

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM,
APLICADO A LAS BOMBAS NATIONAL OIL WELL VARCO DE LOS
GENERADORES DE VAPOR**

**MAURICIO ANDRÉS MANRIQUE OLARTE
LUIS CARLOS VELA GARCIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2018

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM,
APLICADO A LAS BOMBAS NATIONAL OIL WELL VARCO DE LOS
GENERADORES DE VAPOR**

**MAURICIO ANDRÉS MANRIQUE OLARTE
LUIS CARLOS VELA GARCIA**

**Monografía de Grado presentada como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: Jorge Luis Fajardo Pulido
Ingeniero Electromecánico
Especialista en Gestión Integral de Activos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2018

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradecer a Dios, quien me ilumino e impulso a seguir su camino, gracias a mi familia por su apoyo constante en los proyectos que emprendo, a mi Esposa Luz Ayda, quien ha sido mi apoyo en todo momento y que me dio a mi hijo Jacobo, motor e inspiración que me impulsa a seguir adelante y alcanzar nuevos objetivos.

Mauricio Manrique

A ustedes que desde el cielo hacen posible aquellos sueños, que terrenalmente veía imposible, este trabajo fruto de sus recuerdos, frases y motivaciones que en vida me supieron dar.

A ti Salomé

Luis Carlos Vela G.

TABLA DE CONTENIDO

<i>INTRODUCCIÓN</i>	19
1. <i>MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA</i>	21
1.1. RESEÑA HISTORICA	22
1.2. UBICACIÓN GEOGRAFICA	23
1.3. CAMPOS DE PRODUCCIÓN DE MANSAROVAR	24
1.4. MARCO ESTRATÉGICO	24
1.4.1. Gobierno Corporativo:	24
1.4.2. Misión:	25
1.4.3. Visión:	25
1.4.4. Valores corporativos	25
2. <i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	27
3. <i>OBJETIVOS</i>	28
3.1. OBJETIVO GENERAL:	28
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	28
4. <i>JUSTIFICACIÓN</i>	29
5. <i>MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD R.C.M.</i>	34
5.1. RESEÑA HISTORICA	34
5.2. DEFINICION DEL RCM	34
5.3. INTRODUCCION AL RCM	35
5.3.1. Las siete preguntas básicas en RCM:	35
5.3.2. Pasos para implementar RCM:	36
5.3.3. Ventajas de implementar RCM:	37
5.3.4.1. Funciones Primarias:	38
5.3.4.2. Funciones Secundarias	38

5.3.6.	Modos de falla:-----	38
5.3.7.	Efectos de falla -----	40
5.3.8.	Consecuencias de falla: -----	40
5.3.9.	Tareas de mantenimiento: -----	41
5.3.10.	Diagrama de decisión de RCM: -----	41
6.	<i>MODELO DE SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA APLICACIÓN DE RCM</i>	
	43	
6.1.	BOMBAS NOV QUINTUPLEX DE AGUA NATIONAL OILWELL VARCO	43
6.2.	PROCESO DE RECUPERACIÓN POR INYECCIÓN ALTERNA DE VAPOR (I.A.V.)	44
6.3.	EQUIPO DE GENERACIÓN DE VAPOR PARA CRUDO PESADO. -----	45
7.	<i>PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN</i> -----	47
7.1.	ANÁLISIS DE COSTOS DE MANTENIMIENTO EN LOS CAMPOS JAZMIN, GIRASOL Y MORICHE-----	47
7.2.	ANÁLISIS DE LAS RUTINAS PREVENTIVAS PARA LAS BOMBAS NOV QUINTUPLEX-----	62
7.2.1.	Rutina de mantenimiento de 13 semanas (trimestral):-----	62
7.2.2.	Rutina de mantenimiento de 52 semanas (anual):-----	63
7.3.	ANÁLISIS DE FALLAS A BOMBAS DE INYECCIÓN DE AGUA. -----	64
7.3.1.	RCA – falla bomba de agua generador de vapor x-524 -----	64
7.3.1.1.	Descripción del Evento-----	64
7.3.1.2.	Árbol de falla -----	65
7.3.1.3.	Hallazgos -----	66
7.3.1.4.	Recomendaciones Propuestas -----	67
7.3.1.5.	Reporte de falla 24 horas, falla bomba gen x-541 -----	68
7.3.1.6.	Información General -----	68
7.3.1.7.	Descripción Del Evento -----	69
7.3.1.8.	Recomendaciones Inmediatas Reporte de Falla 24 Horas-----	70

8.	<i>MODELO DE IMPLEMENTACION PROPUESTO</i>	71
8.1.	DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA METODOLOGIA DE RCM PARA LA BOMBAS NOV QUINTUPLEX	71
8.1.1.	Definición de la frontera	72
8.1.2.	Características técnicas del equipo:	72
8.1.3.	Condiciones operacionales y ambientales	73
8.1.4.	Interfaces:	74
8.1.5.	Definición de funciones:	74
8.1.6.	Definición de las fallas funcionales:	75
8.1.7.	Definición de los modos de falla:	75
8.1.8.	Definición de los efectos y consecuencias de falla:	75
8.1.9.	Evaluación de consecuencias de los modos de fallos	77
8.1.10.	Selección de actividades de mantenimiento:	79
9.	<i>PROPUESTA ESTRATEGICA DE MANTENIMIENTO</i>	82
9.1.	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	82
9.2.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	83
9.3.	ANALISIS DE REPUESTOS	85
10.	<i>CONCLUSIONES</i>	89
	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	90
	<i>ANEXOS</i>	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Avisos Correctivos Atendidos Campo Jazmin Año 2016	30
Tabla 2 Tipo de Equipos Generadores de Vapor Jazmin	30
Tabla 3 Costos Causados por Mtto Cto Gen Vapor MECL 2016	48
Tabla 4 Modos de Falla Asociados a Bombas - Norma ISO 14224	51
Tabla 5 Causas de Falla Asociados a Bombas - Norma ISO 14224.....	53
Tabla 6 Modos de Falla Bombas Gen Vapor Jazmín 2016.....	54
Tabla 7 Causas de Falla Bombas Gen Vapor Jazmín 2016	55
Tabla 8 Modos de Falla Bombas Gen Vapor Girasol 2016.....	56
Tabla 9 Causas de Falla Bombas Gen Vapor Girasol 2016	57
Tabla 10 Modos de Falla Bombas Gen Vapor Moriche 2016	58
Tabla 11 Causas de Falla Bombas Gen Vapor Moriche 2016	59
Tabla 12 Modos de Falla con Mayor Impacto en los Gen Vapor Mor, Jaz y Gir MECL año 2016.....	61
Tabla 13 Causas de Falla de Mayor Impacto en las Bombas De los Gen Vapor Mor, Jaz y Gir MECL año 2016.....	61
Tabla 14 Fronteras RCM, Caso de Estudio.	72
Tabla 15 Características Técnicas, Caso de Estudio RCM	73
Tabla 16 Condiciones Operacionales y Ambientales Caso de Estudio RCM	73
Tabla 17 Interfaces Caso de Estudio RCM.....	74
Tabla 18 Ejemplo de Riesgo Matriz RAM - Caso Monografía.....	77
Tabla 19 Evaluación de Consecuencias de los modos de falla	78
Tabla 20 Selección de las Actividades de Mantenimiento	79
Tabla 21 Check List Semanal Propuesto para caso de estudio.....	84
Tabla 22 Solicitud de Catalogación de Repuestos para las Bombas de los Gen de Vapor	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación Geográfica de Mansarovar.....	23
Figura 2 Producción Mansarovar.....	24
Figura 3 Fallas Atendidas por Tipo de Equipos Gen Vapor Jazmín Año 2016	30
Figura 4 Descripción Tipo de Objeto Girasol	31
Figura 5 Fallas Atendidas por Tipo de Equipos Gen Vapor Girasol Año 2016	31
Figura 6 Descripción Tipo de Objeto Moriche.....	32
Figura 7 Fallas Atendidas por Tipo de Equipos Gen Vapor Moriche Año 2016	32
Figura 8 Mapa Conceptual, Pasos RCM.....	36
Figura 9 Árbol Lógico de Decisión RCM	42
Figura 10 Especificaciones técnicas Bomba NOV	44
Figura 11 Generador de vapor.....	45
Figura 12 Frontera de análisis Bomba quintuplex.....	46
Figura 13 Bomba Quintuplex y motor eléctrico.	46
Figura 14 Porcentaje de Costos Causados Mttos Cto Gen Vapor Campo Jazmin Año 2016.....	48
Figura 15 Porcentaje de Costos Causados Mttos Cto Gen Vapor Campo Girasol Año 2016.....	49
Figura 16 Porcentaje de Costos Causados Mttos Cto Gen Vapor Campo Moriche Año 2016	49
Figura 17 Porcentaje de Costos Causados Mttos Cto Gen Vapor Todos los Campos Año 2016	50
Figura 18 Costos Causados por Mtto Cto Campo Jazmín, Moriche y Girasol año 2016.....	51
Figura 19 Modos de Falla Bombas de Inyección de Agua Jazmín 2016	54
Figura 20 Causas de Falla Bombas de Inyección de Agua Jazmín 2016	55
Figura 21 Modos de Falla Bombas de Inyección de Agua Girasol 2016.....	56
Figura 22 Causas de Falla Bombas de Inyección de Agua Girasol 2016	57
Figura 23 Modos de Falla Bombas de Inyección de Agua Moriche 2016	58

Figura 24 Causas de Falla Bombas de Inyección de Agua Moriche 2016	60
Figura 25 Causas de Falla de Mayor Impacto en las Bombas De los Gen Vapor Mor, Jaz y Gir MECL año 2016.	62
Figura 26 Árbol de Falla Bomba Gen X-524	65
Figura 27 Hallazgos RCA Falla Bomba Gen X-524	66
Figura 28 Recomendaciones Propuestas RCA Falla Bomba Gnerador X-524	67
Figura 29 Información General Reporte de Falla 24 Horas Bomba Gen X-541	68
Figura 30 Descripción del Evento Reporte de Falla 24 Horas Bomba Gen X-541	69
Figura 31 Recomendaciones Inmediatas Reporte de Falla 24 Horas, Falla Bomba Gen X-541	70
Figura 32 Diagrama de Flujo, Implementación RCM	71
Figura 33 Matriz de Valoración de Riesgos - RAM	76

LISTA DE ANEXOS

Anexo A Resumen RCM para las bombas Quintuplex de los generadores de vapor. 91

GLOSARIO

- **CONFIABILIDAD:** capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado¹.
- **MANTENIBILIDAD:** capacidad, bajo condiciones dadas, que tiene un activo o componente de ser mantenido o restaurado en un periodo de tiempo dado a un estado donde sea capaz de realizar su función original nuevamente, cuando el mantenimiento ha sido realizado bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados².
- **DISPONIBILIDAD:** capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado³.
- **ACTIVO:** plantas, maquinaria, inmuebles, edificios, vehículos y otros artículos que tengan un valor distinto para la organización⁴.
- **ÍTEM MANTENIBLE:** elemento que constituye una pieza o un conjunto de piezas que normalmente es el nivel más bajo en la jerarquía de los equipos durante el mantenimiento⁵.
- **FALLA:** un estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado⁶.
- **MODO DE FALLA:** un evento único, que causa una falla funciona⁷l.

¹ PERTUZ COMAS, Alberto David. Principios de Mantenimiento. Bogotá, 2017. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Memorias de Clase, Pag 16-18.

² Ibid.

³ Ibid.

⁴ Ibid.

⁵ Ibid.

⁶ Ibid.

⁷ Ibid

- **MECANISMO DE FALLA:** proceso físico, químico u otro que conduce a una falla⁸.
- **CAUSA DE FALLA:** circunstancias que durante el diseño, fabricación o uso conducen a la falla⁹.
- **EFICIENCIA:** relación entre los recursos utilizados en un proyecto y los logros conseguidos con el mismo¹⁰.
- **EFICACIA:** nivel de consecución de metas y objetivos. La eficacia hace referencia a nuestra capacidad para lograr lo que nos proponemos¹¹.
- **EFFECTIVIDAD:** el equilibrio entre la eficacia y la eficiencia (Stephen Covey).
- **PROACTIVO:** mantenimiento emprendido antes de que ocurra una falla, para prevenir que cualquier elemento entre en estado de falla (restauración programada, desincorporación programada y mantenimiento basado en condición)¹².
- **REACTIVO:** mantenimiento emprendido después de que ocurra una falla no esperada (deducción del opuesto al Proactivo)¹³.
- **TAXONOMÍA DE EQUIPOS:** systematic classification of items into generic groups based on factors possibly common to several of the ítems¹⁴.
- **RCM:** Filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones¹⁵.

⁸ Ibid.

⁹ Ibid.

¹⁰ Vid Nota 1.

¹¹ Ibid.

¹² Ibid.

¹³ Ibid.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ibid, pág 133.

- **EQUIPO CRÍTICO:** es aquel cuya falla produce detenciones e interferencias generales en la línea de proceso, se convierten en cuellos de botella, daños a otros equipos o instalaciones y retrasos o paradas en las actividades de los demás centros de actividad de una empresa u organización¹⁶.
- **ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO:** es el medio para obtener el compromiso de todos los trabajadores de todos los niveles de la organización a los métodos y objetivos de mantenimiento, suministrando el marco para la toma de decisiones y asegurando consistencia hacia los logros del negocio¹⁷

¹⁶ PAVA GOMEZ, Oscar y GUERRERO MENESES, Daniel. MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA TEORÍA DE RCM PARA EL CAMPO MORICHE DE LA COMPAÑÍA PETROLERA MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD. 2016. Monografía. Universidad Industrial de Santander. Especialización Gerencia de Mantenimiento. Pág 18.

¹⁷ Vid Nota 16.

