo, está dispuesto un sello de aceite y posterior una cubierta. Por el extremo del cojinete fijo, se encuentran los elementos de lubricación, entre ellos el múltiplo de aceite, el filtro de aceite el cual se encarga de purificar el aceite y la bomba que hace circular continuamente aceite a lo largo del cárter.



**Figura 4.9.** Diagrama de Descripción de los Extremos de Fuerza.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Ambos extremos de fuerzas son iguales, están unidos al cárter mediante un anillo y tornillos. Las piezas principales son la biela, cruceta y la barra, mostrados en la figura 4.9. La biela está sujeta al cigüeñal, recibiendo la potencia del mismo, pero entre ellos se encuentra un cojinete de fricción, el cual evita su contacto directo. La biela transmite el movimiento a la cruceta, pero como protección entre ambos se encuentra un cojinete de

fricción denominado buje y un pasado de cruceta como unión. La cruceta se mueve de forma horizontal entre la armazón del extremo de fuerza, sin embargo posee zapatas en la parte inferior y superior para evitar su desgaste, propiciando así solo el desgaste de las zapatas. La cruceta se encuentra unida a la barra, mediante la rosca que tiene dispuesta.

El funcionamiento de ambos cilindros son similares, sin embargo ambos se diferencian en sus dimensiones, donde al cilindro 1 es de 14" y el cilindro 2 es de 8,5", además que poseen formas geométricas distintas. Aunado a esto solo el cilindro 1 posee filtro de aire, puesto a que por este es donde se succiona el aire del exterior.



**Figura 4.10.** Diagrama de Descripción del Cilindro 1.

**Fuente:** Elaboración Propia.

El cilindro posee válvulas de succión y válvulas de descarga por donde sale el aire luego que alcanza una presión determinada. La barra esta acoplada al pistón mediante tuerca, por lo que se transmite el movimiento, el pistón empuja constantemente al aire hacia las paredes del cilindro hasta comprimirlo. El cilindro posee una caja de empaque y un empaque de aire para evitar fugas de aire al exterior del cilindro. El pistón tiene ranuras de colocación de anillos de teflón, los cuales evitan el contacto entre el cilindro y

el pistón, evitando desgaste prematuro de los mismos. El cilindro se divide en cabezal interno, cilindro y cabezal externo, para mejor manejo de las partes.

#### 4.2.3 Factores Operacionales.

Mientras se tenga que procesar gas en la planta, el sistema de aire debe estar operando, generando aire puro y deshidratado. El sistema se encuentra colocado bajo techo y opera bajo condiciones normales en relación a humedad, temperatura y calidad del aire, siendo vigilado constantemente por operadores, ya que realizan verificación de parámetros a (12:00, 6:00; 8:00 AM y 2:00, 4:00, 10:00 PM).

#### 4.2.4 Factores de Mantenimiento.

El mantenimiento al sistema de compresión, debe ser realizado con la mayor rapidez posible y nunca se debe dejar fuera de servicio si no se le está aplicando mantenimiento, esto por lo general genera muchas horas extras de trabajo de mantenimiento.

#### 4.2.5 Sistema de Seguridad.

El sistema cuenta con válvulas de seguridad como protección para sobrepresiones, las cuales se muestran en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1.** Válvulas de alivio del Sistema.

Válvula	Presión Fijada	Función
PSV-33737	50 Psi	Protege el sistema de tuberías y equipos de la primera etapa contra sobrepresión. Compresor (D4-33701/02).
PSV-33738	50 Psi	
PSV-33701	150 Psi	Protege el sistema de tuberías y equipos de la segunda etapa contra sobrepresión. Compresor (D4-33701/02).
PSV-33702	150 Psi	

PSV-33707	150 Psi	Protege el receptor de aire para instrumentos húmedo y sistema de tuberías circundantes contra sobrepresión.
PSV-33711 PSV-33712	150 Psi	Protege las torres del secador de aire para instrumentos contra sobrepresión.
PSV-33716	175 Psi	Protege el receptor de aire para instrumentos secos y el sistema de aire para instrumentos contra sobrepresión.

#### 4.2.6 Sistema de Protección de los Equipos.

El sistema cuenta con Alarmas e Interruptores de seguridad, Mostrados en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2.** Interruptores y Alarmas de Protección para los Equipos.

Causa de la Activación	Valor Fijado	Acción
Alta temperatura de aire en la 1ra. etapa	340 °F	Alarma en el tablero local. Alarma de falla en la sala de control.
Alta temperatura de aire en la 2da. Etapa		
Alta temperatura del agua 1ra. etapa	140 °F	
Alta temperatura del agua 2da. Etapa		
Baja presión de aceite en el cárter	20 Psi	Alarma en la sala de control.
Alta presión en el cabezal de aire.	120 Psi	
Baja presión en el cabezal de aire.	80 Psi	
Alta presión en cabezal aire para instrumentos.	130 Psi	
Baja presión en el cabezal de aire para instrumentos.	80 Psi	
Falla en el secador de aire.	-- -- --	
Alta temperatura de aire en la 1ra. etapa	350 °F	Se para el compresor y alarma de parada local. Indicación de motor parado en la sala de control.
Alta temperatura de aire en la 2da. etapa		
Alta temperatura del agua 1ra. etapa	150 °F	
Alta temperatura del agua 2da. etapa		
Baja presión de aceite en el cárter	15 Psi	
Alta vibración en el marco del compresor	4.5 G	

### **4.3 Diagnostico de la Situación Actual de los Equipos.**

Para la evaluación del estado de los equipos, se hicieron visitas al área de procesos para hacer inspección visual, auditiva y táctil al sistema, además de recolección de parámetros operaciones. En cuanto a revisión de historiales de falla e intervenciones de mantenimiento no se encontraron registros útiles.

#### **4.3.1 Verificación del Estado Actual de los Equipos del Sistema.**

Se realizaron visitas al área de procesos 130 de la planta, específicamente al Sistema de Aire para Instrumentos y Servicios, en la figura 4.11 se observa el sistema. Las inspecciones se realizaron táctil, auditiva y visualmente, donde la observación se basó en registrar las circunstancias anormales de los equipos en cuanto a: Proceso, Condiciones Externas y Operatividad.

El sistema estaba operando tal cual, como lo reflejaban los planos y diagramas, del manual de operaciones. Sin embargo el Subsistema de Secado las torres secadoras no se encontraban en funcionamiento, debido a la instalación de nuevos paneles de control por parte de la sección de instrumentación. Se encontraba operativo un secador de aire, el cual fue alquilado para solventar la indisponibilidad de las torres.

En el Subsistema de Compresión 02 se encontró que el medidor de temperatura de aire a la entrada de la segunda etapa del compresor estaba dañado, por lo que no reflejaba la medida.

El estado externo de los equipos fue bastante aceptable, ya que se encontraban limpios, no se hallaron fugas de ningún tipo (Agua, Aceite y Aire), en ocasiones se presentó excesivo ruido, alta temperatura y alta vibración, además en reuniones con el Equipo Natural de Trabajo y

conversaciones con el personal de mayor experiencia, se determinó que con frecuencias cortas, se presentan alta de temperatura, excesivo ruido y vibraciones, numerosas alarmas y fallas en los equipos del sistema.



**Figura 4.11.** Sistema de Aire Para Instrumentos y Servicios.

**Fuente:** Planta de Extracción San Joaquín.

#### **4.3.2 Recolección de Parámetros Operaciones.**

Con fines de conocer los valores de las variables medidas a lo largo del sistema y cerciorarlos con los valores habituales (Operación Optima), se realizó un levantamiento mediante visualización directa de los dispositivos de medición para asentar los registros necesarios.

En el Subsistema de Compresión 01 se realizó la toma de valores el día 12 de Junio de 2008 a las 3 de la tarde. Cabe destacar que la hora tomada para registrar los valores, es cuando las desviaciones son mayores con respecto a los valores normales, según información del departamento de operaciones.

Para el ventilador (D2-33701/07/04), el cual se encarga de suministrar aire para enfriar tanto aire como agua, en la tabla 4.3 se muestran los valores de entrada y de salida, tanto de operación adecuada como de operación actual, para conocer si logra cumplir su función operacional.

**Tabla 4.3.** Parámetros de Operación Normal y Operación Actual del Ventilador (D2-33701).

Especificaciones		D2-33707 (1ra Etapa)		D2-33701 (2da Etapa)		D2-33704 (Agua)	
		Normal	Actual	Normal	Actual	Normal	Actual
Presión	Entrada	>30 psi	40 psi	>120 psi	125 psi		
	Salida	>30 psi	48 psi	>120 psi	120 psi		
Temperatura	Entrada	<295 °F	180 °F	<295 °F	200 °F	95-115 °F	108
	Salida	<120 °F	105 °F	<120 °F	100 °F	<70 °F	58

Para el suministro de agua de enfriamiento, se tomaron valores sobre la bomba D3-33703 reflejados en la tabla 4.4, para conocer si es capaz de suministrar la energía necesaria, para recircular el agua por el compresor y luego por el ventilador.

**Tabla 4.4.** Parámetros de Operación Normal y Operación Actual da la Bomba D3-33703.

Especificaciones	Operación Normal	Operación Actual
Presión de Salida del agua	>10 psi	20 psi

Con la finalidad de mostrar si el compresor D4-33701, realiza funcionamiento adecuado según los valores que arroja al medir sus parámetros, en la tabla 4.5 se muestran los valores de operación normal y los valores reflejados actualmente.