RESUMEN

TÍTULO:

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM, APLICADO A LAS BOMBAS NATIONAL OIL WELL VARCO DE LOS GENERADORES DE VAPOR¹⁸

AUTORES:

Mauricio Andrés Manrique Olarte y Luis Carlos Vela Garcia¹⁹

PALABRAS CLAVES:

Generación de Vapor, Bomba Quintuplex, RCM , Mantenimiento Preventivo y Predictivo.

DESCRIPCIÓN:

Mediante el desarrollo de la presente monografía, se pretende establecer un Plan de Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, aplicado a las bombas national oil well varco de los generadores de vapor, que pueda ser implementado por Mansarovar Energy Colombia Ltd, y ayude a mitigar las fallas presentadas en estos equipos.

Para el desarrollo de esta monografía, se tuvieron en cuenta los historiales de falla, fortalezas y debilidades que actualmente tenían los planes de mantenimiento establecidos y así, aplicando los conceptos de RCM, lograr establecer las actividades de mantenimiento más eficaces que nos ayuden a prevenir los eventos o modos de falla que se puedan presentar.

Como resultado de la aplicación de la metodología RCM, se propone a Mansarovar, unas recomendaciones tales como: cambio de frecuencia de algunas actividades de mantenimiento, mejorar el alcance de estos planes, establecer tareas rutinarias semanales de inspección de los equipos, basados en check list, capacitación del personal y finalmente catalogación de los repuestos adecuados para atender estos equipos.

Finalmente, con esta propuesta se pretende reducir los eventos o modos de falla presentados en estos equipos, y de esta manera reducir las pérdidas de vapor, lograr una reducción en los costos de mantenimiento, y de alguna manera mantener o aumentar la producción de crudo de la empresa.

¹⁸ Monografía.

¹⁹ Facultad de ingenierías físico – mecánicas. Especialización en gerencia de mantenimiento, Director Jorge Luis Fajardo, Esp. Gestion Integral de Activos.

ABSTRACT

TITLE:

RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE PLAN RCM, APPLIED TO THE PUMPS NATIONAL OILWELL VARCO OF THE STEAM GENERATORS²⁰.

AUTHORS:

Mauricio Andrés Manrique Olarte and Luis Carlos Vela Garcia²¹

KEY WORDS:

Steam Generation, Quintuplex Pump, RCM, preventive and predictive maintenance.

DESCRIPTION:

Through the development of the present monograph, it's pretend establish a Reliability Centered Maintenance Plan, applied to the pumps national oilwell varco of the steam generators, which can be implemented by Mansarovar Energy Colombia Ltd, and help mitigate the failures presented in these equipment's.

For the development of this monograph, the failure records were taken into account, strengths and weaknesses that currently had the maintenance plans established, and so, applying the concepts of RCM, to establish the most effective maintenance activities that help us to prevent the events or failure modes that may arise.

As a result of the application of the RCM methodology, Mansarovar is proposed, some recommendations such as: change of frequency of some maintenance activities, improve the scope of these plans, establish weekly routine tasks of equipment inspection, based on checklist, personnel training and finally cataloging the appropriate spare parts to attend these equipment.

Finally, this proposal aims to reduce the events or modes of failure presented in these equipment, and thus reduce steam losses, achieve a reduction in maintenance costs, and in some way maintain or increase the production of crude oil. the company.

²⁰ Monograph

²¹ Faculty of physical – mechanical engineering. Specialization in maintenance management. Director Jorge Luis Fajardo Pulido, B. Integral Asset Management.

INTRODUCCIÓN

Los grandes cambios en el mundo, los avances tecnológicos y sumado a la reciente crisis del sector petróleo, ha hecho que las grandes empresas se empiecen a preocupar por optimizar sus recursos y mejorar cada día más sus procesos. De igual manera ha inducido a las empresas que empiecen a mejorar también sus prácticas de mantenimiento, obligándolas de cierta manera, a fortalecer sus departamentos de mantenimiento, para optimizar sus recursos, procesos y costos.

El mantenimiento se ha ido ajustando a las necesidades que estos grandes cambios han traído a las diferentes industrias, buscando nuevas maneras de hacer el mantenimiento. En la búsqueda de nuevas técnicas de mantenimiento han surgido nuevas tendencias y/o filosofías que ha hecho del mantenimiento un gran aliado para el correcto desarrollo las operaciones, logrando mejoras en los indicadores de gestión, mejoras en producción, mayor rentabilidad, entre otros. Es acá donde aparece el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM, el cual se ajusta a diversas actividades de la industria, y fue el escogido como metodología para el desarrollo la presente monografía.

Para la realización de la presente monografía, se tuvieron en cuenta las fortalezas y debilidades que actualmente tienen los planes de mantenimiento implementados por Mansarovar, en sus procesos de generación de vapor, para así lograr identificar cuáles son los puntos débiles y los equipos con más frecuencia de falla, y así proponer actividades de mantenimiento que ayuden a mejorar estas falencias.

Mansarovar Energy en sus procesos de extracción de crudo, utiliza la estimulación del crudo a través de la inyección alterna de vapor, haciendo de los generadores de vapor, parte importante de este proceso. Las fallas y problemas presentados en estos generadores han sido mayormente reflejados en su sistema de inyección de

agua, las bombas, las cuales han presentado fallas con altos costos de reparación y pérdidas reflejadas en la falta de inyección de vapor, que a su vez afectan la extracción de crudo.

Por esto la presente monografía tiene como objetivo Elaborar un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, aplicado a las bombas National Oil Well Varco (NOV) de los generadores de vapor, que pueda ser implementado por MECL que ayude a mitigar las fallas en estos equipos.

1. MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA

Mansarovar Energy Colombia Ltd, es una sucursal de sociedad extranjera, debidamente construida en Colombia cuya matriz se encuentra en Bermuda y pertenece a dos actores mundiales del petróleo, ONGC Videsh Limited y SINOPEC Corp. Su objeto social principal es la exploración, explotación y transporte de hidrocarburos²².

Mansarovar es líder en el uso de tecnologías que permiten generar o facilitar la movilidad de los crudos a través de su roca almacenadora, estos viabilizan la disminución de viscosidad, facilitando la movilidad, la tecnología usada para lograr esto es la Estimulación Cíclica de Vapor, con la inyección continua de vapor se pretende generar una capa de vapor que caliente de manera uniforme el yacimiento, permitiendo un barrido más homogéneo del hidrocarburo dentro del yacimiento. Adicionalmente por efecto alto de temperatura se intenta disminuir la situación de aceite residual.²³.

Mansarovar en asociación con Ecopetrol S.A. está desempeñando un importante papel en la estrategia del crudo pesado en Colombia debido a:

- Operaciones según los estándares ambientales de clase mundial.
- Examen de reservas de crudo en campos.
- Ensayo y uso de nueva tecnología.
- Inversión de nueva infraestructura y aumento de la categoría de la existente.
- Maximización de la recuperación del crudo pesado.
- Optimización de inversión y costos de producción.

²² <http://www.mansarovar.co/textos-nosotros.html#perfil>

²³ <http://www.mansarovar.co/nuestras-tecnologias.html>

Tiene en la actualidad pozos en operación en el país, en virtud de contratos de asociación con Ecopetrol S.A. en los bloques “A” y “B”²⁴.

1.1. RESEÑA HISTORICA

La historia operativa de Mansarovar se remonta a 1940, con el descubrimiento y desarrollo de Campo Velásquez, en ese tiempo operado por Texas Petroleum Company.

En 1994, la compañía OMIMEX Resources Inc. Adquiere el campo petrolero Velásquez por medio de una licitación y un año después adquirió el Oleoducto Velásquez-Galán.

En 2005, durante la ronda abierta de negociación las compañías Oil and Natural Gas Corporation Limited (ONGC) compañía petrolera de India y Petroleum & Chemical Coporation (SINOPEC Corp) de la China, demuestran su interés por comprar las acciones de OMIMEX y en 2006, después de varias rondas de negociación, de esta unión de nacimiento a Mansarovar Energy Colombia Ltd.

- En 1940, se realiza el descubrimiento de Campo Velásquez, por la Texas Petroleum Company.
- En 1967 Concesión Cocorná 844.
- En 1980 Desarrollo de campo Teca, operado por Texas Petroleum Company.
- En 1994 Omimex Resources Inc, adquiere Campo Velásquez.
- En 1995, Omimex adquiere Oleoducto Velásquez – Galán.
- En 2006, ONGC – India y Sinopec Corp – China, se unen y adquieren las acciones de Omimex y como resultado nace Mansarovar Energy Colombia Ltd.

²⁴ Vid Nota 16, Pag 22.

- En 2006 – 2011, Mansarovar desarrollo negocios en asociación con Ecopetrol denominados Asociación Nare, operando en los campos: Nare Sur, Jazmin, Girasol, Under River, Moriche, Abarco, Chicála (Campo No desarrollado). Además de manejar las operaciones privadas de Campo Velasquez.
- En 2012, se adjudica el bloque Llano 69 a Mansarovar Energy Colombia Ltd²⁵.

1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Su sede principal en la ciudad de Bogotá D.C, pero su principal centro de operaciones se encuentra ubicado en el Magdalena Medio, más exactamente en los Municipios de Puerto Boyacá y Puerto Nare.

Figura 1 Ubicación Geográfica de Mansarovar



<https://www.google.com.co/maps/search/Campo+Moriche,+Puerto+Boyac%C3%A1,+Boyac%C3%A1/@6.1848569,-74.5461468,15z/data=!3m1!4b1>

²⁵ <http://www.mansarovar.co/textos-nosotros.html#historia>


1.3. CAMPOS DE PRODUCCIÓN DE MANSAROVAR

Sus campos principales de asociación con la petrolera estatal Ecopetrol son: Moriche, Abarco, Jazmín, Girasol, Nare Sur, Under River, y Campo Velásquez. Actualmente MECL tiene una producción promedio de aproximadamente 30000 BOPD.

Figura 2 Producción Mansarovar

ASI VAMOS FRENTE A NUESTRA META DE PRODUCCIÓN!

Unidad: BOPD
Fecha: 8/14/2017



Campos	Meta Día	Producción Día	Cumplim. Día %	Producción Prom. Mes	Cumplim. Mes %
Chicala	-	-	0.0%	-	0.0%
Velasquez	3,320	3,225	97.1%	3,203	96.5%
Abarco	4,312	3,501	81.2%	3,643	84.5%
Girasol	3,717	3,453	92.9%	3,408	91.7%
Jazmín	4,567	4,438	97.2%	4,374	95.8%
Moriche	13,216	12,443	94.2%	12,377	93.7%
Nare Sur	274	189	69.0%	165	60.2%
Underriver	2,853	2,225	78.0%	2,310	81.0%
Total Mansarovar	32,259	29,474	91.4%	29,480	91.4%

Fuente: Mansarovar Energy.

1.4. MARCO ESTRATÉGICO

1.4.1. Gobierno Corporativo: Desde el año 2007, Mansarovar inicio la implementación de gestión de procesos, basado en las mejoras prácticas de la industria del OIL & GAS. Este modelo de Gobierno Corporativo creado por Price Waterhouse Cooper ha permitido garantizar la transparencia de Mansarovar en todas sus actuaciones. Así mismo, dicho proceso permitió a la compañía definir su cadena de valor y conocer sus procesos estratégicos fundamentales de negocio y de apoyo.

Mansarovar fue la segunda empresa en el sector que logró aumento de su autonomía mediante la implementación de su sistema de gestión integrado (SIGA), el cual tiene en cuenta los requerimientos planteados en el reglamento de contratación de operadores de Ecopetrol. Con la implementación de dicho sistema su autonomía paso de US\$20000 a US\$250000.²⁶

1.4.2. Misión: Asegurar retornos valiosos para todos los grupos de interés desarrollando activos de hidrocarburos con énfasis en campos de crudo pesado y suministrando petróleo (“Barriles Limpios”).

1.4.3. Visión: Ser un líder en Latinoamérica para el año 2020 en la explotación de campos de crudo pesado a través del recobro térmico.

1.4.4. Valores corporativos

- **CORRAJE “BERRAQUERA”:** Adaptación exitosa al cambio con una actitud proactiva hacia el futuro.
- **INNOVACIÓN:** Mantener una tendencia continua hacia nuevos desarrollos.
- **COMPROMISO:** Compromiso hacia el éxito, el logro, la sostenibilidad y la satisfacción del cliente.
- **CONFIANZA:** Establecimiento de relaciones de confianza.
- **TRABAJO EN EQUIPO:** El trabajo basado en la cooperación, diversidad y la interacción.
- **GOBIERNO CORPORATIVO:** Buen manejo de nuestro negocio, de acuerdo con todos los requisitos legales y éticos, la notificación de los resultados con exactitud y sinceridad²⁷.

²⁶ <http://www.mansarovar.co/gobierno-corporativo.html>

²⁷ <http://www.mansarovar.co/gobierno-corporativo.html>

- CUIDADO: Generación de valor para los accionistas y las partes interesadas a través de prácticas de HSE y gestión social de talla mundial asegurando un adecuado balance en los aspectos económico, social y ambiental²⁸.

²⁸ <http://www.mansarovar.co/texto-marco-estrategico.html#mision>.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Mansarovar Energy es una multinacional petrolera, que se especializa en la extracción de crudo pesado en Colombia, a través de la utilización de procesos térmicos para la recuperación de crudo. Uno de los procesos usados para la extracción de crudo pesado es la inyección cíclica de vapor, la cual consiste en generar una cámara de vapor que caliente de manera uniforme el yacimiento y permita así un barrido más homogéneo del hidrocarburo a superficie.

Los generadores de vapor son los equipos usados para realizar la inyección del mismo al yacimiento. Estos generadores están compuestos por una bomba de inyección de agua, un blower y constan de 3 zonas: zona de radiación, zona de transición y zona de convección. Siendo la bomba de Inyección de Agua, uno de los equipos críticos ya que, sin ella no se tendría suministro de agua que permita la transformación del agua a vapor, ante una falla de la misma, se genera la parada inmediata del generador, suspendiéndose así la inyección de vapor a los yacimientos, reflejándose en una disminución de la extracción del crudo.

Históricamente, el elemento que más frecuencia de falla presenta, fue la bomba de inyección, paradas que fueron atribuidas al área de mantenimiento, ya que según los RCA realizados no arrojaron fallas ocasionadas a mala operación o defectos de fabricación. En este orden de ideas, los planes de mantenimientos establecidos para estos equipos, no son lo suficientemente efectivos para evitar las fallas más frecuentes de las bombas y peor aún las fallas más graves y costosas que se han presentado, tales como rotura de cigüeñal, aceite emulsionado, entre otros.

Es por esto, que el presente proyecto pretende realizar un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM, aplicado a las Bombas National Oil Well Varco (NOV) de los generadores de vapor, que permita reducir las fallas presentadas en este tipo de bombas, y así disminuir los impactos ocasionados a la producción de crudo de la compañía.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL:

Elaborar un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, aplicado a las bombas National Oil Well Varco (NOV) de los generadores de vapor.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Generar la taxonomía de los equipos de la empresa, enfatizado en el proceso de generación de vapor.
- Determinar las fronteras del proceso y/o equipo a analizar.
- Determinar las funciones, las fallas funcionales, modos de falla y sus efectos de las bombas National Oil Well Varco.
- Elaborar la Matriz de criticidad.
- Establecer las tareas de mantenimiento y las actividades preventivas que ayuden a conservar la funcionalidad del equipo.
- Asignar a las tareas de mantenimiento generadas, las horas hombre, frecuencias, frente de trabajo y listado de repuestos.

4. JUSTIFICACIÓN

Ante la crisis mundial ocasionada por la caída de los precios del petróleo, Mansarovar Energy, como la gran mayoría de las empresas dedicadas al negocio de los hidrocarburos, se vio en la obligación de tomar medidas que le permitieran mantener la producción, pero a menores costos.

Una de las estrategias que la empresa decidió implementar, fue la de identificar los malos actores que estaban ocasionando o afectando negativamente la extracción de crudo.

Para el caso de esta monografía, se analizaron los malos actores del subsistema de generación de vapor, el cual, afecta de manera indirecta la generación de crudo, ya que según estudios de geología, que ha realizado internamente MECL, se ha logrado estimar que por cada 1'000.000 de BTU/Hr que se dejen de generar, afecta la extracción de crudo en aproximadamente 5 barriles. Es por esto que el proceso de generación de vapor, es muy importante para la compañía. Por consiguiente se analizaron los malos actores que están impactando la generación de vapor, en los campos Moriche, Jazmín y Girasol.

En campo Jazmín se atendieron durante el 2016, aproximadamente 419 avisos correctivos, para atención a los generadores de vapor.

Tabla 1 Avisos Correctivos Atendidos Campo Jazmin Año 2016

TIPO DE OBJETO	AVISO
BOAR	58
CORE	12
EETM	16
MECA	18
PI	10
RFAP	247
TAFC	44
VFMT	14
TOTAL	419

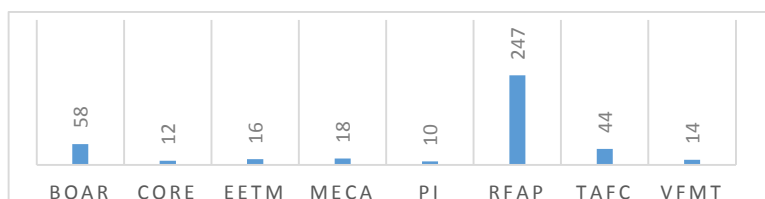
Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM.

Tabla 2 Tipo de Equipos Generadores de Vapor Jazmin

TIPO DE OBJETO	DESCRIPCIÓN
BOAR	BOMBA ALTERN-RECIPR
CORE	COMPRESOR ALT/RECI
EETM	TRANSM MULTIVARIABLE
MECA	MOTOR ELECTRICOS CA
PI	INDICADOR DE PRESION
RFAP	CALDERA AP TUBO AGUA
TAFC	TAB FUERZA Y CONTROL
VFMT	VARIADOR FRECUENCIA

Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 3 Fallas Atendidas por Tipo de Equipos Gen Vapor Jazmín Año 2016



Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Se puede observar que los equipos más atendidos por fallas son los RFAP, que corresponde al generador como tal, y segundo equipo atendido por falla corresponde a las bombas de agua.

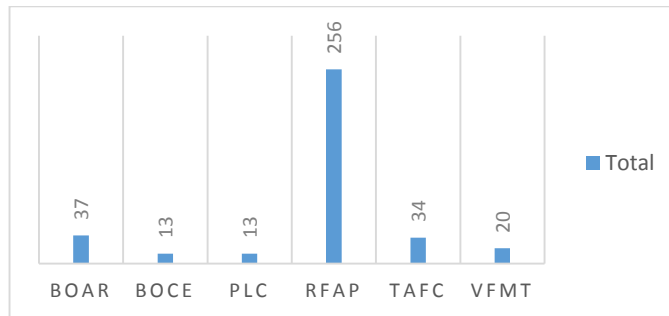
El comportamiento en campo Girasol, fue similar al de Jazmín. Se atendieron un total de 373 avisos correctivos a los generadores de vapor. De los cuales el segundo equipo más afectado fue la bomba de inyección de agua.

Figura 4 Descripción Tipo de Objeto Girasol

TIPO DE OBJETO	DESCRIPCIÓN
BOAR	BOMBA ALTERN-RECIPR
BOCE	BOMBA CENTRIFUGA
PLC	PANEL VIEW
RFAP	CALDERA AP TUBO AGUA
TAFC	TAB FUERZA Y CONTROL

Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 5 Fallas Atendidas por Tipo de Equipos Gen Vapor Girasol Año 2016



Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

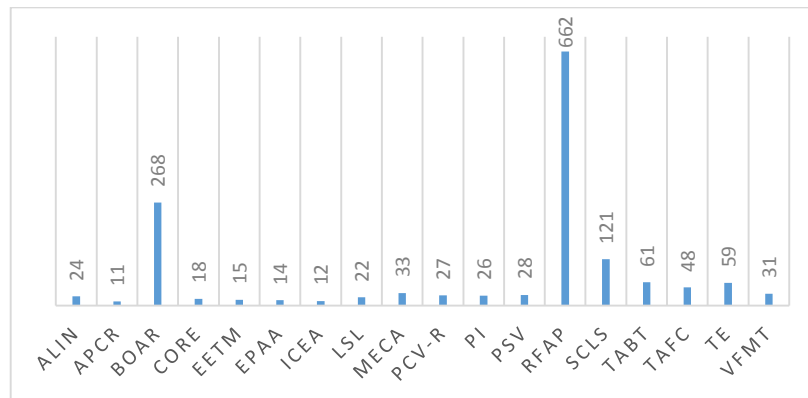
Finalmente en campo Moriche se obtuvo el mismo comportamiento, en donde se atendieron una totalidad de 1480 avisos correctivos, la bomba fue el segundo equipo más intervenido.

Figura 6 Descripción Tipo de Objeto Moriche

TIPO DE OBJETO	DESCRIPCIÓN
ALIN	ALUMBRADO INTERNO
APCR	AMORT PULSO CARTUCHO
BOAR	BOMBA ALTERN-RECIPR
CORE	COMPRESOR ALT/RECI
EETM	TRANSM MULTIVARIABLE
EPAA	SISTEMA AIRE ACONDIC
ICEA	INTER CALOR ENF AGUA
LSL	SWITCH BAJO NIVEL
MECA	MOTOR ELECTRICOS CA
PCV-R	REGULADOR
PI	INDICADOR DE PRESION
PSV	VALVULA SEGURIDAD
RFAP	CALDERA AP TUBO AGUA
SCLS	CONTROL LAZO SIMPLE
TABT	TABL ELEC BAJA TENS.
TAFC	TAB FUERZA Y CONTROL
TE	TERMOCUPLA
VFMT	VARIADOR FRECUENCIA

Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 7 Fallas Atendidas por Tipo de Equipos Gen Vapor Moriche Año 2016



Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Como se puede notar uno Malos actores identificados por la compañía, fue la falla recurrente de los generadores de vapor, siendo estos más representativos en las fallas producidas por las bombas de inyección de agua, que además de ser las más frecuentes, en algunos casos, fueron las más costosas y que impactaron negativamente la producción de crudo de la compañía.

El presente trabajo se realiza con la finalidad de cumplir los objetivos corporativos de la empresa, y busca de alguna manera aumentar o mantener la producción de hidrocarburo, al menor costo posible, reducir los costos de mantenimiento de los generadores de vapor, mediante la aplicación de técnicas de mantenimiento que aumenten la confiabilidad de estos equipos.

5. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD R.C.M.

5.1. RESEÑA HISTORICA

Los principios básicos del RCM fueron desarrollados inicialmente por la industria aeronáutica norteamericana, con fin de reducir sus elevados costos en mantenimiento, ya que eran costosas y peligrosas.

A mediados de 1973 el departamento de defensa de los estados unidos incorporo conceptos y métodos de RCM en varias aplicaciones militares. United Airlines fue subvencionada para escribir un documento comprensivo sobre las relaciones entre mantenimiento, fiabilidad y seguridad, a continuación de su labor pionera realizada en el soporte al desarrollo y licenciamiento del Boeing 747.

Los autores de dicho documento fueron Stanley Nowlany Howard Heap. Le dieron el título “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad” (“Reliability Centred Maintenance”). Este informe fue publicado en 1978 y aún es uno de los documentos más importantes en la historia de la gestión de activos²⁹.

5.2. DEFINICION DEL RCM

John Moubray, considerado uno de los más grandes exponentes de esta metodología definió el RCM de la siguiente manera: “El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para

²⁹ Ortiz Plata, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Bogotá, 2017. Memorias de clase. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. p. 25-28.

asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”³⁰.

Otra definición de RCM dada por Anthony R. Smith es: “Filosofía de gestión del mantenimiento en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento, en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones”³¹.

5.3. INTRODUCCION AL RCM

RCM es una técnica de mantenimiento que se basa en el análisis de fallas de los equipos o sistemas, buscando evitar con estableciendo tareas preventivas y/o predictivas futuras y posibles fallas. Para poder realizar un eficiente análisis de fallas, la técnica RCM recomienda que se deben responder siete preguntas básicas

5.3.1. Las siete preguntas básicas en RCM: El proceso de RCM formula siete preguntas básicas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre la falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?

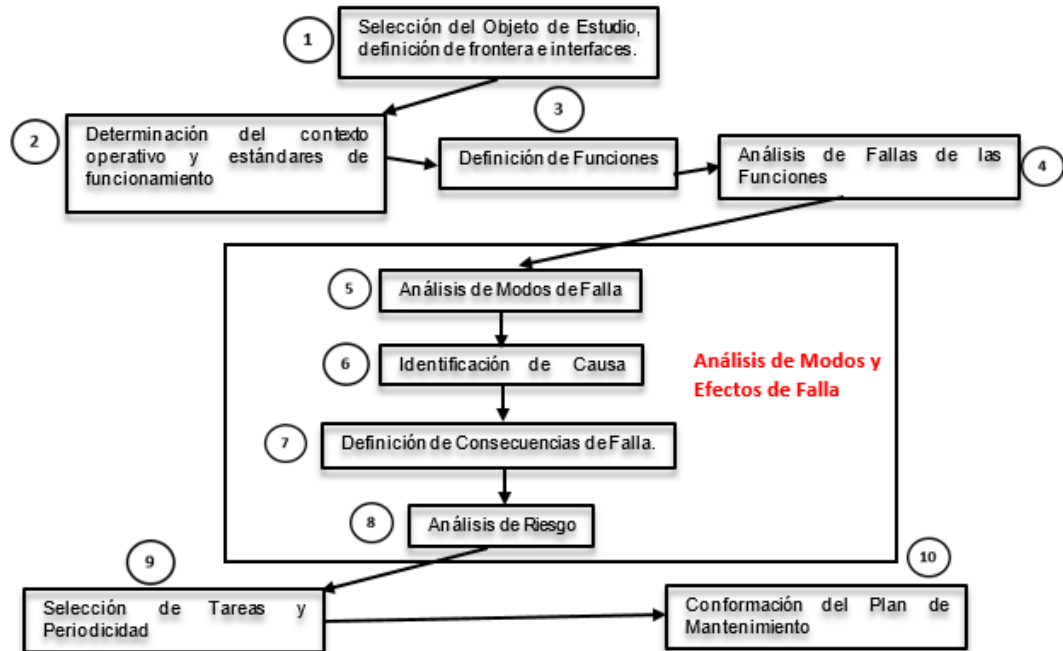
³⁰ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II, Edición en Español. Gran Bretaña: Aladon LLC., 2004. p.7

³¹ Ortiz Plata, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Bogotá, 2017. Memorias de clase. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. p. 11.

- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

5.3.2. Pasos para implementar RCM: Para implementar un RCM deben seguirse unos pasos, los cuales se pueden evidenciar en el siguiente diagrama de flujo:

Figura 8 Mapa Conceptual, Pasos RCM



Fuente: Memorias de Clase RCM, Esp Gerencia Mtto, Bogotá 2017

5.3.3. Ventajas de implementar RCM: La metodología RCM proporciona una serie de ventajas las cuales se enlistan a continuación:

- Reducción de gastos de mantenimiento (comúnmente entre 5-15%).
- Mejora la confiabilidad y disponibilidad, (menos tiempo fuera de servicio asociado con mantenimiento preventivo y menores números de falla).
- Establece una recopilación de experiencia y documenta las justificaciones técnicas para cada decisión en el futuro.
- Balancea los costos de mantenimiento de confiabilidad del servicio
- Mejora la habilidad para planear el mantenimiento.
- Administración más efectiva de los recursos limitados.
- Define y prioriza los tipos de tareas de mantenimiento necesarias según la función del equipo.
- Enfoca el mantenimiento en escenarios de alta consecuencia de falla del equipo.
- Sentido de pertenencia y mayor motivación personal.
- Propicia el trabajo en equipo al interior de los grupos de mantenimiento y su relación los demás procesos.
- Lenguaje técnico apropiado y para analizar los problemas y tomar decisiones.³²

³² Ortiz Plata, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Bogotá, 2017. Memorias de clase. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. p. 14-18

5.3.4. Funciones y parámetros de funcionamiento: Después de determinar el equipo y determinar las fronteras, se procede a definir las funciones del activo en su contexto operacional. Estas funciones pueden ser divididas en 2 categorías:

5.3.4.1. Funciones Primarias: Resumen el porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad del producto y servicio al cliente.

5.3.4.2. Funciones Secundarias: La cual reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales y hasta de apariencia del activo.³³.

5.3.5. Fallas funcionales: John Moubray define las Fallas Funcionales de la siguiente manera: “La incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario”³⁴.

Este listado de fallas funcionales debe ser realizado por el personal de mantenimiento y operaciones, quienes deberán concretar cuáles serán los límites de funcionamiento y falla del equipo.

5.3.6. Modos de falla: Nuevamente tomando a Moubray como referencia, el modo de falla es definido como: “Cualquier evento que causa una falla funcional”. Un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo. La descripción debe ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar una estrategia

³³ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II, Edición en español. Gran Bretaña: Aladon LLC., 2004. p.8.

³⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II, Edición en español. Gran Bretaña: Aladon LLC., 2004. p.50

de manejo de falla apropiada, pero no tanto como para perder tiempo en el propio proceso de análisis³⁵.

Los mecanismos de falla o causa de la falla son una descripción de la secuencia de los eventos que apuntan hacia la forma en que la falla ocurrió; con estos se describe en forma suficiente el modo de falla que finalmente es la causa raíz del o de los problemas

El mecanismo de la falla es la combinación de causas que llevan al equipo o sistema a no funcionar bajo las condiciones para las que fue diseñado.

Los modos de falla incluyen aquellas fallas que han ocurrido en equipos similares, también incluyen fallas que actualmente estén siendo prevenidas mediante algún tipo de mantenimiento, así como fallas que aún no ha ocurrido pero es muy probable que ocurran en el contexto operacional³⁶.

Algunos mecanismos o modos de falla son: Corrosión, Abrasión, Erosión, Deformaciones, Cambios volumétricos, Alta temperatura, Baja temperatura, Pérdida de aislamiento térmico, Fatiga, Difusión de un material en otro, Agrietamiento, Cambios de la estructura metalúrgica, Cambios en la estructura química, Soltura física, Vibración, Suciedad, Humedad, Contaminación, Oxidación, Fugas, Envejecimiento, Obstrucción, Pérdida de aislamiento eléctrico, Sobrevoltaje, Sobrecorriente, Sobrepresión, Baja presión, entre otros.

Generalmente para establecer los modos y sus efectos de fallas, el RCM utiliza dos metodologías muy acertadas: El Análisis de los Modos y Efectos

³⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II, Edición en español. Gran Bretaña: Aladon LLC., 2004. p.56, 57.

³⁶ PEREZ, Beatriz. PLATA, Fabio. Modelo Del Plan De Mantenimiento Centrado En Confiabilidad Rcm II De Los Equipos De La División De Hidrocarburos Y Exploración De Minerales "H&Em" De La Empresa Drummond Ltd. Colombia. 2010. Monografía. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. P.54.

de Fallas (AMEFF) o FMEA por sus siglas en inglés, y el árbol lógico de decisión ALD.

- **Análisis De Modos Y Efectos De Fallas (Ameff):** Su propósito ayudar al usuario a determinar los efectos y las consecuencias de los modos de falla del componente del sistema o activo.
- **El Árbol Lógico de Decisión (ALD):** Ayuda a seleccionar las actividades de mantenimiento.

5.3.7. Efectos de falla: El siguiente paso en el proceso de elaboración de un RCM, es analizar los efectos de falla. Es sencillamente realizar una lista de lo que sucede al producirse cada modo de falla. “Los efectos de falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla”: Moubray³⁷.

Los efectos de falla permiten analizar la importancia de las fallas, que ocurre si se da el modo de falla, ayuda a encontrar los modos de falla críticos y ayuda a evaluar las consecuencias.

En los efectos de falla se debe registrar la manera en que el modo de falla supone una amenaza para la seguridad y para el medio ambiente, la producción y/o la operación, daños físicos causados por los modos de falla y finalmente que debe hacerse para corregir el fallo³⁸.

5.3.8. Consecuencias de falla: Se pueden enmarcar en las siguientes categorías:

- Visibilidad de la Falla: Fallas con consecuencias ocultas o visibles por el operador.
- Consecuencias en las Personas: Fallas que afectan la seguridad.
- Consecuencias en el Medio Ambiente: Fallas que afectan el medio ambiente.

³⁷ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II, Edición en español. Gran Bretaña: Aladon LLC., 2004. p.76.

³⁸ Ortiz Plata, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Bogotá, 2017. Memorias de clase. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. p. 2-3.

- **Consecuencias Operacionales:** Fallas operacionales que pueden ser económicas asociadas al lucro cesante y a la reparación, y de afectación a clientes.
- **Consecuencias en la Imagen Corporativa:** Fallas con consecuencias no operacionales, pero que afectan la imagen de la empresa.

5.3.9. Tareas de mantenimiento: El análisis RCM arroja una serie de tareas o actividades de mantenimiento a ejecutar en los activos, equipos o sistemas que ayuden a manejar, disminuir o eliminar las posibles fallas que se puedan presentar. Estas tareas se dividen en 5 categorías:

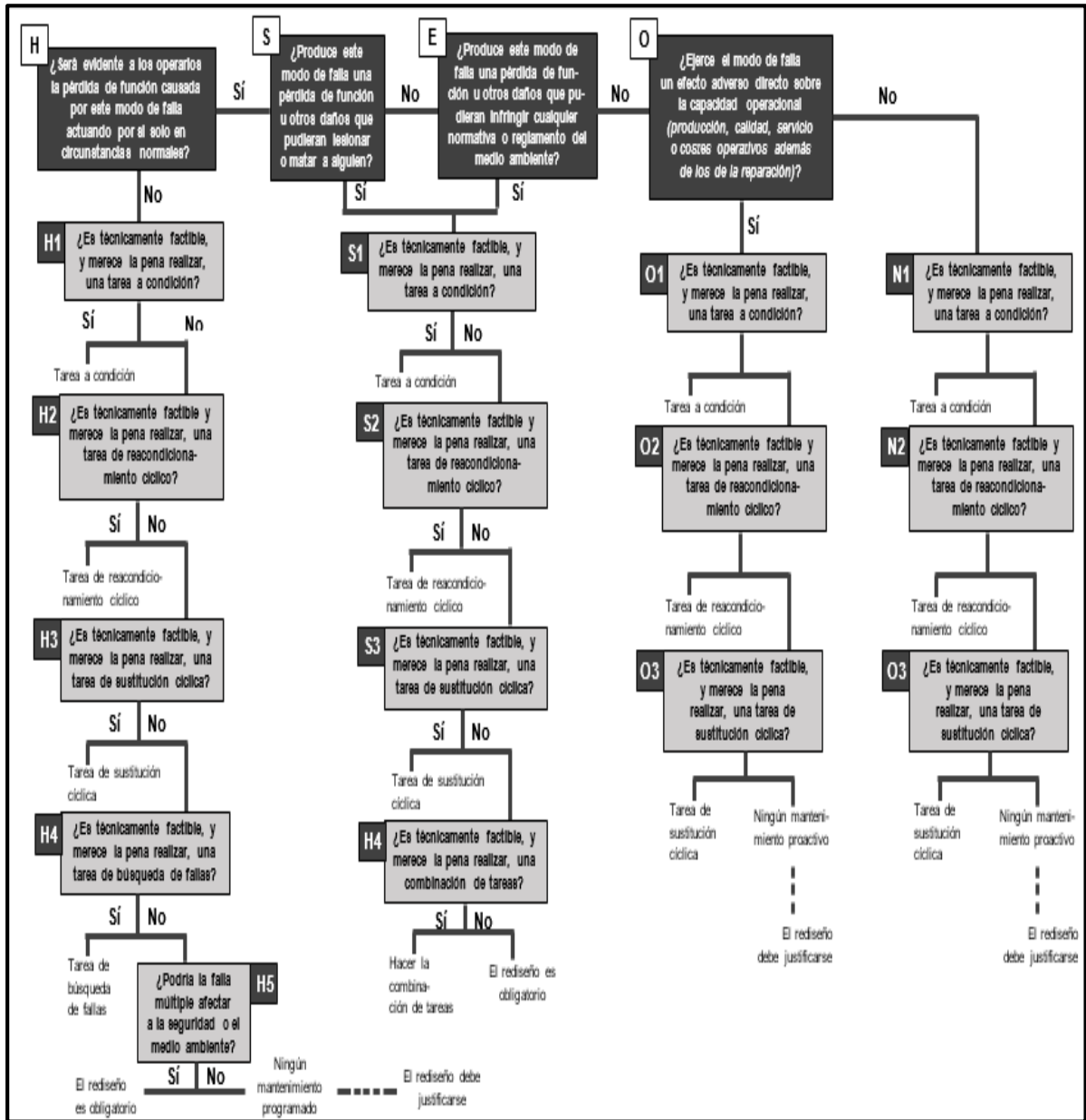
- **Tareas de predictivas:** Son aquellas tareas de monitoreo en línea y análisis de condición de los equipos o sistemas.
- **Tareas preventivas:** Son aquellas tareas que buscan recuperar condición de los equipos, ya sea a través del cambio de partes o repuestos.
- **Tareas para búsquedas de fallos:** Son aquellas tareas que van dirigidas directamente a la búsqueda de fallos.
- **Tareas de rediseño:** Como su nombre lo indica, tareas que conllevan a realizar un cambio de diseño en el equipo.
- **Tareas correctivas:** Son conocidas también como las “Run to Failure”, es decir operar hasta que falle el equipo.

5.3.10. Diagrama de decisión de RCM: Finalmente, el análisis RCM termina con el diligenciamiento de las Hojas de Decisión, las cuales permiten acentuar las respuestas formuladas en el árbol lógico de decisión (Ver figura 3), y en función de dichas respuestas permiten registrar:

- Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quien lo hará.
- Que fallas son lo suficientemente serias como para justificar un rediseño.

- Casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran.

Figura 9 Árbol Lógico de Decisión RCM



Fuente: MOUBRAY, John. *Mantenimiento Centrado en confiabilidad II*, Edición en español. 2004. p.204-205

6. MODELO DE SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA APLICACIÓN DE RCM

Continuando con los argumentos planteados en la justificación de este documento, proseguimos tomando el proceso de generación de vapor como modelo de aplicación del RCM; y así, plantear parámetros y pasos que puedan servir para el mejoramiento de la estrategia de mantenimiento de estos generados, enfocados en las bombas de inyección de agua quintuplex de los Campo Moriche, Abarco, Jazmín, Girasol y Underriver.

6.1. BOMBAS NOV QUINTUPLEX DE AGUA NATIONAL OILWELL VARCO

Esta innovadora bomba constituye el avance más revolucionario en el diseño de bombas de cavidad progresiva, de los últimos años, y es una nueva gama de populares, prácticas y funcionales bombas para inyección de agua.