**Tabla 4.5.** Valores de Operación Normal y Actual para el Compresor D4-33701.

Especificaciones		Operación Normal	Operación Actual		
Primera Etapa	Salida Aire	Presión	>30 psi	40 psi	
		Temperatura	<295 °F	180 °F	
	Entrada Agua	Temperatura	<70 °F	58°F	
	Salida de Agua	Temperatura	(95 – 115) °F	106 °F	
Segunda Etapa	Aire	Presión	Entrada	>30 psi	40
			Salida	>120 psi	120
	Temperatura	Entrada	<120 °F	105 °F	
		Salida	<295 °F	200 °F	
	Entrada Agua	Temperatura	<70 °F	58	
Salida de Agua	Temperatura	(95 – 115) °F	108		
Carter	Aceite	Presión	> 20 psi	35 psi	
		Nivel	50 %	50 %	

Para el Subsistema de compresión 02, se realizaron las mismas mediciones que para el Sistema de Compresión 01, sin embargo fueron tomadas el día 23 Marzo de 2008 a las 3 de la tarde. Los valores tomados se muestran en las tablas 4.6, 4.7 y 4.8, las cuales se encuentran a continuación:

**Tabla 4.6.** Parámetros de Operación Normal y Operación Actual de la Bomba D3-33704.

Especificaciones	Operación Normal	Operación Actual
Presión de Salida del agua	>10 psi	16 psi

**Tabla 4.7.** Valores de Operación Normal y Actual para el Compresor D4-33702.

Especificaciones			Operación Normal	Operación Actual
Primera Etapa	Salida Aire	Presión	>30 psi	37 psi
		Temperatura	<295 °F	215 °F
	Entrada Agua	Temperatura	<70 °F	56°F
		Salida de Agua	Temperatura	(95 – 115) °F
Segunda Etapa	Aire	Presión	Entrada >30 psi	35
		Salida	>120 psi	120
	Temperatura	Entrada	<120 °F	100 °F
		Salida	<295 °F	210 °F
	Entrada Agua	Temperatura	<70 °F	Dañado
	Salida de Agua	Temperatura	(95 – 115) °F	Dañado
Carter	Aceite	Presión	> 20 psi	26 psi
		Nivel	50 %	50 %

**Tabla 4.8.** Parámetros de Operación Normal y Operación Actual del Ventilador (D2-33702).

Especificaciones		D2-33708 (1ra Etapa)		D2-33702 (2da Etapa)		D2-33705 (Agua)	
		Normal	Actual	Normal	Actual	Normal	Actual
Presión	Entrada	>30 psi	37 psi	>120 psi	120		
	Salida	>30 psi	35	>120 psi	120		
Temperatura	Entrada	<295 °F	215 °F	<295 °F	210 °F	95–15 °F	92°F
	Salida	<120 °F		<115 °F	110	<70 °F	56°F

#### 4.4 Identificación de los Componentes Críticos del Sistema.

Se aplicó un Análisis de criticidad para conocer cuáles son los componentes que acarrear mayor importancia y a su vez mayores

inconvenientes, con el propósito de intensificar estudios sobre ellos, además de asignar los recursos a los componentes que lo ameriten.

Para el análisis fue empleada la metodología del Ing. Msc. Diógenes Suarez, que basa sus criterios en factores operacionales y de mantenimiento, como se mencionó en el capítulo 2, y fue escogida por adaptarse al entorno del sistema, además de evaluar diversos criterios. A continuación se muestra la matriz de ponderaciones que propone el autor para realizar el estudio de criticidad, en la tabla 4.9 y 4.10, tanto la de mantenimiento como la de operaciones respectivamente.

**Tabla 4.9.** Matriz de Ponderaciones del Área de Mantenimiento.

Factor a Evaluar	Criterios		Ponderación	
	Rotativo	Estático		
1) Cantidad de Fallas Ocurridas en el Período a evaluar				
	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3
2) Tiempo Promedio Fuera de Servicio (MTFS) en horas en el Período a evaluar	2a) $MTFS \leq 4$		1	
	2b) $4 < MTFS \leq 8$		2	
	2c) $MTFS > 8$		3	
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el	3a) $DR \geq 80\%$		1	
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$		2	

Período a evaluar	3c) $DR < 50\%$	3
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el Período a evaluar	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$	1
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$	2
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$	3
5) Efectividad (E)	5a) $E \geq 80\%$	1
	5b) $50\% \leq E < 80\%$	2
	5c) $0\% \leq E < 50\%$	3
6) Backlog (B) Semanas	6a) $0 \leq B \leq 2$	1
	6b) $2 < B \leq 5$	2
	6c) $B > 5$	3

**Tabla 4.10.** Matriz de Ponderaciones del Área de Operaciones.

Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación
7) Tipo de Conexión	7a) Sistema Paralelo	1
	7b) Combinación	2
	7c) Sistema Serie	3
8) Costo de Producción en el Período a evaluar	8a) Menor a la Meta	1
	8b) Igual a la meta	2
	8c) Mayor a la Meta	3
9) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o	9a) Sin Consecuencias	1
	9b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2

Ambiente (Amb.)	9c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3
-----------------	--	---

Por no contar con datos reales registrados, para realizar el estudio fue necesario aplicar encuestas a trabajadores con experiencia en las áreas de: mantenimiento y operaciones. Para asentar la encuesta se creó un formato, con preguntas técnicas sobre los parámetros a evaluar en el análisis de criticidad por la metodología DS.

**Tabla 4.11.** Personal Entrevistado para el Análisis de Criticidad.

Área de Mantenimiento:	Área de Operaciones:
❖ Equipo Natural de Trabajo	
❖ Supervisor Mecánica.	❖ Supervisor Operaciones.
❖ Jefe de Taller Mecánico.	❖ 3 Panelistas.
❖ 4 Técnicos Mecánicos.	❖ 3 Operadores.
❖ 3 Técnicos Electricista e instrumentistas	

<b>Entrevistado:</b>	<b>Cargo:</b>
<b>Equipo:</b>	<b>Componente:</b>
<b>Tag:</b>	
<b>Área de Mantenimiento</b>	
<b>Tipo de Equipo</b>	
Dinámico <input type="checkbox"/>	Estático <input type="checkbox"/>
Cantidad de Fallas por Año: _____	Tiempo Medio Fuera de Servicio: _____
<b>Disponibilidad de Repuestos</b>	
Satisfechos: _____	Pedidos: _____
<b>Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo</b>	
Ordenes de Trabajo Ejecutadas: _____	Ordenes de Trabajo Emitidas: _____
<b>Efectividad Operacional</b>	
Horas Efectivas: _____	Horas Disponibles: _____

Área de Operaciones		
<b>Tipo de Conexión</b>		
Serie <input type="checkbox"/>	Paralelo <input type="checkbox"/>	Mixta <input type="checkbox"/>
<b>Costos</b>		
Menor a la Meta <input type="checkbox"/>	Igual a la Meta <input type="checkbox"/>	Mayor a la Meta <input type="checkbox"/>
<b>Seguridad</b>		
Efecto Permanente <input type="checkbox"/>	Efecto temporal <input type="checkbox"/>	Sin Consecuencias <input type="checkbox"/>

**Figura 4.12.** Formato de la Encuesta para el Análisis de Criticidad.

**Fuente:** Elaboración Propia.

El Equipo Natural de Trabajo decidió obviar la ponderación del baglock, puesto a que sus valores eran muy bajos, debido a que el estudio se realizó a componentes y para estos no se generan grandes horas hombres de trabajo pendientes.. Puesto que eliminar este indicador del análisis afecta directamente el resultado de la criticidad de los componentes, se ajustaron los valores  $K_1$  y  $K_2$  de la Formula de Criticidad (ver ecuación 4.1) y de allí el rango de clasificación de criticidad (ver tabla 4.12), quedando de la siguiente manera:

$$K_1 \text{ Ajustado} = 0,033$$

$$K_2 = 0,055$$

$$\text{Criticidad}_{\text{Ajustada}} = (0,033 \times \text{Puntos Mantto} + 0,055 \times \text{Puntos Oper}) \times 100\% \quad \text{Ec. 4.1}$$

**Tabla 4.12.** Valores ajustados para Clasificación de la Criticidad de los Activos para la Metodología DS, cuando se elimina el Baglock.

<i>Criticidad</i>	
<b>No Crítico</b>	(33 ≤ Ponderación total < 50%)
<b>Semi-Crítico</b>	(50 ≤ Ponderación total < 66%)

<b>Crítico</b>	(Ponderación total $\geq 66\%$ )
----------------	----------------------------------

En el Apéndice B, se muestran los cálculos del ajuste de  $K_1$  y  $K_2$  y del nuevo rango de clasificación de criticidad.

Para facilitar los cálculos de la criticidad, se creó un libro de Excel, el cual consta de dos hojas: Entrada de Datos y Criticidad. En la hoja “Entrada de Datos” se suministran los datos primarios para determinar la criticidad con la metodología seleccionada, mientras que en la segunda hoja denominada “Criticidad” se refleja el resultado del componente en cuanto a la criticidad.

Los valores a suministrar a la hoja “entrada de datos” se muestran en la tabla 4.13, mostrada a continuación:

**Tabla 4.13.** Valores Primarios a Suministrar en la Hoja “Entrada de Datos” para el Cálculo de la Criticidad.

Área de Mantenimiento	Área de Operaciones
❖ Referencia.	❖ Tipo Conexión Operacional.
❖ Activo.	❖ Costo de Producción.
❖ Tipo.	❖ Efecto Sobre la Seguridad.
❖ Numero de fallas en el Tiempo a Evaluar.	
❖ Tiempo medio para la Reparación	
❖ Cantidad de Repuestos Satisfecha.	
❖ Cantidad de Repuestos Demandada.	
❖ Ordenes de Mantenimiento Preventivo Ejecutadas.	
❖ Ordenes de Mantenimiento Preventivo	

---

Emitidas.
❖ Horas Efectivas
❖ Horas Disponibles.
❖ Horas Hombres Pendientes
❖ Horas Hombres Disponibles
Semanalmente.

---

Los valores calculados en la hoja de Entrada de Datos son mostrados en la tabla 4.14.

**Tabla 4.14.** Valores calculados en la Hoja “Entrada de Datos” para determinar la Criticidad.

<b>Área de Mantenimiento</b>
❖ Disponibilidad
❖ Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo.
❖ Efectividad

---

En el Capítulo 2, en la sección de Análisis de Criticidad de la metodología DS, se muestran las formulas para los cálculos de estos indicadores.

En la Figura 4.13 se muestra la Hoja “Entrada de datos”, donde las celdas con relleno blanco son los valores de entrada o introducidos, mientras que los rellenos grises son los valores calculados por esta hoja.

**Figura 4.13.** Hoja “Entrada de datos” para Cálculo de Criticidad Mediante la Metodología D.S.

**Fuente:** Elaboración Propia.

A partir de los valores suministrados en la hoja “Entrada de datos”, en la hoja “Criticidad” se reflejan las ponderaciones de (ver tabla 4.15):

**Tabla 4.15.** Valores determinados por la Hoja de Criticidad.

Área de Mantenimiento	Área de Operaciones
❖ fallas.	❖ Tipo de conexión.
❖ Tiempo Promedio Fuera de Servicio.	❖ Costo de producción por falla.
❖ Disponibilidad de Repuestos.	❖ Seguridad.
❖ Cumplimiento de mantenimiento Preventivo.	
❖ Efectividad.	

La hoja “Criticidad” posee la capacidad de calcular la sumatoria de las ponderaciones de mantenimiento y de operaciones, multiplicarlas por los

coeficientes correspondientes para cada área y al final sumarlas, reflejar el porcentaje de la evaluación obtenida, tal como lo exige la metodología del Ing. Msc. Diógenes Suárez. Aunado a esto en ella muestra si el elemento es Crítico, Semicritico y No Crítico. Para identificar con mayor rapidez la criticidad de los elementos si el relleno de celda es verde significa que el elemento es No Crítico, si el relleno es amarillo el elemento es Semicritico y si el relleno es rojo quiere decir que el elemento es Crítico.

En el Apéndice B, se muestran todos los valores suministrados y reflejados tanto en la hoja “Entrada de datos” como en la hoja “Criticidad”.