Figura 10 Especificaciones técnicas Bomba NOV

No.	DESCRIPCIÓN	MARCA	CAPACIDAD
ASPECTOS GENERALES			
1	MÁQUINA, PCKA, PYRAMID	Itaq 21 "Cardenas 812", 2000 hp, 152 ft, 1,500,000 lb, 12 líneas, 1 3/8"	1,000,000 lb, Altura 142 ft
	Corona		Capacidad 500 ton
	Poles viajeros		Capacidad 500 ton
	Ganchos	Hydra Tool	Capacidad 500 ton
	Unión granelera (winch)	Gardner Denver	Capacidad 500 ton
	Cable de perforación		Carrete (cable) 1 3/8"
	Manguera de flecha de perforación		Opera a 5000 psi
	Múltiple de tubo vertical (Stand Pipe)	Aquila	
	Flecha de perforación (Kelly)		Estructura metálica y placa antiderrapante
	Changueros		
2 SUBESTRUCTURA			
	Estructura de levante para preventores	Lee C. Moore	
	Polizas de carga		
	Áncora	Hercules	capacidad 100,000 a 225,000 lb
3 PISO DE PERFORACIÓN			
	Mesa volante	Idroca	Capacidad 500 ton, 27.5'
	Malaquite	American Bock	Capacidad 2,000 hp, con reductor de marca AB, modelo DGB-PL1-2-2-1468, w
	Motor 1	Amerimex	Capacidad 1250 hp, CD, incluye soplador con me 7.5 hp
	Motor 2	Amerimex	Capacidad 1250 hp, CD, incluye soplador con me 7.5 hp
	Arma auxiliar / Electromagnético	Shingco	Capacidad 1250 hp
	Malaquite de Sondas		
4 EQUIPO DE CONTROL DEL POZO			
	Conjunto de preventores		
	Línea de motor		
	Unidad de control de preventores (boom)	Koomey	bomba centrífuga tan. 37x2", 19 tanques de 80", tanque rectangular de 1.0 m
	Control Remoto de unidad de Control de		Tablero de control y casset para manejo electrónico (tagetas y break)
	Separador Gas - Líquido		cilindro vertical, diametro 48" y longitud 26"
	Múltiple de estrangulación		
	Consola de estrangulación hidráulica		
	Línea Superflocos de Control (CSC)		
	Equipo de control sidos		
	Temblores (shake shakers)		
	Desarmador		
	Desarrollador		
5 SISTEMA DE TANQUES			
	Presas de succión		Capacidad 80 m ³ , tanque rectangular en acero al carbón.
	Presas de molido		Capacidad 90, 85 y (2) 63 m ³ , tanque rectangular en acero al carbón, incluye
	Presas de asentamiento	Hilton Rig	Capacidad 80 m ³ , tanque rectangular en acero al carbón, incluye 2 bombas de
	Tanque de lodos		Capacidad 26 m ³ , tanque rectangular en acero al carbón, incluye agitador en
	Tanque de combustible (diesel)		Capacidad 80 m ³ , tanque cilíndrico horizontal en acero al carbón.
	Tanque de lodos livianos		Capacidad 20 m ³ , tanque cilíndrico horizontal en acero al carbón.
	Tanque de agua		Capacidad 80 m ³ , tanque cilíndrico horizontal en acero al carbón.
	Agitadores presas de succión	Max 2000	En acero al carbón, flecha de 3' con paletas, motorreductor de 15 h
	Tanque de agua	Max 2000	En acero al carbón, flecha de 3' con paletas, motorreductor de 15 h
	Agitadores presas de succión	Max 2000	En acero al carbón, flecha de 3' con paletas, motorreductor de 15 h
6 GENERADORES			
	Generador CA No. 1	Marathon	Capacidad 1250 KVA, 1000 kw, 1800 rpm, 480 V
	Generador CA No. 2	Marathon	Capacidad 1250 KVA, 1000 kw, 1800 rpm, 480 V
	Generador CA No. 3	Marathon	Capacidad 1250 KVA, 1000 kw, 1800 rpm, 480 V
	Generador CA No. 4	Marathon	Capacidad 1250 KVA, 1000 kw, 1800 rpm, 480 V
	Motor de generador No. 1	Detroit Diesel	26 pistones, 1495 hp, (4+5,000 hrs), incluye radiador y sistema de escape
	Motor de generador No. 2	Detroit Diesel	12 pistones, 1495 hp, (4+5,000 hrs), incluye radiador y sistema de escape
	Motor de generador No. 3	Detroit Diesel	12 pistones, 1495 hp, (4+5,000 hrs), incluye radiador y sistema de escape
	Motor de generador No. 4	Caterpillar	12 pistones, 1495 hp, (4+5,000 hrs), incluye radiador y sistema de escape
7 CUARTO DE CONTROL Y POTENCIA (SCR-PKR)			
	Temblores (shake shakers)		
	Desarmador		
	Desarrollador	Koomey	
	Desagotador		
8 BOMBA DE Lodos			
	Bomba de lodo No. 1	Siko	Tipo triplex, tamaño 12"
	Bomba de lodo No. 2	Siko	Tipo triplex, tamaño 12"
	Bomba de lodo No. 3	Siko	Tipo triplex, tamaño 12"
	Motor de bombas de lodos No. 1	Amerimex	De CD capacidad 1500 hp, incluye soplador con me 15 hp
	Motor de bombas de lodos No. 2	Amerimex	De CD capacidad 1500 hp
	Motor de bombas de lodos No. 3	Amerimex	De CD capacidad 1500 hp
	Bombas centrífugas	NOV OIL TOOLS	tamaño 615X14, me 75 hp a 1775 rpm
	Mangueras de Alta presión de 4"		
9 MISCELÁNEOS			
	Top drive	National Oilwell Varco	Capacidad 500 ton
	Isadora	Carc Industries	Capacidad 67,000 lb, dimensiones 60" x 6" x 4"
	Sistema anticorrosión	National Oilwell Varco	Tablero de control con sistema de sensores en Top Drive
	Llave hidráulica para tubo (Artruto)	Maring	Capacidad de torque 80,000 lb, incluye unidad hidráulica de 60 hp
	Llave de empuje para embudo	Varco	Capacidad 4" a 8 1/2", Torque 65,000 ft/lb
	Herramientas		
	Tubulares		
	Compresor de aire	Ingersoll Rand	me 7.5 hp, 175 psi, incluye 1 tanques pulmón en acero al carbón de 50 gal
	Compresor de aire	Sullivan Paletel	me 30 hp, 125 psi, incluye 1 tanques pulmón en acero al carbón de 500 lb
	Gafas (pernas)		
	Cargador frontal	John Deere	Capacidad 5 ton, sobre neumáticos
	Kelly Spinner	DWG	
	Pizarra		
10 EQUIPO AUXILIAR			
	Charola ecológica		
	Caseta del perforador		metálica
	Caseta de Química		
	Contenedores para herramienta y refaccionamiento		de acero al carbon
	Sistemas de taje auxiliar y malaquite para manobras (troncos)		capacidad 7,500 lb, accionamiento neumático
	Rampa para tubería y muelle		
	Casetas Habitaciónales (Personal)		
	Quemador ecológico		Fabricación hecha, material acero colado
	Sistema de alumbrado para el Equipo de perforación A		Torre de iluminación
	Sistema de puesta a tierra y sus componentes		
11 EQUIPO DE CCT Y VOCEO			
	Equipo de seguridad		
	Sistema de comunicación y voces	Rason	
	Sistema de iluminación		
	Bridas, Carretes, U/O TR		
	Compresor de aire	Ingersoll Rand	me 5 hp, 175 psi, incluye 1 tanques pulmón en acero al carbón de 50 gal

Fuente: Catalogo Bombas NOV.

6.2. PROCESO DE RECUPERACIÓN POR INYECCIÓN ALTERNA DE VAPOR (I.A.V.)

El método consiste en generar vapor a alta presión, distribuirlo a través de una red de tuberías e inyectarlo dentro de una formación de crudo viscoso por dos o tres semanas, después del cual el pozo es cerrado por varios días. Posterior a este periodo de cierre el pozo será producido por unos cuantos meses, hasta que su producción decline y sea necesario un nuevo ciclo de inyección.

Una vez efectuado el proceso de inyección, y el pozo puesto en producción, este producirá a una tasa aumentada durante un cierto periodo de tiempo, que en general, puede ser de 4 a 5 meses y luego declinará a su producción original. Un

segundo ciclo de inyección puede emplearse, y de nuevo la tasa de producción aumentará, para luego declinar.

6.3. EQUIPO DE GENERACIÓN DE VAPOR PARA CRUDO PESADO.

Los Generadores de vapor son de circulación forzada de un solo paso “once trough”. Las unidades se pueden diseñar para producir vapor, húmedo, saturado o sobrecalentado a la descarga. Sus rangos de presión de están dados en rangos de acuerdo a la producción.³⁹ Lo más usados en Mansarovar tienen una generación aproximada de 50 MMBTU/HR.

Figura 11 Generador de vapor



³⁹ http://www.en-fabinc.com/es/steam_generator.shtml

Figura 12 Frontera de análisis Bomba quintuplex



Figura 13 Bomba Quintuplex y motor eléctrico.



7. PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN

7.1. ANÁLISIS DE COSTOS DE MANTENIMIENTO EN LOS CAMPOS JAZMIN, GIRASOL Y MORICHE

Inicialmente se realizó un análisis de la información que se encuentra en el sistema de gestión de mantenimiento de Mansarovar: SAP, de donde se tomó un listado de todas las actividades de mantenimiento realizada a los generadores de vapor y enfocados en las Bombas de inyección de agua de los campos Moriche, Jazmín y Girasol.

El análisis preliminar tiene como objetivo identificar los modos de falla más frecuentes en estas bombas y que representan mayores costos de Mantenimiento para la Organización, información en la cual se tomó los costos totales calculados por el sistema SAP, en el cual se tiene contemplados los costos de mano de obra, costos de materiales, entre otros. No se tuvieron en cuenta los costos de las reparaciones realizadas por MECL, ya que estas reparaciones son manejadas por medio de orden de servicios, y no se tiene acceso a esta información.

En este barrido del sistema de información se analizan los costos y las Horas Hombre (HH) enfocados en: Tipo de Mantenimiento, Especialidades, Subespecialidades, Tipo de Prioridad y Fechas de Mantenimiento; posteriormente se procede a determinar por medio de un árbol lógico los equipos con mayor costo de mantenimiento.

Mansarovar cuenta con 5 especialidades o áreas de trabajo, las cuales se enlistan a continuación:

- CBM: Corresponde al área de Confiabilidad
- CUA: Especialidad de Cuadrilla, desarrollan actividades de apoyo a la producción.
- INS: Especialidad de Instrumentación.

- ELE: Especialidad de Electricidad.
- MEC: Especialidad de Mecánica.

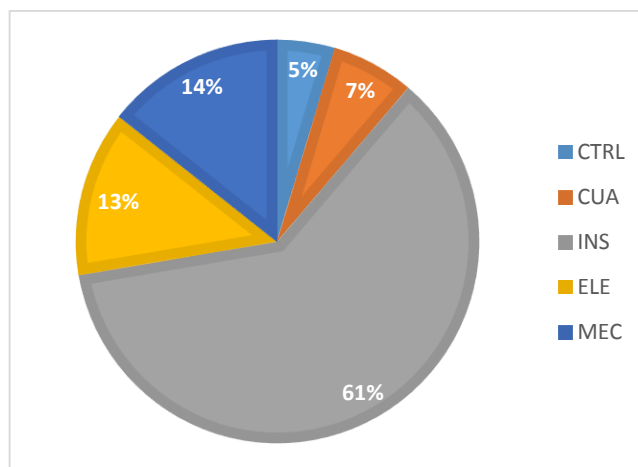
Se analizaron los costos causados por actividades de mantenimientos correctivos realizados a todos los generadores de vapor de los campos Moriche, Jazmín y Girasol; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3 Costos Causados por Mtto Cto Gen Vapor MECL 2016

ESPECIALIDAD	JAZMIN	GIRASOL	MORICHE	TOTAL
CTRL	\$ 6.330.507	\$ 11.682.660	\$ 13.281.223	\$ 31.294.390
CUA	\$ 9.067.542	\$ 18.269.299	\$ 19.158.483	\$ 46.495.324
INS	\$ 83.784.570	\$ 74.060.559	\$ 364.225.505	\$ 522.070.634
ELE	\$ 18.252.581	\$ 36.325.045	\$ 111.503.101	\$ 166.080.727
MEC	\$ 19.693.084	\$ 22.176.873	\$ 213.744.024	\$ 255.613.981
TOTAL	\$ 137.128.284	\$ 162.514.436	\$ 721.912.336	\$ 1.021.555.056

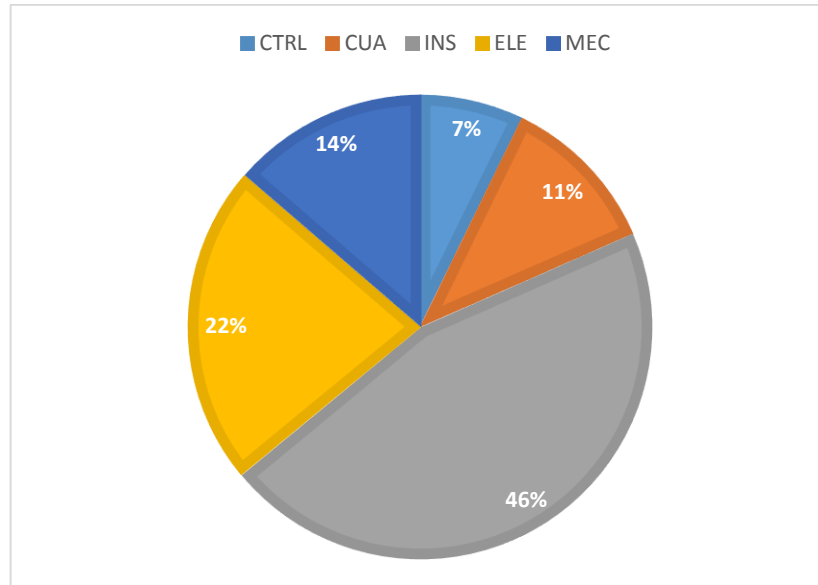
Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 14 Porcentaje de Costos Causados Mttos Cto Gen Vapor Campo Jazmin Año 2016



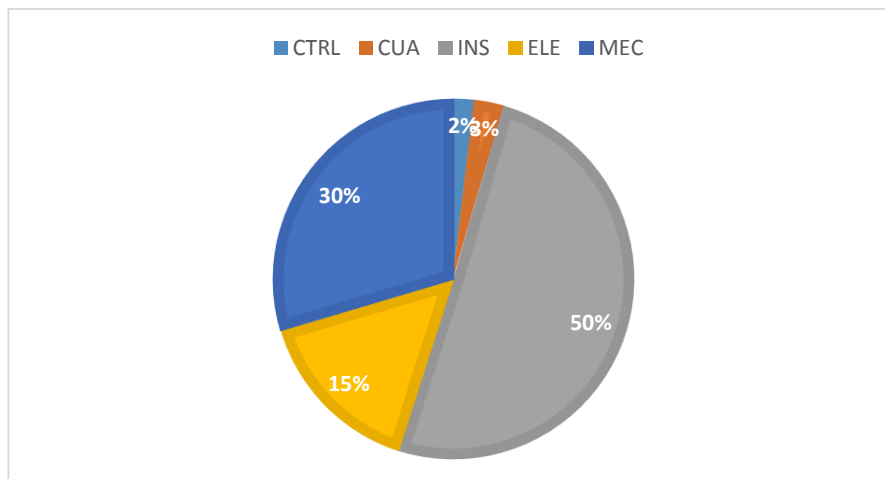
Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 15 Porcentaje de Costos Causados Mttos Cto Gen Vapor Campo Girasol Año 2016