Cabe destacar que el análisis se realizó a los componentes de los equipos, aunado a esto generar mayor información se determinó la criticidad de los equipos y subsistemas, partiendo del análisis de los componentes.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "Análisis de Criticidad" with the subtitle "Metodología de Ing. Msc. Diógenes Suárez". The table contains the following data:

Referencia	Activo	Subsistema							Equipo				Criticidad	
		Pesd. Falta	Pesd. Tiempo Faltas de Serv.	Pesd. Dap. de Rep.	Pesd. Costo p. Mts. Prev.	Pesd. Efect.	Pesd. Backlog	Pesd. Total	Pesd. Tipo de Comisión	Pesd. Costo de Prod.	Pesd. Seg.	Pesd. Total		Eval. Obtenida
5	Sist. de Aire	3	3	2	2	1	0	11	3	3	3	9	45	Crítico
6	Sist. de Aire	3	3	2	2	1	0	11	1	3	3	7	35	Crítico
7	Sist. de Aire	3	3	1	1	1	0	9	1	3	3	7	49	Crítico
8	Sist. de Aire	2	3	1	1	1	0	8	1	3	3	7	47	Semicrítico
9	Sist. de Aire	1	1	1	1	1	0	5	3	3	3	9	47	Crítico
10	Sist. de Compresión	3	3	2	2	1	0	11	1	3	3	7	35	Crítico
11	Sist. de Compresión 01	3	3	2	2	1	0	11	3	2	2	7	35	Crítico
12	Sist. de Compresión 01	2	3	1	2	1	0	9	3	3	2	8	39	Crítico
13	Sist. de Compresión 01	3	3	2	2	1	0	11	3	2	2	7	35	Crítico
14	Sist. de Compresión 01	2	3	1	3	1	0	10	3	2	2	7	32	Crítico
15	Sist. de Compresión 01	1	2	1	1	1	0	6	3	1	1	6	48	No Crítico
16	Sist. de Compresión 01	1	2	1	1	1	0	6	3	1	1	6	48	No Crítico
17	Sist. de Compresión 01	3	3	2	2	1	0	11	3	2	2	7	35	Crítico
18	Sist. de Compresión 01	2	3	1	3	1	0	10	3	2	2	7	32	Crítico
19	Sist. de Compresión 01	1	1	1	1	1	0	5	3	2	2	8	44	Semicrítico
20	Sist. de Compresión 01	1	1	1	1	1	0	5	3	2	2	8	44	Semicrítico
21	Sist. de Compresión 01	1	1	1	1	1	0	5	3	1	1	5	48	No Crítico
22	Sist. de Compresión 01	1	1	1	1	1	0	5	1	1	1	3	48	No Crítico
23	Sist. de Compresión 01	1	1	1	1	1	0	5	1	1	1	3	48	No Crítico
24	Sist. de Compresión 01	1	1	1	1	1	0	5	1	1	1	3	48	No Crítico
25	Sist. de Compresión 01	3	3	1	3	1	0	11	3	2	2	7	35	Crítico

Figura 4.14. Hoja “Criticidad” Cálculo de Criticidad Mediante la Metodología DS.

En la figura 4.15 se muestra los sistemas, equipos y componentes sometidos al estudio, los cuadros de texto con el relleno rojo indican que el activo es Crítico, los rellenos de color amarillo indican que es Semicritico y el verde indica que es No Crítico.



**Figura 4.15.** Clasificación de la Criticidad de Subsistemas, Equipos y Componentes Sometidos al Estudio.

**Fuente:** Elaboración Propia.

En la tabla 4.16 y 4.17, mostrada a continuación se visualizan la cantidad de equipos y elementos críticos, semicríticos y no críticos por subsistema.

**Tabla 4.16.** Criticidad de Equipos en los Subsistemas Analizados.

Subsistema	Equipos	Críticos	Semicríticos	No Críticos
Compresión 01	15	8	2	5
Compresión 02	15	8	2	5
Secado de Aire	11	0	6	5
Almacenado de aire	4	0	1	3
Suministro de Nitrógeno	3	0	2	1
Total	48	16	13	19

**Tabla 4.17.** Criticidad de Elementos en los Subsistemas Analizados.

Subsistema	Elementos	Críticos	Semicríticos	No Críticos
Compresión 01	67	34	10	23
Compresión 02	67	34	10	23
Secado de Aire	36	0	20	16
Almacenado de aire	11	0	6	5
Suministro de Nitrógeno	14	0	8	6
Total	195	68	54	73

En la tabla 4.18 se muestran los componentes seleccionados para aplicarle el análisis de MCC, cabe destacar que solo los componentes críticos fueron los asignado para el análisis.

**Tabla 4.18.** Componentes Seleccionados para Aplicarle MCC.

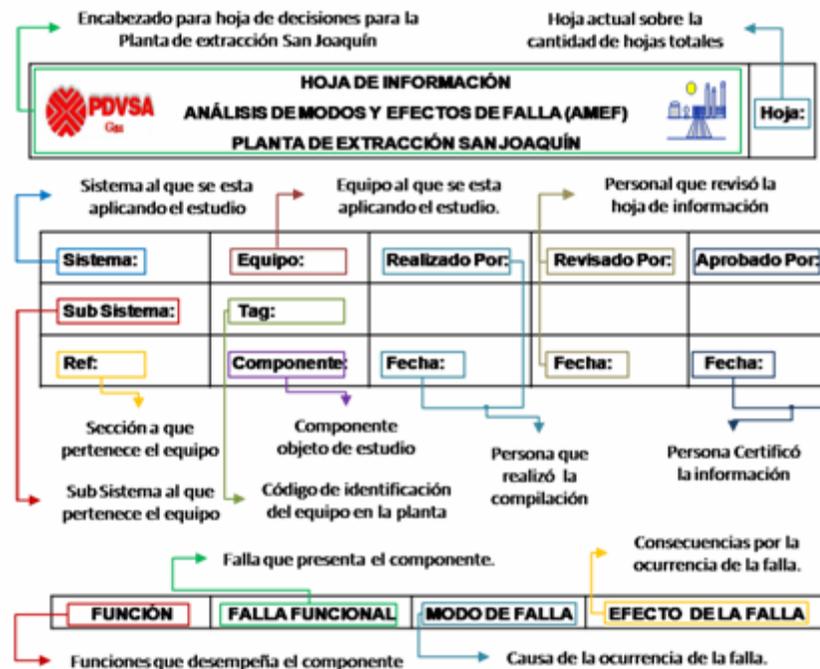
Referencia	Activo
<b>Compresor</b>	Filtro de Aire Válvulas de Succión Válvulas de Descarga Pistón Anillos de Pistón Arandelas Pistón Tuercas Barra-Pistón Cilindro Empacaduras Tapa de válvulas Empacaduras Cabezales Cilindro Barra Cruceta Zapata de Cruceta Pasador de Cruceta Biela Cojinete (Concha) Cabeza Biela Cojinete (Concha) Base Biela Cigüeñal Cojinete de Rodillo Sello de Aceite Acople Motor-Compresor Filtro de aceite Motor Eléctrico
<b>Ventilador</b>	Rodamiento Eje Ventilador Rodamiento Eje Motor Motor Eléctrico Acople Motor-Ventilador
<b>Bomba</b>	Sello de Aceite Rodamiento Eje Bomba Acople Motor Bomba Motor Eléctrico
<b>Transmisores de Señales Interruptores</b>	Transmisores de Señales compresor Interruptores compresor

#### 4.5 Análisis de Modos y Efecto de Fallas (Amef).

Para la aplicación del Análisis de Modos y Efecto de Fallas se revisaron manuales de equipos, manuales de operaciones de la Planta de Extracción

San Joaquín, textos técnicos e internet. Además se entrevistó al personal de mantenimiento y operaciones.

Se diseñó una hoja de información para asentar datos, basado en la plantilla propuesta para RCM II ©1999 ALADON LTD, la cual cumple con los requisitos para la documentación del AMEF, en la figura 4.16 se muestran las características de la hoja diseñada y utilizada.



**Figura 4.16.** Descripción de las características de la Hoja de Información Utilizada.

**Fuente:** Elaboración Propia.

La hoja consta de tres partes: la primera es un encabezado característico de la Planta de Extracción San Joaquín, haciendo referencia a que el documento es una hoja de información de registro del AMEF, la segunda es donde se denota e identifica el equipo y componente, así como los responsables del análisis. La tercera corresponde a las bases y aplicación del AMEF, las cuales son las funciones, fallas funcionales, modos y efectos de fallas de los componentes estudiados.

A partir de los equipos y elementos seleccionados para el AMEF, se realizó una agrupación de elementos, con fines de mejorar la documentación, entendimiento y organización de esta etapa. Luego de rellenar la información del encabezado o información básica del elemento, se procedió a definir las funciones de los elementos estudiados, posteriormente las fallas funcionales y se determinó los modos de falla, sin embargo se tomaron solo los que cumplían con alguno de los siguientes parámetros:

- ❖ Modos de falla que han ocurrido alguna vez en este equipo.
- ❖ Mantenimiento actual por la ocurrencia de ese modo de falla.
- ❖ Modos de falla ocurridos en equipos similares.
- ❖ Modos de fallas que nunca han ocurrido, pero es muy probable que sucedan.

Como fase final del AMEF, se asentó los efectos y consecuencias que trae consigo cada modo de falla. Este registro estuvo enfocado a las consecuencias sobre la operación del equipo y sistema, las consecuencias de la seguridad del personal, equipo y medio ambiente, los costos que acarrearán, con miras a enfrentar al Árbol Lógico de Decisiones

		HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN				Hoja 1/1
<b>Sistema:</b> Aire Para Instrumentos y Servicios		<b>Equipo:</b> Compresor	<b>Realizado Por:</b>	<b>Revisado Por:</b>	<b>Aprobado Por:</b>	
<b>Sub Sistema:</b> Compresión 01 / 02		<b>Tag:</b> D4-33701/02	Carlos Salazar	Mecánica	Daniel Cáceres	
<b>Ref:</b> Mecánica		<b>Componente:</b> Filtro De Aire	<b>Fecha:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Fecha:</b>	
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA			

1	Purificar el aire tomado desde la atmosfera	A	No purifica completamente el aire.	1	Ruptura a del filtro.	Se genera la entrada de las partículas solidas al compresor, éstas afectan la densidad del aire haciéndolo más pesado, de allí una disminución de la eficiencia del compresor.  Contribuye a ralladuras e incremento de desgaste de las partes del compresor y demás equipos del sistema. La ruptura del elemento no es visible, y la acción a implementar es reemplazar el filtro.
		B	Restricción del flujo hacia el compresor.	1	Filtro obstruido	Provoca la restricción del fluido hacia el compresor, presentándose baja carga o bajo flujo, mayor tiempo de carga y a su vez un incremento en la temperatura, de allí la parada del equipo. Debe cambiarse el filtro.

**Figura 4.17.** Ejemplo de la Hoja de Información Utilizada.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Se realizó el análisis para el subsistema de compresión 01, haciendo extensible al 02, puesto que tiene el mismo proceso y los mismos equipos, entonces se generaría los mismos resultados para ambos. En el Apéndice C, se muestran todas las hojas de información realizadas para el sistema y en la tabla 4.19 los resultados por equipos del amef.

**Tabla 4.19.** Resultados por Equipos del AMEF.

Activo	Elementos	Funciones	Falla Funcionales	Modos de Falla
Subsistema de Compresión	27	44	56	87
Compresor	16	25	32	53

Motor Compresor	1	3	4	7
Bomba	4	6	6	7
Motor Bomba	1	1	2	3
Ventilador	2	4	5	6
Motor Ventilador	1	1	2	3
Transmisores	1	3	4	6
Interruptores	1	1	1	2

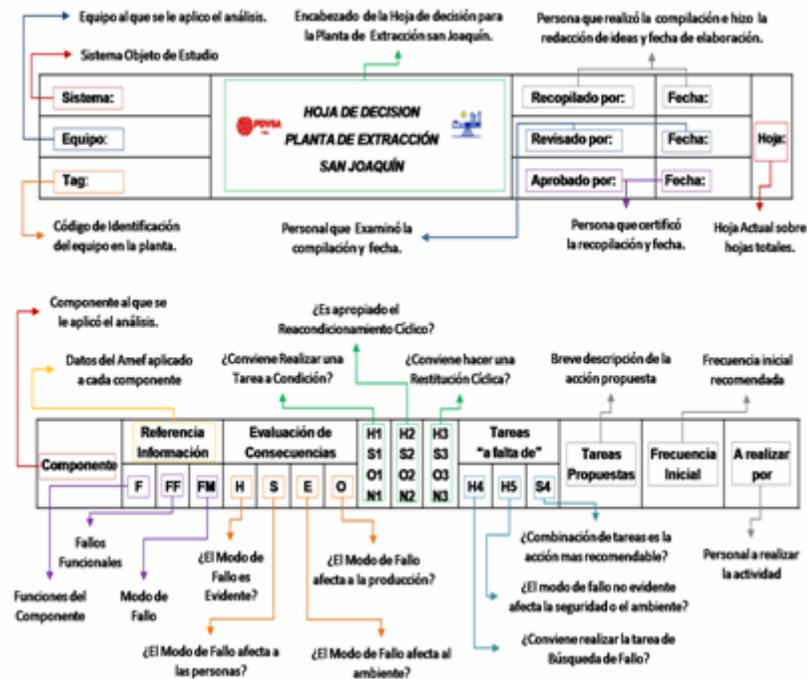
#### 4.6 Árbol Lógico de Decisión.

Para determinar el tipo de mantenimiento mas adecuado para cada modo de falla, se recurrió al árbol lógico de decisiones. Para desarrollar esta etapa se utilizó El flujograma de preguntas del Diagrama de decisión del RCM II, el cual se muestra en la figura 4.18.

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, basada en la plantilla de Hoja de Trabajo de decisión del RCM II por The Woodhouse Partnership Ltd. Las características de la hoja de decisión se muestran en la figura 4.19.





**Figura 4.19.** Descripción de las Características de la Hoja de Decisión Utilizada.

**Fuente:** Elaboración Propia.

La primera parte, muestra el encabezado de la hoja, así como los datos de información del equipo y del personal que realizó la compilación. La segunda parte, expresa la información del AMEF como identificación de cada modo de falla, posteriormente las repuestas de cada modo de falla, sobre si son evidentes, trae consecuencias sobre las personas, el medio ambiente o si trae consecuencias sobre la operación (expresados con H, S, E y O respectivamente), luego se presentan las respuestas, a las tareas recomendadas, que son denotadas como se bosqueja en la figura 4.19, anteriormente mostrada. Seguidamente aparece una breve descripción de la tarea a implementar, así como su frecuencia inicial y el departamento recomendado, cumpliendo entonces con las especificaciones de una hoja de decisión.

Para establecer la frecuencia inicial de ejecución de las actividades y el departamento asignado, se recurrió al Equipo Natural de Trabajo, así como al personal de mantenimiento de mayor experiencia, además de consultar los manuales de fabricantes.

Cabe destacar que las respuestas a las preguntas del Diagrama se reflejan en la Hoja de Decisiones de la siguiente manera: para respuestas negativas (NO) se reflejan con la letra N y para respuestas positivas (SI) con la letra S.

Una vez terminado el análisis se realizó una agrupación de los resultados, los cuales los podemos observar en la tabla 4.20.

**Tabla 4.20.** Resultados por Equipos de las Consecuencias de los Modos de Falla.

Activo	Evidente	No Evidente	No Operacional	Seguridad Ambiental
<b>Subsistema de Compresión</b>	<b>50</b>	<b>37</b>	<b>48</b>	<b>2</b>
Compresor	47	6	45	2
Motor Compresor	3	4	3	
Bomba		7		
Motor Bomba		4		
Ventilador		6		
Motor Ventilador		3		
Transmisores		6		
Interruptores		2		

Figura 4.20. Ejemplo de la Hoja de Decisiones Utilizada para el Sistema.

Sistema: Aire para Instrumentos Y Servicios			 <b>HOJA DE DECISIÓN</b> <b>EXTRACCIÓN</b> <b>SAN JOAQUÍN</b> 										Recopilado por: Carlos Salazar		Fecha:	Hoja 1/4
Subsistema: Compresión 01 / 02													Revisado por: Dpto. Mecánica		Fecha:	
Equipo: Compresor de Aire													Aprobado por: Daniel Cáceres		Fecha:	
Tag: D4-33701 / 02																
Componente	Referencia Información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por:
	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
Filtro de Aire	1	A	1	N	N	N	N			S				Restitución Cíclica: Se debe reemplazar el filtro.	Semestral.	Mecánica.
	2	A	1	N	N	N	N			S						
Válvulas de Descarga	1	A	1	N	N	N	N	S						Tarea a Condición: se recomienda medir el tiempo de carga y verificar el estado de las válvulas y el anillo, en caso que este fuera de lo normal, se debe sustituir las válvulas, enviarlas al taller para limpieza y reparación.	Trimestral.	Mecánica.
			2	N	N	N	N	S								
			3	N	N	N	N	S								
	B	1	N	N	N	N	S									
Pistón	1	A	1	N	N	N	N		S					Reacondicionamiento Cíclico: Se debe revisar las condiciones del pistón, para verificar su estado.	Bianual.	Ing. Mantenimiento y Mecánica.
			2	N	N	N	N							Ningún Mantenimiento Preventivo: Debe asegurarse que la unión pistón barra este fuerte, en cada instalación.	Anual.	Mecánica

Fuente: Elaboración Propia.

Según el análisis el tipo de mantenimiento a aplicar esta distribuido de la siguiente manera, como se muestra en la tabla 4.21.

**Tabla 4.21.** Resultados por Equipos de las Tareas a Aplicar.

Activo	Sustitución Cíclica	Reacondicionamiento Cíclico	Tarea a Condición	Ningún Mtto. Preventivo	Búsqueda de Falla
<b>Subsistema de Compresión</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>8</b>
Compresor	4	7	16	4	2
Motor Compresor		2		4	1
Bomba	1	1	1	1	1
Motor Bomba				2	
Ventilador	2	1		1	2
Motor Ventilador				2	
Transmisores					1
Interruptores					1

#### 4.7 Plan de Mantenimiento.

Una vez aplicado el AMEF y el ALD, se asentó de manera ordenada las actividades o tareas de mantenimiento a realizar, sumado a esto, en esta etapa se agregó las horas hombres estimadas para realizar cada actividad en el plan de mantenimiento, estas se determinaron según indicaciones de los expertos en el área de mantenimiento y reparación de este sistema, tomando en cuenta todos los factores que influyen en el tiempo de reparación del sistema.

Para comenzar a organizar las actividades, se creó un plan de operación para el sistema de Compresión, donde se asignó el tiempo que

van a estar en servicio y a su vez fuera de servicio, esto por recomendación del departamento de mantenimiento y se diseño de acuerdo a un acuerdo del Equipo Natural de Trabajo.

En tabla 4.22 se muestra un programa de operación para los sistemas, basados en 4 meses de trabajo, por lo que se debe repetir una vez terminado. En el apéndice D se muestra el programa anual de operación del sistema.

**Tabla 4.22.** Programa de Operación del Sistema de Aire para un lapso de 4 meses.

Subsistema	Meses																
	1				2				3				4				
	Semanas																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Compresión 01	En Servicio								En Servicio								
Compresión 02					En Servicio								En Servicio				
Secado de Aire	En Servicio																
Almacenado de Aire	En Servicio																
Nitrógeno	En Servicio																

Con el fin de registrar los datos se diseñaron 2 hojas, la primera para un plan anual de mantenimiento con 52 semanas y la segunda para un plan de mantenimiento Bianual con 104 semanas, sin embargo ambas son similares, a continuación en la figura 4.21 se muestra un ejemplo recortado de la hoja para el plan de mantenimiento:



Las celdas rellenas de rojo muestran las actividades a realizar por el sistema de compresión 01, mientras que las rellenas con azul reflejan las del sistema de compresión 02.

En vista de la gran cantidad de actividades a realizar y los numerosos componentes, fue conveniente agrupar actividades, con fin de generar eficacia a la hora de hacerle mantenimiento al sistema. Las pautas para agrupar las actividades son las siguientes:

- ❖ Las actividades deben interactuar o ser consecutivas entre sí, para evitar montajes y desmontaje de equipos con frecuencias cortas.
- ❖ El grupo de actividades no debe generar tiempos excesivos de mantenimiento.
- ❖ No utilizar gran cantidad de personal para las actividades agrupadas.

Una vez registrada la información en las hojas del plan de mantenimiento, se procedió a recopilar los resultados, los cuales se muestran a continuación, según el tipo de mantenimiento en la tabla 4.23 se muestra la cantidad para cada tipo.

**Tabla 4.23.** Actividades por Tipo.

Tipo Actividad	Cantidad
Preventiva	<b>88</b>
Correctiva	<b>18</b>
<b>Total Actividades</b>	<b>106</b>

**Tabla 4.24.** Cantidad de Actividades por Frecuencia de Ejecución.

<b>Frecuencia</b>	<b>Actividades</b>
Trimestrales	<b>6</b>
Semestrales	<b>44</b>
Anuales	<b>22</b>
18 Meses	<b>12</b>
Bianuales	<b>4</b>

Una vez agrupadas por semana, se sumaron las horas hombres que se generan semanalmente, quedando distribuidas como se muestra en la tabla 4.25.

**Tabla 4.25.** Horas Hombres estimadas por Departamento Anualmente.

<b>Semanas</b>	<b>Horas Hombres</b>
Semana 1	<b>25</b>
Semana 8	<b>30</b>
Semana 9	<b>40</b>
Semana 13	<b>45</b>
Semana 14	<b>50</b>
Semana 22	<b>40</b>
Semana 27	<b>15</b>
Semana 34	<b>25</b>
Semana 35	<b>65</b>
Semana 49	<b>45</b>
Semana 40	<b>60</b>
Semana 48	<b>25</b>
<b>Total</b>	<b>465</b>

Para la distribución de las horas hombres por departamento se hizo una agrupación de actividades por departamento, generándose la distribución reflejada en la tabla 4.26.