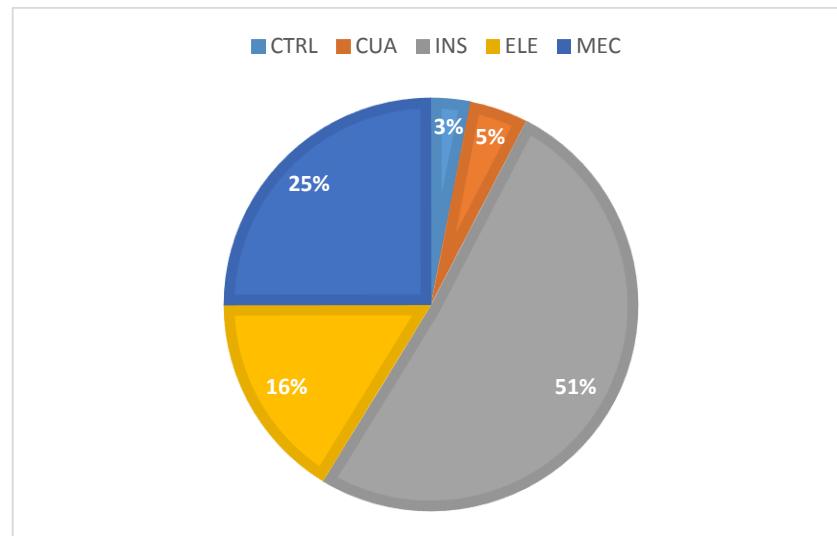
Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 16 Porcentaje de Costos Causados Mttos Cto Gen Vapor Campo Moriche Año 2016



Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 17 Porcentaje de Costos Causados Mttos Cto Gen Vapor Todos los Campos Año 2016

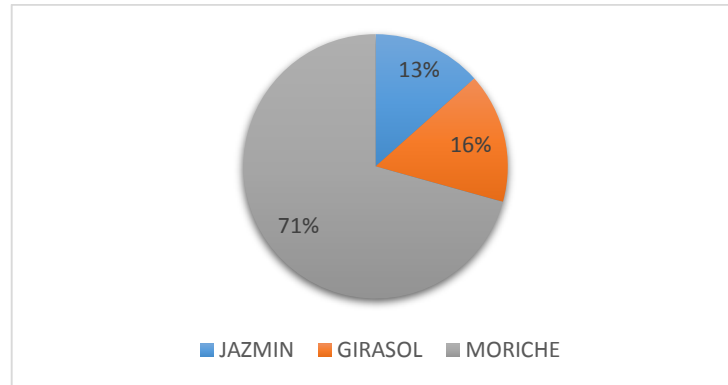


Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Analizando la información presentada, se observa como la especialidad de mecánica, a pesar que solamente en los generadores de vapor atiende 2 equipos (Bomba de Inyección de Agua y Compresor de Aire), en promedio siempre ocupa el segundo lugar en porcentaje de gastos causados por mantenimiento correctivos efectuados, en promedio un 25%, \$ 255.613.981 de los costos totales causados, como se ve en la figura 15 y tabla 3; lo que hace notar la importancia de atender las necesidades del área de mecánica.

Igualmente se pudo notar que la el mayor porcentaje de actividades correctivas realizadas ocurrió en campo Moriche, con un 71% de los costos totales causados, pero esto se debe, por una parte a que el volumen de producción es más alto en este campo, por consiguiente se tiene más generadores de vapor operando allí. Ver figura 18.

Figura 18 Costos Causados por Mtto Cto Campo Jazmín, Moriche y Girasol año 2016



Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Ahora bien, analizando cuales fueron los factores que mayor impacto causaron en el área de mecánica se observó, como era de esperar, que el equipo que mayor atenciones tubo fue la bomba de inyección de agua. Por consiguiente se desglosó esta información a detalle, para saber cuáles fueron los modos de falla más frecuentes, así como sus causas.

Para determinar los modos de falla, se tomó como base la norma ISO 14224, la cual nos sugiere algunos modos y causas de falla para las bombas.

Tabla 4 Modos de Falla Asociados a Bombas - Norma ISO 14224

ID	Código	Modo de Falla (Español)	Familia (Español)	Modo de Falla (Inglés)
78	BRD	Daño severo (fractura, explosión, etc.)	Bombas	Serious damage (seizure, breakage, explosion, etc.)
79	STD	Deficiencia estructural (p.e., grietas, fisuras, etc.)	Bombas	Structural deficiency (due to impact, corrosion, cracks, etc.)

493	UNK	Desconocida (Muy Poca Información Para Definir el Modo de Falla)	Bombas	Unknown (Too Little Information To Define A Failure Mode)
80	ELP	Fuga externa de fluido de proceso (gas, aire, crudo, agua, etc.)	Bombas	External leakage process medium (gas, air, petroleum, water)
81	ELU	Fuga externa de fluido utilitario (aceite hidráulico, lubricante, etc.)	Bombas	External leakage utility medium (lube/seal/hydraulic oil, coolant, etc.)
82	INL	Fuga interna	Bombas	Internal leakage (e.g. process medium in lube oil)
83	AIR	Lectura anormal de instrumentos (p.e., falsa alarma, lectura errónea)	Bombas	Abnormal instrument reading (false alarm, faulty reading, etc.)
84	FTS	No arranca	Bombas	Fail to start on demand
85	STP	No se detiene o lo hace de forma incorrecta	Bombas	Fail to stop on demand
86	ERO	Operación inestable	Bombas	Erratic output (oscillating or unstable operation)
492	OTH	Otro (El Modo De Falla No Se Encuentra En El Listado Anterior)	Bombas	Other (Failure Modes Not Covered Above)
87	UST	Parada inesperada	Bombas	Spurious stop
88	PDE	Parámetros por fuera de límites operacionales	Bombas	Parameter deviation
89	SER	Problemas menores (piezas flojas, decoloración, contaminación, etc.)	Bombas	Minor in-service problems (loose items, discoloration, dirt, etc.)
90	NOI	Ruido excesivo	Bombas	Excessive noise
91	LOO	Salida por debajo de la especificación deseada	Bombas	Low output (output below desired specification)
92	HIO	Salida por encima de la especificación deseada	Bombas	High output (output above desired specification)
427	PLU	Taponamiento / Estrangulamiento	Bombas	Plugged/Choked
93	OHE	Temperatura excesiva	Bombas	Overheating
94	VIB	Vibración excesiva	Bombas	Excessive vibration

Fuente: Norma ISO 14224.

Tabla 5 Causas de Falla Asociados a Bombas - Norma ISO 14224

ID	Código	Causa de Falla (Español)	Familia (Español)
125	STI	Atascamiento	Bombas
141	EAR	Aterrizamiento	Bombas
126	CAV	Cavitación	Bombas
138	OPE	Circuito abierto	Bombas
143	CON	Contaminación	Bombas
127	COR	Corrosión	Bombas
137	SHO	Corto circuito	Bombas
123	DEF	Deformación	Bombas
122	CLE	Desalineación	Bombas
144	UNK	Desconocida	Bombas
129	WEA	Desgaste	Bombas
140	FAP	Energía/voltaje erróneo	Bombas
128	ERO	Erosión	Bombas
136	SOF	Falla de software	Bombas
135	OUT	Falta de calibración	Bombas
131	FAT	Fatiga	Bombas
438	LEA	Fuga	Bombas
139	NOP	No hay energía/voltaje	Bombas
133	NOS	No hay señal/indicación/alarma	Bombas
142	BLO	Obstrucción/Taponamiento	Bombas
456	OTR	Otra	Bombas
130	BRE	Ruptura	Bombas
134	FAU	Señal/indicación/alarma errónea	Bombas
132	OVE	Sobrecalentamiento	Bombas
124	LOO	Soltura	Bombas
121	VIB	Vibración	Bombas

Fuente: Norma ISO 14224.

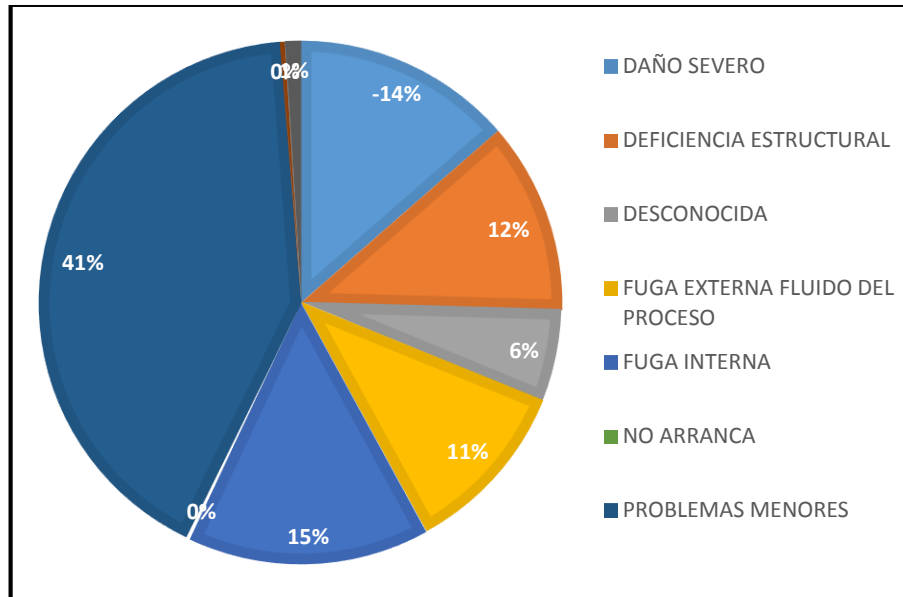
Se analizó la información referente a las actividades correctivas realizadas a las bombas, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 6 Modos de Falla Bombas Gen Vapor Jazmín 2016

Modo de Falla	Aviso	Costos Asociados Real
DAÑO SEVERO	2	\$ 3.024.902,00
DEFICIENCIA ESTRUCTURAL	3	\$ 2.626.367,00
DESCONOCIDA	5	\$ 1.266.359,00
FUGA EXTERNA FLUIDO DEL PROCESO	8	\$ 2.416.962,00
FUGA INTERNA	17	\$ 3.328.380,00
NO ARRANCA	1	\$ 47.148,00
PROBLEMAS MENORES	20	\$ 9.234.141,00
RUIDO EXCESIVO	1	\$ 67.926,00
VIBRACION EXCESIVA	1	\$ 207.228,00
Total general	58	\$ 16.169.609,00

Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 19 Modos de Falla Bombas de Inyección de Agua Jazmín 2016



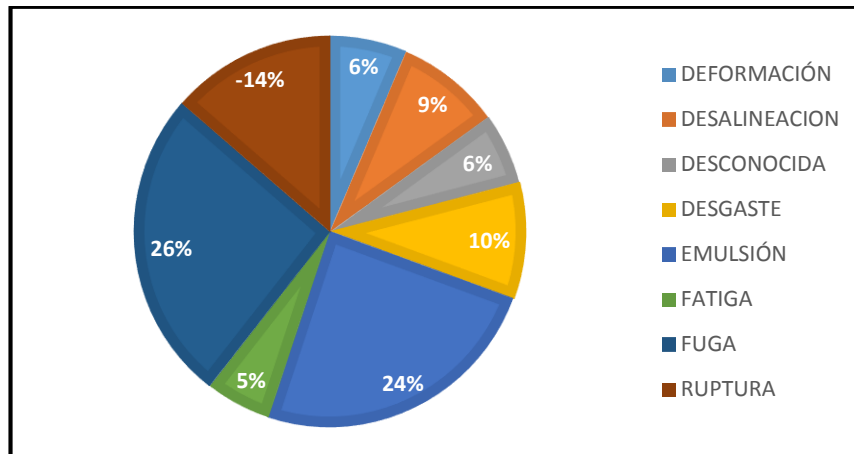
Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Tabla 7 Causas de Falla Bombas Gen Vapor Jazmín 2016

Causa De Falla	Aviso	Costos Asociados Real
DEFORMACIÓN	2	\$ 1.418.815,00
DESALINEACION	11	\$ 1.926.929,00
DESCONOCIDA	6	\$ 1.313.507,00
DESGASTE	3	\$ 2.137.460,00
EMULSIÓN	8	\$ 5.444.906,00
FATIGA	1	\$ 1.207.552,00
FUGA	25	\$ 5.745.342,00
RUPTURA	2	\$ 3.024.902,00
Total general	58	\$ 16.169.609,00

Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 20 Causas de Falla Bombas de Inyección de Agua Jazmín 2016



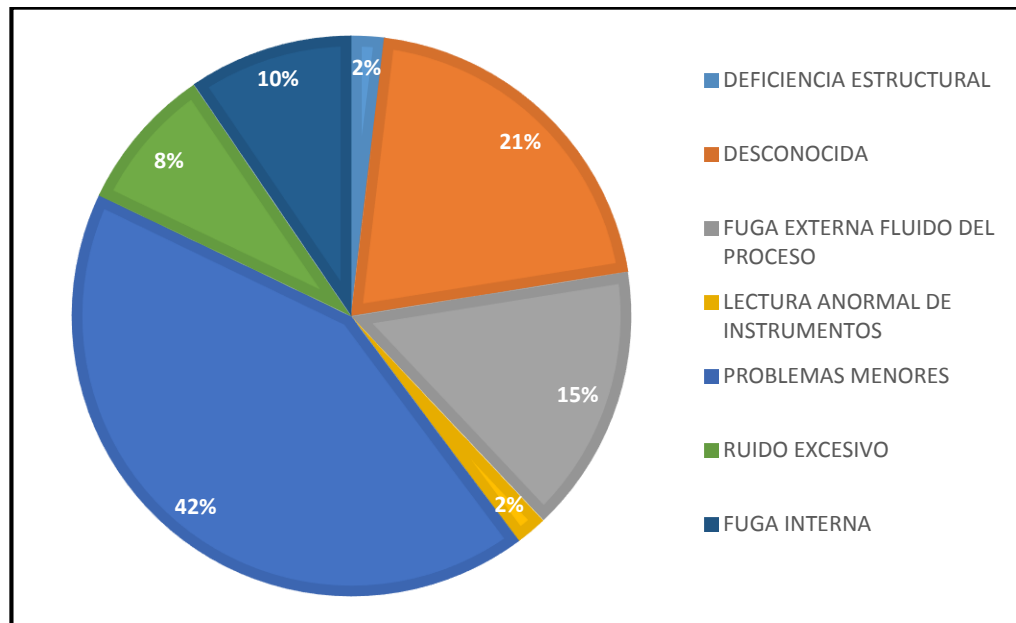
Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Tabla 8 Modos de Falla Bombas Gen Vapor Girasol 2016