**Tabla 4.26.** Cantidad Horas Hombres Estimadas por Departamento Anualmente.

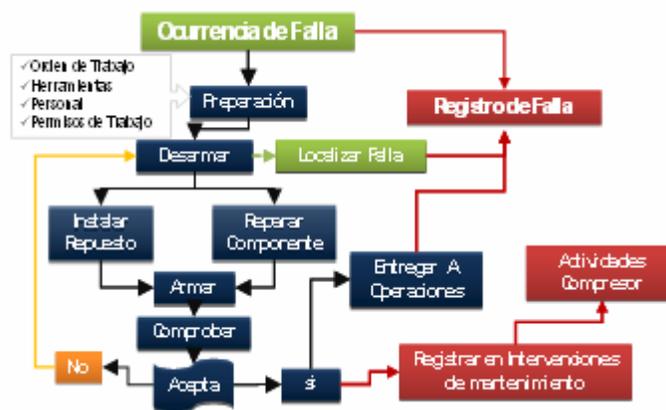
<b>Departamento</b>	<b>Horas Hombre</b>
Electricidad y Mecánica	<b>4</b>
Mantto. Predictivo	<b>32</b>
Mecánica	<b>364</b>
Electricidad	<b>4</b>
Ing. Mantenimiento y Mecánica	<b>41</b>
Instrumentación	<b>20</b>
<b>Todos los Departamentos</b>	<b>465</b>

#### **4.8 Sistema de Recolección de Información.**

Con fines de mejorar la gestión de mantenimiento y aplicar un sistema de mantenimiento proactivo, donde las tareas estén en continua evaluación y mejoramiento, se crearon formatos y algoritmos, para la documentación y organización de los datos.

Al ocurrir una falla generalmente el departamento de operaciones es el primero en detectarla, por lo que son los que informan a mantenimiento la ocurrencia de la misma. Al presentar la falla si el equipo se para operaciones deberá rellenar la hoja de registro de falla con ayuda del personal de Mantenimiento de ser necesario. Programación y supervisor del área involucrada (Mecánica, Electricidad e Instrumentación) realizan la preparación del mantenimiento, de allí el personal realiza la actividad hasta

que el equipo sea reparado y entregado a operaciones. Posteriormente el personal de mantenimiento estará encargado de reflejar verazmente en la hoja de intervenciones la actividad realizada. En caso de la actividad pertenecer al compresor deberán especificar las acciones detalladamente en el Formato de Registro del Compresor. El algoritmo a seguir para registro por ocurrencias de fallas (Mantenimiento Correctivo) y los formatos a utilizar se muestran a continuación:



**Figura 4.22.** Algoritmo a Seguir para Registrar Información por Ocurrencia de Falla.

**Fuente:** Ing. Msc. Diógenes Suarez, con Adaptación Propia.

GERENCIA DE PROCESAMIENTO DE GAS  
 PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN  
 SECCIÓN DE OPERACIONES  
 SISTEMA DE AIRE PARA INSTRUMENTOS Y  
 SERVICIOS




---

**REGISTRO DE FALLA**

Fecha			Hora	Sub Sistema	Equipo	Tag Equipo	Descripción del Suceso	Motivo
Día	Mes	Año						

**Figura 4.23.** Formato de Recolección de Información para Confiabilidad.

**Fuente:** Elaboración Propia.


**GERENCIA DE PROCESAMIENTO DE GAS PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN**  
**SECCIÓN DE MANTENIMIENTO OPERACIONAL**


---

### INTERVENCIÓNES DE MANTENIMIENTO

Fecha			Sistema	Equipo	Tag Equipo	Descripción del Suceso	Motivo	Responsable
Día	Mes	Año						

**Figura 4.24.** Formato para Asentar las Intervenciones de Mantenimiento.

**Fuente:** Elaboración Propia.


**GERENCIA DE PROCESAMIENTO DE GAS PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN**  
**SECCIÓN DE MANTENIMIENTO OPERACIONAL MECÁNICA**


---

Fecha \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Equipo Compresor de Aire Tag \_\_\_\_\_  
 Tipo de Actividad \_\_\_\_\_ Responsable \_\_\_\_\_ Serial \_\_\_\_\_

REGISTRO DE ACTIVIDADES REALIZADAS (CARTER)				
<b>Aire</b>	<i>Filtro de Aire</i>	Inspeccionado		Reemplazado <input type="checkbox"/>
		B <input type="checkbox"/>	R <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>	
<b>Transmisión</b>	<i>Correa</i>	Inspeccionada		Ajustada <input type="checkbox"/>
		B <input type="checkbox"/>	R <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>	
<b>Carter</b>	<i>Nivel de Aceite</i>	Inspeccionado <input type="checkbox"/>		Completado <input type="checkbox"/>
		Reemplazado <input type="checkbox"/>		Reemplazado <input type="checkbox"/>
	<i>Extremo Fijo</i>	Cojinete de rodillo		Inspeccionado
		B <input type="checkbox"/>	R <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>	Reemplazado <input type="checkbox"/>
	<i>Extremo Flotante</i>	Empaquetadura		Inspeccionada
		B <input type="checkbox"/>	R <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>	Reemplazada <input type="checkbox"/>
	<i>Empacaduras</i>	Cojinete de rodillo		Inspeccionado
		B <input type="checkbox"/>	R <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>	Reemplazado <input type="checkbox"/>
	<i>Cigüeñal</i>	Empaquetadura		Inspeccionada
		B <input type="checkbox"/>	R <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>	Reemplazada <input type="checkbox"/>
		Placa Insp. Superior		Inspeccionada
	Placa Insp. Lateral		Inspeccionada	Reemplazada <input type="checkbox"/>
Cubierta		Inspeccionada	Reemplazada <input type="checkbox"/>	
B <input type="checkbox"/>		R <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>	Reemplazado <input type="checkbox"/>	

**Figura 4.25.** Formato para Asentar las Actividades Realizadas al Compresor.

**Fuente:** Elaboración Propia.

En el Apéndice E, se muestran todos los formatos diseñados para el Compresor de Aire.

Para el caso en que la actividad de mantenimiento es programada (Mantenimiento Preventivo), el procedimiento a seguir tiene cierto parecido al anterior. A continuación mostramos el algoritmo a seguir:



**Figura. 4.26.** Algoritmo a Seguir para el Registro de Información de Actividades de Mantenimiento Preventivo.

**Fuente:** Ing. Msc. Diógenes Suárez con Adaptación Propia.

## **CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **5.1 Contexto Operacional.**

En lo que respecta al contexto operacional del Sistema de Aire para Instrumentos y Servicios, se logró constatar que el proceso era el indicado y correspondiente para desempeñar la función al cual fue asignado, el cual es suministrar aire puro comprimido y deshidratado a los trenes de proceso. Cabe destacar que el diseño es el mismo desde inicios de la planta.

El sistema se encuentra bajo techo y opera en condiciones normales, siendo esto poco influyente sobre el proceso y los mantenimientos. En cuanto a supervisión en área, operadores mantiene bien vigilado al sistema, ya que toman parámetros operaciones 6 veces al día, siendo esto beneficioso para el seguimiento del sistema, sin embargo muy poco se utilizan estos registros.

El sistema de compresión 01 y 02, nunca pueden estar fuera de servicio, siempre y cuando no se le este aplicando mantenimiento, esto para evitar incertidumbre de que falle el equipo que está operando, dejando ambos sistemas fuera de servicio y así el sistema completo. Esto por petición del departamento de operaciones.

El factor seguridad del sistema, es bastante bueno ya que está provisto de ocho (8) Válvulas de Alivio, desplegadas a lo largo del sistema, para evitar sobrepresiones. Respecto a protección para equipos, solo se encuentran protegido el compresor, el cual está protegido contra alta

temperatura, alta vibración y baja presión de aceite, debido a ser el equipo principal del sistema.

## **5.2 Diagnostico de la Situación Actual de los Equipos.**

Basándonos en los datos y las impresiones recopiladas, el Sistema de Aire para Instrumentos y Servicios, presenta en general condiciones normales y bastante aceptables en cuanto al estado del sistema y sus alrededores, se encontraron en buenas condiciones en cuanto a pintura y limpieza, atribuido a que posterior a cada mantenimiento se limpia adecuadamente el sistema.

El proceso del sistema, los equipos y funciones eran los que se reflejaban en el manual de operaciones, solo el caso de las torres secadoras se encontraban inhabilitadas por labores de mantenimiento y adecuación, sin embargo se encontraba un secador para suplirla. Según los parámetros de operación recolectados en campo, cuando hacemos la comparación con los parámetros regulares, pudimos constatar que todos los equipos se encontraban trabajando bajo los estándares de funcionamiento establecidos, lo que representa total normalidad de operación para la fecha en que se recogieron los parámetros.

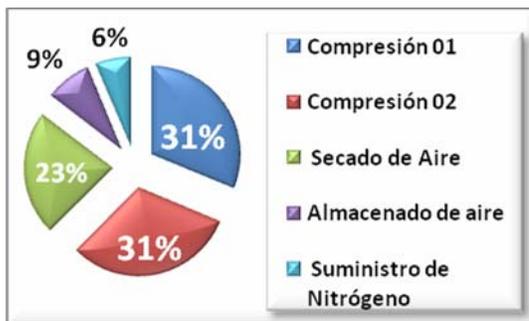
En cuanto a registros de información sobre fallas, operación e intervenciones de mantenimiento a los equipos, no se encontraron fuentes confiables, tanto departamento de operaciones ni en el de mantenimiento, en estos solo se encontrabas bitácoras de acontecimiento o actividades de veracidad dudable e información poco concisa y precisa. Esto debido a que los encargados no poseen formación técnica en cuanto a estos tópicos de registro y en algunos casos falta de concentración, para la documentación, sin embargo en reuniones con el Equipo Natural de Trabajo se constato que

se presentan numerosas alarmas y fallas en los equipos, siendo esto desfavorable a la gestión de mantenimiento y planta en general.

### 5.3 Análisis de Criticidad.

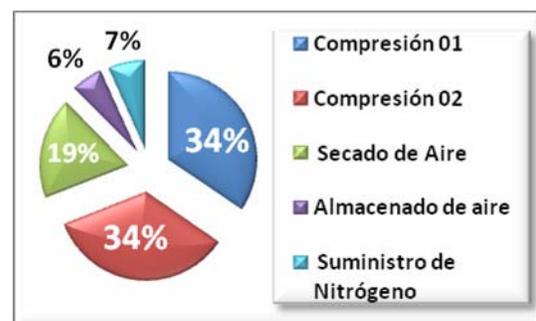
Con la finalidad de aplicar estudios de MCC en componentes que generen mayores inconvenientes, se realizó el análisis de criticidad, con el se descartó equipos no críticos y medianamente críticos, mientras que los críticos fueron los seleccionados para el análisis MCC.

Cabe destacar que se descartaron muchos componentes, debido a que por experiencia del Equipo Natural Trabajo se dedujo que no se encontraban entre los equipos críticos. En la figura 5.1 y 5.2, se muestra la distribución porcentual de equipos y elementos por subsistema respectivamente al que se le aplico el análisis.



**Figura 5.1.** Distribución Porcentual de los Equipos por Subsistema que se le aplicó el Análisis de Criticidad.

**Fuente:** Elaboración Propia.



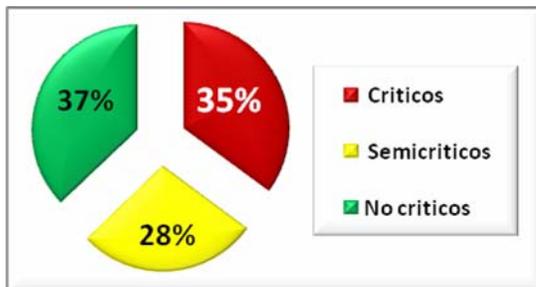
**Figura 5.2.** Distribución Porcentual de los Elementos por Subsistema que se le aplicó el Análisis de Criticidad.

**Fuente:** Elaboración Propia

De estas figuras podemos visualizar, que el mayor porcentaje pertenecen a los subsistemas de compresión 01 y 02, siendo las causas atribuidas a que estos poseen mayor cantidad de equipos y a su vez mayor

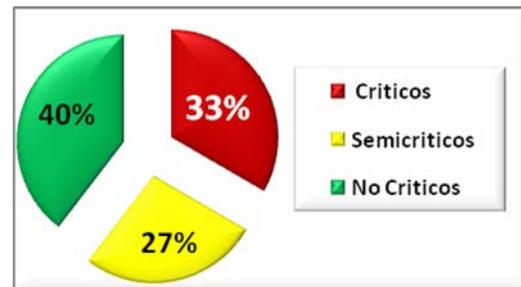
cantidad de componentes. Aunado a esto estos son los que realizan la mayor parte del trabajo, donde los equipos de gran envergadura, complejos y dinámicos pertenecen a estos dos subsistemas. Cabe destacar como se ha mencionado anteriormente, ambos subsistemas de compresión tienen el mismo proceso y equipos similares, por lo que los resultados en ambos son los mismos.

Como parte del análisis, en busca de los elementos críticos, en la figura 5.3 y 5.4 se muestra la distribución de criticidad por equipos y elementos respectivamente, en las cuales se puede observar que la distribución es cercana para cada categoría de criticidad, atribuido a que el sistema presenta diversidad de equipos, elementos y funciones.



**Figura 5.3.** Distribución Porcentual de Criticidad de Elementos.

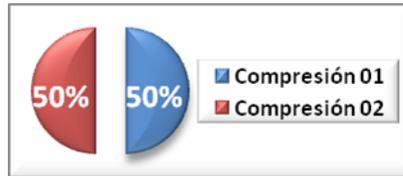
**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 5.4.** Distribución Porcentual de Criticidad de Equipos.

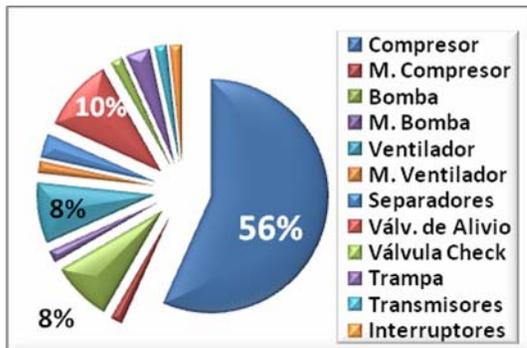
**Fuente:** Elaboración Propia.

En la figura 5.5, mostrada a continuación, el porcentaje de elementos críticos por subsistema, donde solo se reflejaron en los subsistemas de compresión 01 y 02, desviando entonces la atención para ellos. Atribuido esto a la complejidad de estos y su comportamiento en los últimos años.



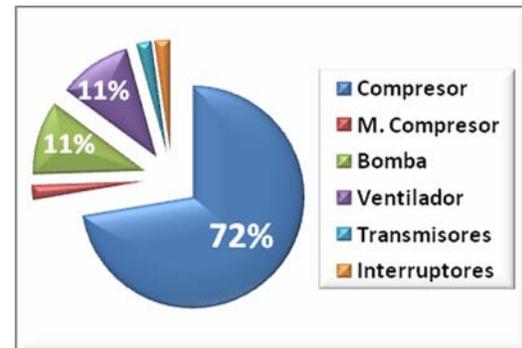
**Figura 5.5.** Distribución Porcentual de Elementos Críticos por Subsistema.

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 5.6.** Distribución Porcentual de Elementos Analizados para el Subsistema de Compresión 01 y 02.

**Fuente:** Elaboración Propia.



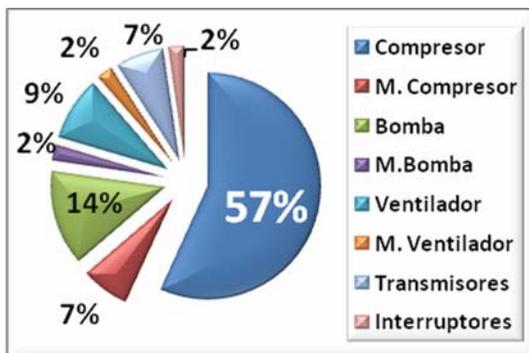
**Figura 5.7.** Distribución Porcentual de Elementos Críticos por Equipo para el Subsistema de Compresión 01 y 02.

**Fuente:** Elaboración Propia.

En cuanto a los equipos de los Subsistemas de Compresión 01 y 02, podemos observar en la figura 5.6 y 5.7 las cuales reflejan la cantidad de elementos analizados y la cantidad de elementos críticos respectivamente para el sistema de compresión 01 y 02, que el compresor es el equipo que posee más piezas analizadas y a su vez posee más elementos críticos, atribuido esto a que es el equipo principal del sistema, diseñado complejamente y con gran cantidad de piezas para mejorar su desempeño operacional y durabilidad. Sin embargo a su vez es el que más trae problemas y preocupaciones actualmente al sistema. En ambas figuras se observa que le siguen la bomba y el ventilador, equipos de apoyo al compresor, ambos dinámicos y que generan también inconvenientes al sistema.

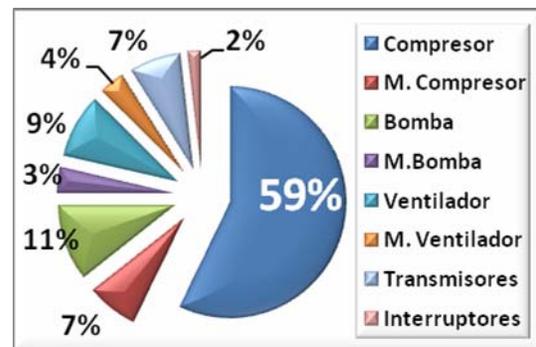
#### 5.4 Análisis de Modos y Efecto de Falla.

En lo que respecta al AMEF fuente o elemento de mayor interés y sustento para la metodología del Mantenimiento Centrado en confiabilidad, realizado a elementos críticos del Sistema de Aire para Instrumentos y Servicios, donde se determinaron todas las funciones (44) de los componentes, así como sus fallas funcionales (56), modos de fallas (87) y los efectos que traen esos modos de falla.



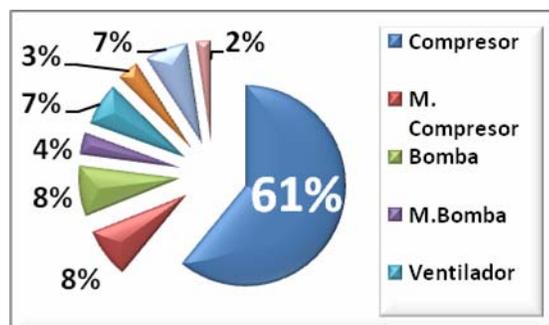
**Figura 5.8.** Distribución Porcentual de las Funciones para cada Equipo.

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 5.9.** Distribución Porcentual de Fallas Funcionales de cada Equipo.

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 5.10.** Distribución Porcentual de los modos de para cada Equipo.

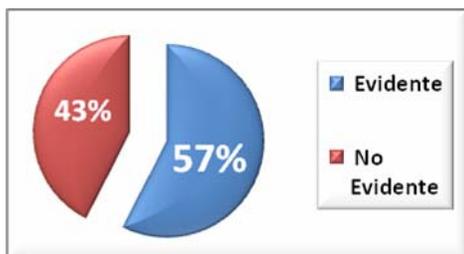
**Fuente:** Elaboración Propia.

Como observamos en las figuras 5.8, 5.9 y 5.10, en gran porcentaje las funciones, fallas y modos de fallas los propician el compresor, seguido de

porcentajes minoritarios el motor del compresor, bomba y ventilador. Esto debido a que estos equipos tienen mayor número de partes, aunado a esto los componentes del compresor en su mayoría tienen funciones secundarias que también son indispensables para el correcto funcionamiento del equipo. En cuanto a los dispositivos de seguridad e instrumentación por vibración, temperatura y presión de aceite, para el AMEF se agruparon en Transmisores e Interruptores, por lo que no se generó grandes cantidades funciones y modos de fallas para estos.

### 5.5 Árbol Lógico de Decisiones.

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 confiabilidad del sistema, se utilizó el Árbol Lógico de Decisiones, donde se analizaron los modos de fallas generados en el AMEF, obteniéndose un total de 50 modos de fallas evidentes y 37 No evidentes, a su vez los evidentes traen solo consecuencias no operacionales y sobre la seguridad del medio ambiente, como visualizamos en las figuras 5.11 y 5.12, las cuales se muestran a continuación.



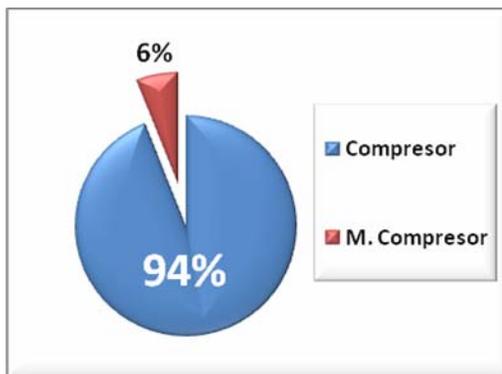
**Figura 5.11.** Distribución Porcentual de Modos de Falla evidentes y No Evidentes para el Sistema.  
**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 5.12.** Distribución Porcentual de las consecuencias de los Modos de Falla evidentes.  
**Fuente:** Elaboración Propia.