Modo de Falla	Costos Asociados Real	Aviso
DEFICIENCIA ESTRUCTURAL	\$ 327.442,00	1
DESCONOCIDA	\$ 3.562.116,00	5
FUGA EXTERNA FLUIDO DEL PROCESO	\$ 2.681.346,00	6
LECTURA ANORMAL DE INSTRUMENTOS	\$ 316.028,00	2
PROBLEMAS MENORES	\$ 7.324.757,00	14
RUIDO EXCESIVO	\$ 1.446.711,00	3
FUGA INTERNA	\$ 1.648.082,00	6
Total general	\$ 17.306.482,00	37

Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 21 Modos de Falla Bombas de Inyección de Agua Girasol 2016



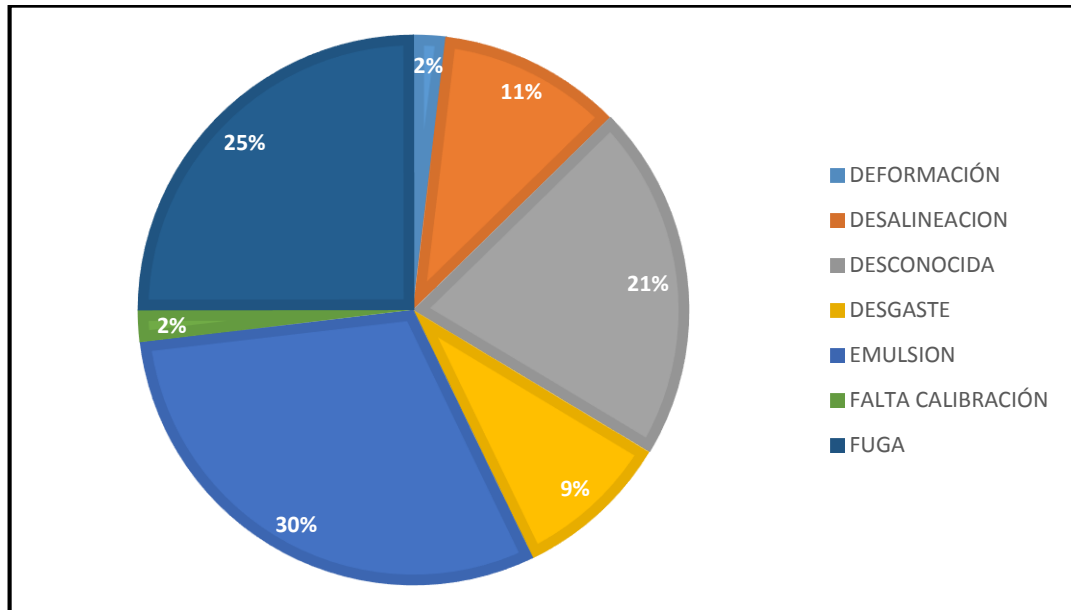
Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Tabla 9 Causas de Falla Bombas Gen Vapor Girasol 2016

Causa de Falla	Costos Asociados Real	Aviso
DEFORMACIÓN	\$ 327.442,00	1
DESALINEACION	\$ 1.864.384,00	6
DESCONOCIDA	\$ 3.627.912,00	6
DESGASTE	\$ 1.594.751,00	4
EMULSION	\$ 5.246.537,00	6
FALTA CALIBRACIÓN	\$ 316.028,00	2
FUGA	\$ 4.329.428,00	12
Total general	\$ 17.306.482,00	37

Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 22 Causas de Falla Bombas de Inyección de Agua Girasol 2016



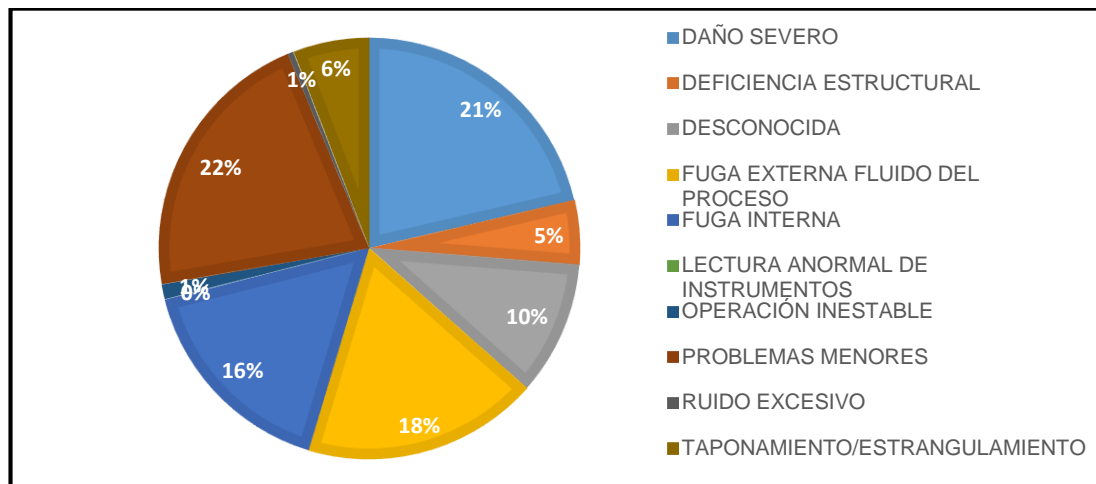
Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Tabla 10 Modos de Falla Bombas Gen Vapor Moriche 2016

Modo de Falla	Costos Asociados Real	Aviso
DAÑO SEVERO	\$ 33.718.216,00	6
DEFICIENCIA ESTRUCTURAL	\$ 7.762.743,00	6
DESCONOCIDA	\$ 16.235.521,00	10
FUGA EXTERNA FLUIDO DEL PROCESO	\$ 28.570.415,00	66
FUGA INTERNA	\$ 25.872.758,00	117
LECTURA ANORMAL DE INSTRUMENTOS	\$ 149.901,00	3
OPERACIÓN INESTABLE	\$ 1.781.218,00	1
PROBLEMAS MENORES	\$ 33.836.371,00	54
RUIDO EXCESIVO	\$ 722.968,00	3
TAPONAMIENTO/ESTRANGULAMIENTO	\$ 9.222.461,00	2
Total general	\$ 157.872.572,00	268

Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 23 Modos de Falla Bombas de Inyección de Agua Moriche 2016



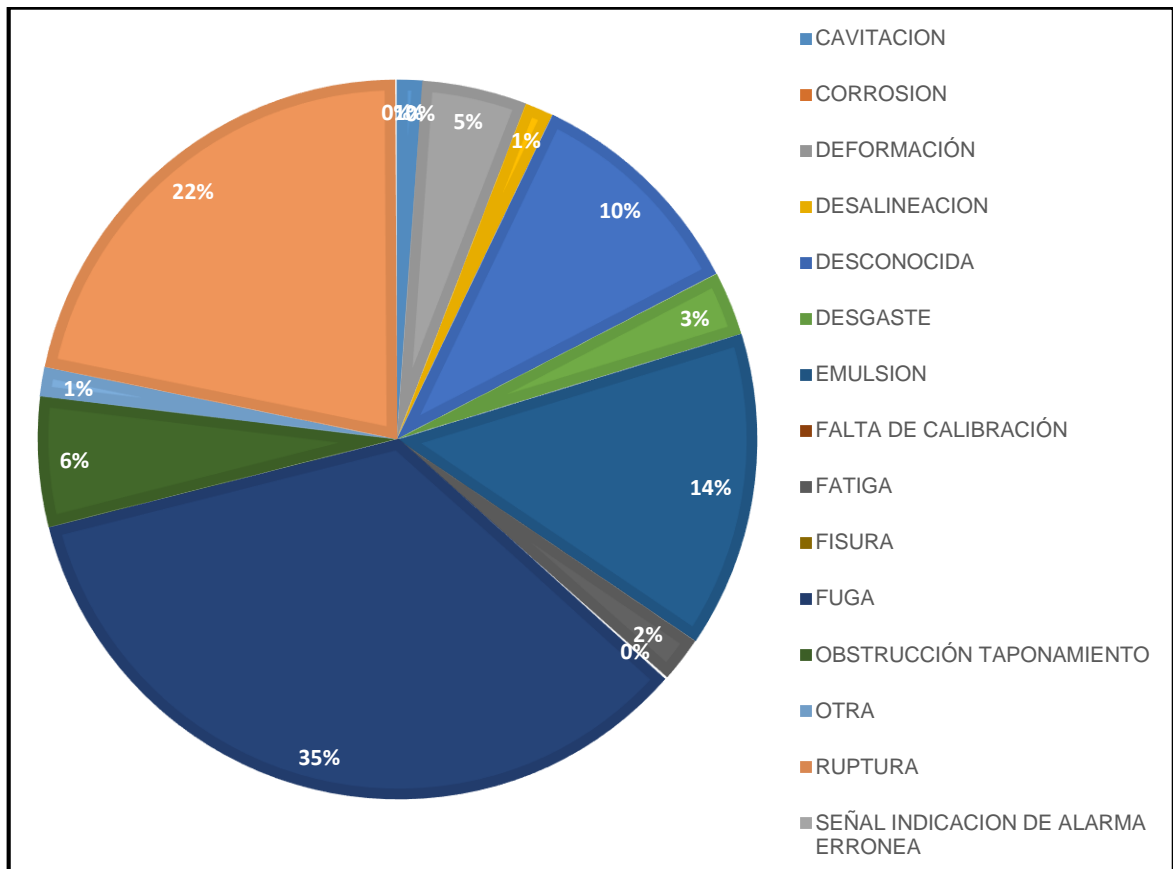
Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Tabla 11 Causas de Falla Bombas Gen Vapor Moriche 2016

Etiquetas de fila	Suma de Costos Reales	Count of Aviso
CAVITACION	\$ 1.781.218,00	1
CORROSION	-\$ 2.216,00	1
DEFORMACIÓN	\$ 7.420.800,00	2
DESALINEACION	\$ 2.008.918,00	8
DESCONOCIDA	\$ 16.235.521,00	10
DESGASTE	\$ 4.533.146,00	10
EMULSION	\$ 22.441.913,00	37
FALTA DE CALIBRACIÓN		2
FATIGA	\$ 3.209.154,00	2
FISURA	\$ 125.616,00	1
FUGA	\$ 54.443.173,00	183
OBSTRUCCIÓN TAPONAMIENTO	\$ 9.222.461,00	2
OTRA	\$ 2.092.010,00	1
RUPTURA	\$ 34.210.957,00	7
SEÑAL INDICACION DE ALARMA ERRONEA	\$ 149.901,00	1
Total general	\$ 157.872.572,00	268

Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 24 Causas de Falla Bombas de Inyección de Agua Moriche 2016



Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Analizando esta información se puede observar que los modos de falla más frecuentes y que mayor impacto económico causaron, generando pérdidas a la empresa por: \$112.496.250 pesos. Y de los cuales se atendieron 140 avisos para tratar fugas internas. Ver Tabla 12.

Tabla 12 Modos de Falla con Mayor Impacto en los Gen Vapor Mor, Jaz y Gir MECL año 2016.

CAMPO	FUGA INTERNA	AVISOS	PROBLEMAS MENORES	AVISOS	FUGA EXTERNA FLUIDO DEL PROCESO	AVISOS
JAZMIN	\$ 3.328.380,00	17	\$ 9.234.141,00	20		0
GIRASOL	\$ 1.648.082,00	6	\$ 7.324.757,00	14	\$ 2.681.346,00	6
MORICHE	\$ 25.872.758,00	117	\$ 33.836.371,00	54	\$ 28.570.415,00	66
TOTAL	\$ 30.849.220,00	140	\$ 50.395.269,00	88	\$ 31.251.761,00	72

Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

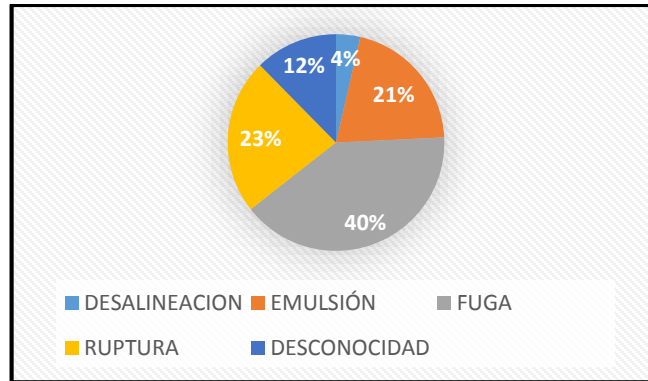
De igual manera se analizaron, las causas de falla de los modos de falla encontrados.

Tabla 13 Causas de Falla de Mayor Impacto en las Bombas De los Gen Vapor Mor, Jaz y Gir MECL año 2016.