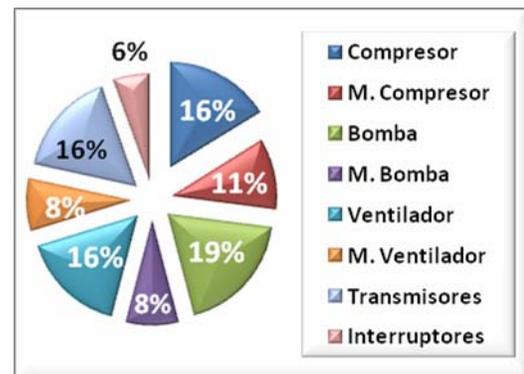
Como observamos en las figuras, la diferencia de porcentajes es pequeña entre fallas evidentes y no evidentes, la mayoría trae consecuencias no operaciones, es decir, solo el tiempo y costo de reparación, y un muy pequeño porcentaje que traen consecuencias negativas sobre la seguridad ambiental, siendo esto un aspecto positivo para el sistema. Cabe destacar que no se presenta consecuencias sobre la operaciones de la planta y la seguridad humana, debido a que el sistema presenta subsistemas en paralelos con redundancia pasiva, entonces las fallas de los componentes no afectan la operación del sistema y lo que respecta a la seguridad humana, los modos de fallas estudiados no afectan de ningún tipo a las personas, sólo a los equipos.

Para ser más específicos en el análisis en las figuras 5.13 y 5.14, se muestran como se encuentran distribuidas las fallas evidentes y no evidentes a lo largo de los equipos.



**Figura 5.13.** Distribución Porcentual de Modos de Falla evidentes.

**Fuente:** Elaboración Propia.



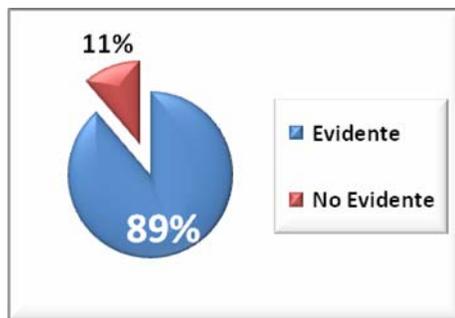
**Figura 5.14.** Distribución Porcentual de Modos de Falla No Evidentes.

**Fuente:** Elaboración Propia.

De estas graficas tenemos, que los fallas evidentes solo se reflejan sobre el compresor y el motor del compresor, esto atribuido a solo estos poseen dispositivos de seguridad (Alarma y Parada) y van directamente al

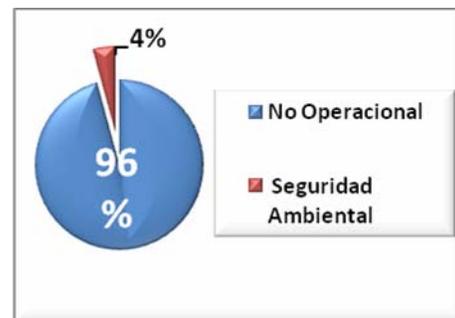
panel de control en la sala de mando de la planta, el cual esta las 24 horas vigilados por operadores y panelistas. Cabe mencionar que para el caso de interruptores y transmisores, que son equipos de seguridad, por lo que siempre sus fallas están ocultas.

Para analizar al compresor, equipo fundamental del sistema, mostramos a continuación las figuras 5.15 y 5.16.



**Figura 5.15.** Distribución Porcentual Evidencia de Fallas en el Compresor.

**Fuente:** Elaboración Propia.



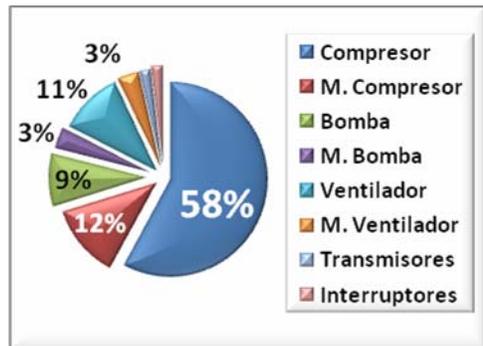
**Figura 5.16.** Distribución Porcentual Fallas Evidentes sobre el Compresor.

**Fuente:** Elaboración Propia.

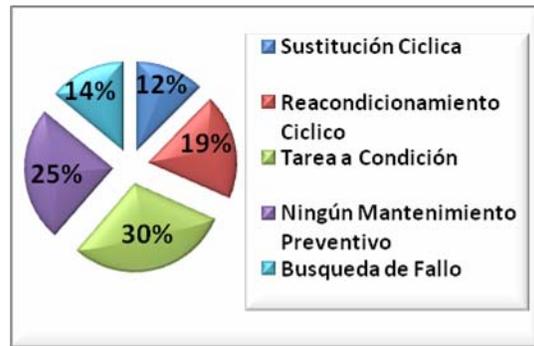
El compresor a pesar de ser un equipo complejo y contener gran cantidad de piezas, gran cantidad de sus fallas son evidentes al personal de operaciones, por estar provisto de alarmas y interruptores de parada para proteger al equipo de cualquier falla, los cuales reflejan valores en la sala de control de la planta. Sus consecuencias de falla son en mayoría No Operacionales, debido a la redundancia pasiva de los sistemas de compresión en paralelo.

En lo concerniente a las tareas de mantenimiento elegidas para el sistema, el compresor es el equipo que propicio mayor cantidad de tareas, seguido del ventilador, bomba y motor compresor, mientras que las tareas

poseen porcentajes cercanos, como lo podemos observar en la figura 5.17 y 5.18, mostrada a continuación:

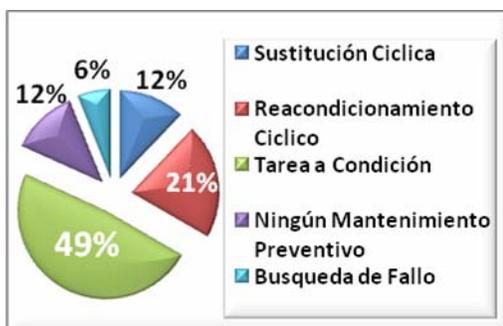


**Figura 5.17.** Distribución Porcentual de la Cantidad de Tareas por Equipos.  
**Fuente:** Elaboración Propia.

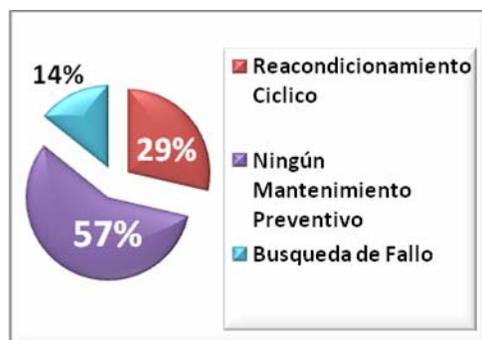


**Figura 5.18.** Distribución Porcentual de las Tareas del Sistema.  
**Fuente:** Elaboración Propia.

Estos resultados son atribuidos, y hacemos insistencia, a la complejidad del compresor, su gran cantidad de piezas, funciones, modos de falla, y a su vez tareas de mantenimiento. Entre las tareas seleccionadas, la uniformidad es fundamentada a la diversidad de elementos que posee el sistema, sin embargo predomina las tareas a condición debido a que no se conoce con certeza la vida útil de muchos componentes, siendo esta tarea la mas recomendable.



**Figura 5.19.** Distribución Porcentual de Tareas para el Compresor.  
**Fuente:** Elaboración Propia.



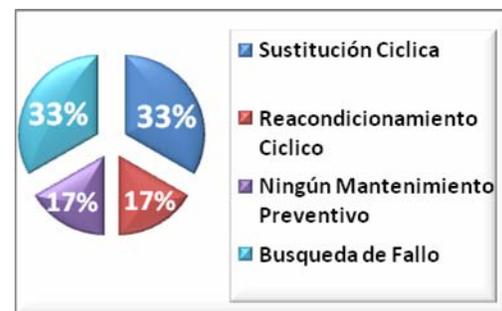
**Figura 5.20.** Distribución Porcentual de Tareas del Motor del Compresor.  
**Fuente:** Elaboración Propia.

Para las graficas 5.19 y 5.20, podemos deducir, que el compresor (33 Tareas) presenta diversidad de tareas, ya que posee a su vez gran cantidad de piezas, que van desde: precios bajos y altos, para protección y protegidos, fáciles y difíciles de reemplazar, reparables y no reparables, entre otros, lo que ocasiona esta distribución. Para el motor del compresor (7 Tareas), predomina ningún mantenimiento preventivo, seguido de reacondicionamiento cíclico y búsqueda de falla, esto porque generalmente se tiene es stock un motor en caso de cualquier anomalía, prefiriendo que falle para repararlo en taller.



**Figura 5.21.** Distribución Porcentual de Tareas para la Bomba.

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 5.22.** Distribución Porcentual de Tareas para el Ventilador.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Como podemos observar en las figuras anteriores, 5.21 y 5.22, para las bombas (5 Tareas) y ventiladores (6 Tareas) las distribuciones son parecidas en ambos casos. Cabe mencionar que en el ventilador no se presentan tareas a condición.

Para el caso de los motores de la bomba y motor del ventilador, sus graficas se muestran a continuación.



**Figura 5.23.** Distribución Porcentual de Tareas Motor Bomba y Motor Ventilador.

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 5.24.** Distribución Porcentual de Tareas para Transmisores e Interruptores.

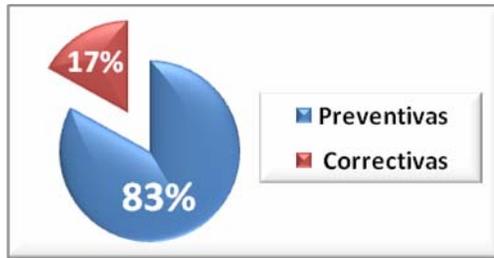
**Fuente:** Elaboración Propia.

Las tareas del motor Bomba-Ventilador, se basan en dejar que ocurra la falla, para posteriormente, llevar al taller a reemplazar, debido a la facilidad para reemplazarlo y que se poseen varios equipos similares en stock. Por esto no se le aplica mantenimiento preventivo. Lo concerniente a transmisores e interruptores, solo se le aplica búsqueda de falla, debido a las características de estos equipo, puesto que no se conoce sin un estudio técnico si están realizando de manera adecuada su función.

## 5.6 Plan de Mantenimiento.

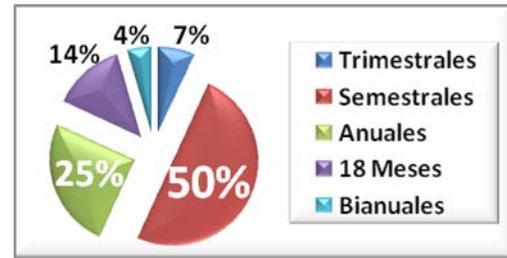
Como paso final, para la elaboración de plan mantenimiento, convino documentar de manera organizada y precisa la información recabada, con fines de generar la mejor interacción entre operación y mantenimiento, a su vez mejorar la gestión de mantenimiento.

En lo Referente a la operación de los equipos, se creó un plan de operación, esto atribuido a que no se contaba con plan alguno actualmente, además se encendían y apagaban los equipos con frecuencias cortas, lo cual no es recomendable.



**Figura 5.25.** Distribución Porcentual de Actividades de Mantenimiento.

**Fuente:** Elaboración Propia.

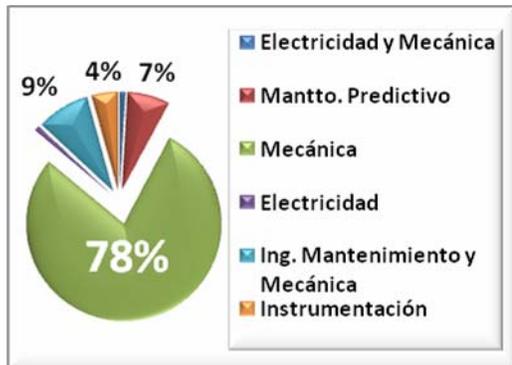


**Figura 5.26.** Distribución Porcentual de Actividades por Frecuencia.

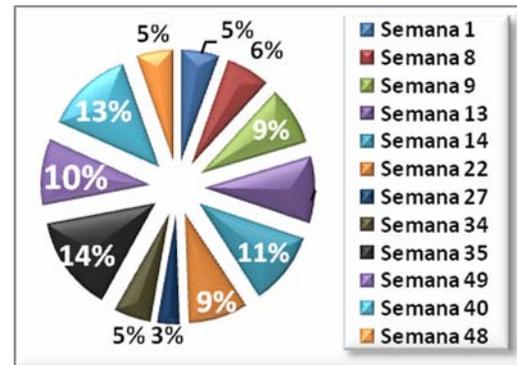
**Fuente:** Elaboración Propia.

Para el caso de las actividades generadas (53), se pueden observar las figuras 5.25 y 5.26 mostradas anteriormente, de las cuales la mayoría son preventivas, siendo valores recomendables 80% de actividades preventivas, para evitar paradas inesperadas en los equipos y así actividades no programadas, asunto que viene aconteciendo recurrentemente en el sistema. Para el caso del tiempo de ejecución inicial de estas actividades preventivas, predominan las semestrales y anuales, siendo estas frecuencias aceptables, por las características de los equipos.

En lo que respecta a las horas de mantenimiento (465) anuales destinadas al sistema, como podemos ver en la figura 5.26, la mayoría de estas las posee el departamento de mecánica, debido a que los equipos son en mayoría mecánicas y responsabilidad de este departamento. En la figura 5.27 podemos visualizar la distribución de horas para las semanas en que se le va aplicar mantenimiento al sistema, destacando la paridad entre ellas, siendo esto beneficioso a la gestión, evitando sobre carga de trabajo por semanas, así como poco trabajo por semana en el sistema.



**Figura 5.27.** Distribución Porcentual de Horas de Mantenimiento para Personal Involucrado de Mantenimiento.  
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 5.28.** Distribución Porcentual de Horas de Mantenimiento por Semana.  
Fuente: Elaboración Propia.

### 5.7 Sistema de Recolección de Información.

Como base para mejorar la documentación del sistema, se crearon dos algoritmos a seguir, uno para actividades preventivas y otras correctivas (por ocurrencia de falla), de las cuales surgieron, formatos para registrar las fallas y las intervenciones de mantenimiento, con miras obtener información y conocer el estado de los equipos del sistema, y así contribuir a tomar decisiones, lo cual es fundamental para la gestión de mantenimiento. Además se creó un formato de actividades para el compresor, el cual es muy completo, fácil de usar y rápido de reflejar los datos, lo cual es totalmente beneficioso para el registro del compresor y el estado de sus piezas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES.

- 1.El sistema presenta cierta anomalía en su operación, puesto viene presentando diversas alarmas y fallas, que traen condiciones desfavorables. Las condiciones externas de los equipos es muy buena y está ubicado en un lugar adecuado.
- 2.La metodología del Ing. Msc. Diógenes Suarez, permitió establecer la criticidad de los componentes del sistema de manera eficaz, generándose 35% elementos críticos, y sólo se presentaron en los subsistemas de compresión 01 y 02. El compresor fue el equipo que presentó mayor cantidad de componentes críticos con un 72%.
- 3.El AMEF determinó (44) funciones, (56) fallas funcionales, (87) modos de falla y efecto de falla a los componentes críticos del sistema, proporcionando información relevante para la elaboración del plan de mantenimiento.
- 4.Se determinó el tipo de mantenimiento a aplicar mediante el Árbol Lógico de Decisiones (ALD). En cuanto a las tareas de mantenimiento preventivas se implementarán sustitución cíclica (12%), reacondicionamiento cíclico (19%) y tarea a condición (30%) y las tareas "a falta de" o correctivas se efectuarán búsqueda de falla (14%) y ningún mantenimiento preventivo (25%).

5.El plan de mantenimiento elaborado, presenta el 83% de tareas preventivas, de las cuales predominan las tareas con frecuencia semestral y anual. El plan genera 465 Horas Hombre estimadas al año, con 78% atribuidas al departamento de mecánica.

**RECOMENDACIONES.**

1. Implementar el plan de mantenimiento diseñado para el Sistema de Aire de Instrumentos y Servicios, Planta de Extracción San Joaquín, PDVSA GAS.
2. Reemplazar el medidor de temperatura de aire a la entrada de la segunda etapa del compresor D4-33702, por estar dañado. En el sistema de enfriamiento utilizar aditivos para mezclar con el agua, para propiciar mejoras en las propiedades del fluido.
3. Utilizar el plan de operación diseñado, evitando frecuencias inadecuadas y desiguales de encendido y apagado de los equipos.
4. Implementar el sistema de recolección de información, además de adiestrar al personal sobre el correcto uso del mismo, en búsqueda de la confiabilidad operacional e influir positivamente sobre las tomas de decisiones.
5. 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.
6. Realizar un inventario de las piezas del sistema que se encuentran en taller y almacén, para luego elaborar un plan de adquisición de repuestos.

## BIBLIOGRAFÍA.

- 1.AMENDOLA, L. **“Modelos Mixtos de Confiabilidad”**, Valencia, España. (2002).
- 2.MATAIX, Claudio. **“Mecánica de los Fluidos y Maquinas Hidráulicas”**, editorial Alfaomega grupo editor. Segunda Edición (1982).
- 3.MOUBRAY J., **“Reliability-Centered Maintenance”**, Editorial Butterworth Heinemann, Oxford (1997).
- 4.MONTAÑO M, Luis, **“Diseño de un Plan de Mantenimiento Basado en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para el Sistema de Gas, Complejo Santa Rosa, PDVSA-GAS, Distrito Social Anaco”** Trabajo de grado de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente. (2007).
- 5.GUERRA M, Esteban, **“Diseño de un Plan Estratégico de Mantenimiento Preventivo Basado en la Filosofía del Mantenimiento centrado en Confiabilidad par una Planta Incineradora”** Trabajo de grado de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente. (2007).
- 6.PDVSA GAS. **“Manual de Operaciones”** Planta de Extracción San Joaquín, Anaco (1996).
- 7.SUAREZ D., **“Guía Teórico – Práctico de Mantenimiento Mecánico”**, Universidad de Oriente. (2001).

8. STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. **“Manual del Curso de Formación de Reability Center Maintenance”** CIED Valencia 1999.
9. TORRES E., Ronald, **“Estrategias Basadas en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para el Mejoramiento del Plan de Mantenimiento de las Bombas de Doble Tornillo del Terminal Orimulsión José”** Trabajo de grado de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente. (2007).
10. PERRY, J., **“Manual del Ingeniero Químico”**, Tomo, sexta Edición, Mc-Grau-Hill, México (1992).

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>TITULO:</b>	“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) PARA SISTEMAS DE AIRE EN PLANTAS DE EXTRACCIÓN DE LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL”
<b>SUBTITULO:</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Salazar P., Carlos M.	<b>CVLAC:</b> 16.486.226 <b>EMAIL:</b> cmsp12@hotmail.com
	<b>CVLAC</b> <b>EMAIL:</b>
	<b>CVLAC</b> <b>EMAIL:</b>
	<b>CVLAC</b> <b>EMAIL:</b>

**PALABRAS O FRASES CLAVES:**

Sistema de Aire para Instrumentos y Servicios

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)

Análisis de Criticidad (AC)

Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

Árbol Lógico de Decisiones (ALD)

Plan de Mantenimiento

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ÁREA	SUB ÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Mecánica

**RESUMEN (ABSTRACT):**

En el siguiente trabajo, se realizó el diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para sistemas de aire en plantas de extracción de líquido de gas natural, como caso específico la Planta de Extracción San Joaquín, con fines de mejorar la confiabilidad operacional de los equipos, evitar la utilización excesiva de las horas extras de mantenimiento, las recurrentes alarmas, fallas y paradas en los equipos. Se realizó un diagnostico de la situación actual del sistema, se determinó el contexto operacional del sistema y aplicó un análisis de criticidad. Luego se aplicó un Análisis de Modos y Efecto de Falla, a los componentes críticos, de allí determinar el tipo de mantenimiento a aplicar mediante el Árbol Lógico de Decisiones, posteriormente elaborar el plan de mantenimiento donde generaron 83% de tareas preventivas, para una totalidad de 465 Horas Hombres de las cuales 78% son atribuidas al departamento de Mecánica. Entre las tareas predominan las tareas a condición.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS X	TU	JU
Griffith, Luis	CVLAC:				
	EMAIL:				
	EMAIL:				
	EMAIL:				
Cáceres, Daniel	ROL	CA	AS	TU X	JU
	CVLAC:	10.581.802			
	EMAIL:	Caceresdd@pdvsa.com			
	EMAIL:	Caceresdd@yahoo.com			
Villarroel, Delia	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	5.189.938			
	EMAIL:	Deliavs@cantv.net			
	EMAIL:				
Suárez, Diógenes	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	5.333.471			
	EMAIL:				
	EMAIL:				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

2009	06	04
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DEL ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS. Mantenimiento Sistema de Aire.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:** Planta de Extracción San Joaquín **(OPCIONAL)****TEMPORAL:** Semestral **(OPCIONAL)****TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**Ingeniero Mecánico.  


---

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**Pregrado.  


---

**ÁREA DE ESTUDIO:**Departamento de Mecánica.  


---

**INSTITUCIÓN:**Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui.  


---

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS:**

Los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser usados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo en cual lo participará el Consejo Universitario.

---

---

---

---

---

---

---

---

**AUTOR**

Salazar P., Carlos

**AUTOR**

**AUTOR**

Griffith, Luis

**TUTOR**

Villarroel, Delia

**JURADO**

Suárez, Diógenes

**JURADO**

Villarroel, Delia

**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**