CAMPO	JAZMIN	AVISO	GIRASOL	AVISO	MORICHE	AVISO	TOTAL	
DESALINEACION	\$ 1.926.929	11	\$ 1.864.384	6	\$ 2.008.918	8	\$ 5.800.256	25
EMULSIÓN	\$ 5.444.906	8	\$ 5.246.537	6	\$ 22.441.913	37	\$ 33.133.407	51
FUGA	\$ 5.745.342	25	\$ 4.329.428	12	\$ 54.443.173	183	\$ 64.518.163	220
RUPTURA	\$ 3.024.902	2	\$ -	0	\$ 34.210.957	7	\$ 37.235.868	9
DESCONOCIDAD	\$ -	0	\$ 3.627.912	6	\$ 16.235.521	10	\$ 19.863.449	16

Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Figura 25 Causas de Falla de Mayor Impacto en las Bombas De los Gen Vapor Mor, Jaz y Gir MECL año 2016.



Fuente: Planeación y Programación Massy Energy – Mansarovar Energy Colombia Ltd– Software SAP PM

Se encontró que las causas de falla más frecuentes fueron Desalineación, Emulsión, Fuga, Ruptura y Desconocidas. De estas las que mayor impacto económico causaron fueron: Fuga, Ruptura y Emulsión, las cuales representaron pérdidas por aproximadamente \$ 134.887.158 pesos.

7.2. ANÁLISIS DE LAS RUTINAS PREVENTIVAS PARA LAS BOMBAS NOV QUINTUPLEX

A continuación se mostrarán las rutinas de mantenimiento que actualmente se implementan en los campos Jazmín, Moriche y Girasol para el mantenimiento de las bombas de inyección las cuales se programan en el sistema de información SAP, cabe resaltar que las rutinas son las mismas para todos los campos.

7.2.1. Rutina de mantenimiento de 13 semanas (trimestral): Las principales actividades a realizar en esta rutina son:

- Cambiar retenedores de aceite
- cambiar empaquetadura

- Revisar estado de tuercas del stuffing box
- Cambiar aceite de la bomba
- Revisar polea del motor
- Revisar polea del cigüeñal
- Revisar estado de correas
- Tensionar correas
- Revisar válvulas de succión
- Revisar válvulas de descarga
- Revisar y limpiar filtro de succión
- Limpiar filtro respiradero
- Limpiar filtro de succión agua
- Limpieza general del equipo

Las principales actividades a realizar en esta rutina son: cambio de filtros, empaquetadura y retenedores.

7.2.2. Rutina de mantenimiento de 52 semanas (anual): Las principales actividades a realizar en esta rutina son:

- Desmontar tapas de bielas
- Revisar casquetería y cambiar de ser necesario
- Tomar metrología a cigüeñal
- Tomar metrología a plungers
- Tomar metrología a crucetas
- Revisar válvulas de succión y cambiar de ser necesario
- Revisar válvulas de descarga y cambiar de ser necesario
- Revisar rodamientos
- Cambiar oring de tapas de wiper
- Cambiar oring de tapas de válvulas
- Retorquear tapas de bielas

- Retorquear anclajes de la bomba

Las principales actividades a realizar en esta rutina son: cambio de empaquetadura y retenedores y cambio de casquetería.

7.3. ANALISIS DE FALLAS A BOMBAS DE INYECCIÓN DE AGUA.

De igual manera, se revisaron y analizaron los RCA y reportes de falla relevantes, realizados por el grupo de mantenimiento de la empresa, a las bombas de inyección de agua que presentaron falla.

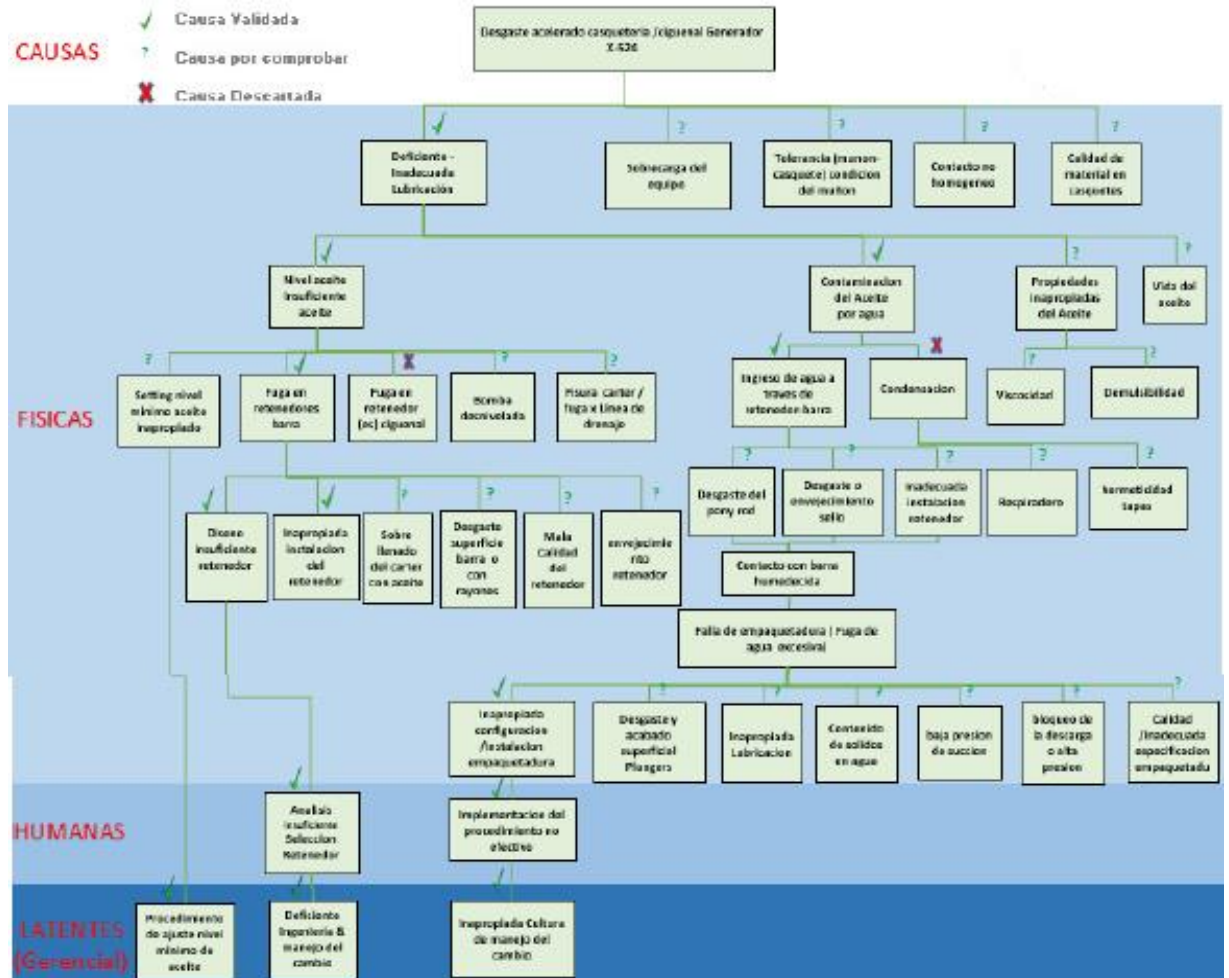
7.3.1. RCA – falla bomba de agua generador de vapor x-524

7.3.1.1. Descripción del Evento

- El día 15 de Mayo de 2015 aprox 2 :30 pm el personal mecánico realiza inspección semanal al generador detectando bajo nivel de aceite en la bomba de agua quintuplex, el aceite visualmente evidencia deterioro (cambio en su color normal del aceite, más oscuro)
- Se drena el aceite, se revisa casquería, los cuales se evidencian con desgaste y rayones y signos de aceite quemado, se presenta fuga por los retenedores de aceite de los pistones, y fugas de agua en el prensaestopas de los pistones 2 y 4.
- Se realiza cambio de casquetes de los pistones, se torquean a 110 lb-pie, se cambia aceite a Meropa 220 adicionando 8 galones. El Sistema de lubricación forzada queda deshabilitado por falta de la correa de transmisión.
- A las 7:30 pm, del mismo día, se entrega a operaciones. (5 horas de parada).

7.3.1.2. Árbol de falla

Figura 26 Árbol de Falla Bomba Gen X-524



Fuente: Mansarovar Energy.

7.3.1.3. Hallazgos

Figura 27 Hallazgos RCA Falla Bomba Gen X-524

No.	HALLAZGO	EVIDENCIA
1	No operativo el sistema de lubricación forzada de empaquetaduras de bomba de agua de generadores. - En X-524 y X-523 (falta de repuestos, correa, mantenimiento bomba lubricación forzada), Bomba X-523 tiene instalada empaquetadura tipo cordón (no requiere lubricación forzada, por confirmar bomba X-524 se tenga set empaques que requieran lubricación forzada o lo contrario. (tipo cordón). En X-546 TFI (217Q-4M Bomba del), la bomba de lubricación forzada operando sin aceite. (10-Jun-2015)	VER FOTOS : HALLAZGO 1. OT. 1012876 02.04.2015 SE REALIZA CAMBIO ACEITE, RETENEDORES Y EMPAQUETADURA DE LOS PISTONES 1 Y 5, RECOMENDACIONES Y PENDIENTES: CAMBIO RETENEDORES DEL CIGÜEÑAL YA QUE TIENEN FUGA Y LA EMPAQUETADURA NOTA: NO SE CAMBIO TODA LA EMPAQUETADURA DE LOS 5 PISTONES YA QUE NO HAY CORDÓN NI DE 7/16 NI DE 1/2 O.T. 1014193 02.05.2015 SE CAMBIAN EMPAQUETADURA DE AGUA DE LOS PISTONES 2,3,4, SE INSTALA CORDÓN TEFLONADO 7 1/16"
2	No se sigue instructivo del manual para instalación arreglo de empaquetaduras tipo cordón (cordones no espaciados, sino seguidos sin espaciador)	HALLAZGO 2 . VER FOTO
3	Evento de no existencia en bodega del aceite lubricante utilizado.	HALLAZGO 3. Reporte de Falla.
4	Atraso en la ejecución de la rutina de mantenimiento (Trimestral).	HALLAZGO 4. SAP
5	En las rutinas de mantenimiento establecidas en SAP, no se registra el alcance de la labor ni los repuestos asociados requeridos, ni el procedimiento de la labor.	HALLAZGO 5. SAP
6	Incipiente documentación en el sistema de administración del mantenimiento " SAP " de los trabajos de mantenimiento ejecutados.	HALLAZGO 6. SAP
7	No se tienen reportes de falla de los eventos de falla anteriores (X-523 - Falla y cambio de cigueñal en Abril 2015).	HALLAZGO 7. Validado primera sesion RCA.
8	En las demás bombas de agua de generadores de vapor (modelos diferentes), se evidencia múltiples eventos de paradas de generadores por mantenimiento a bomba de agua, los cuales requieren analizarse sus modos de falla e identificar acciones de mejora y /o aplicar el plan de acción del x-524.	EVIDENCIA INFORMACION DE PARADAS DE GENERADORES -OPERACIONES.
9	Se identifica mejora de implementar el analisis de aceites con el fin de advertir anticipadamente contaminación del aceite por agua y desgastes progresivos en el equipo.	No se tiene implementado la toma de muestras de aceites
10	Se identifica mejora con el fin de disminuir contaminación de agua por condensación, instalando filtros desecantes para respiraderos del carter	HALLAZGO 8.
11	La línea de drenaje de agua -aceite de la bomba descarga a cuneta cerca al equipo, se identifica mejora al filtrado y vertimiento de esta agua.	HALLAZGO 9.

Fuente: Mansarovar Energy.

7.3.1.4. Recomendaciones Propuestas

Figura 28 Recomendaciones Propuestas RCA Falla Bomba Gnerador X-524

No.	ACCIONES	Responsable	Fecha
1	Asegurar ajuste del setting por mínimo nivel de aceite y por máximo (7 Galones).	Ingeniero de mantenimiento de Instrumentación	
2	Programar Mantenimiento de la Bomba con el fin de realizar reemplazo de nuevos retenedores de aceite .(P/N : 145-158-238-999) recomendados por Fabricante actual (Wheatley a NOV)	Ingeniero Mecánico de Mantenimiento	
3	Elaborar Procedimientos de instalación de retenedores de aceite (barras pistones y cigüeñal) e instalación de Empaquetaduras considerando Metrología y Orientación.	Ingeniero Mecánico de Mantenimiento	
4	Monitorear nivel de Aceite en Carter y Temperaturas en cuerpo de la bomba y cabezal succión/descarga, y bomba lubricación forzada, incluyéndola en hoja de inspección operativa por parte recorredor generación, previo entrenamiento a cargo de mantenimiento incluyéndola en hoja de inspección operativa.	Coordinador Operaciones generación	
5	Utilizar empaquetadura original recomendada por fabricante NOV, tipo 838 (P/N : 181-218214-370) habilitando sistema de lubricación forzada.	Ingeniero Mecánico de Mantenimiento	
6	Oficializar alcance de los planes de mantenimiento de las bomba de agua de los generadores, listado de repuestos y procedimientos (Suministrar Información para su respectivo cargue en SAP)	Ingeniero Mecánico de Mantenimiento	
7	Revisar Stock de repuestos existente para la población de bombas de agua de los generadores de vapor del campo y ajustar Min-Max acorde a los Planes de Mantenimiento e histórico de fallas.	Ingeniero Mecánico de Mantenimiento	
8	Emitir indicador cumplimiento a la Ejecución de los Planes de Mantenimiento de bombas generadores en las Frecuencias establecidas. (banderas)	Lider SAP -PM	
9	Implementar análisis de aceites y puntos adicionales de monitoreo de vibraciones para las bombas de agua de los generadores de vapor.	Lider CBM (Daniel Uribe)	Sept 30 2015
10	Revisar y Actualizar plan de mantenimiento de las bombas de agua de Generadores de Vapor basado en FMEA.	Lider Estrategia Mantenimiento (Obdulio Solano)	Sept -7 2015
11	Mejorar la documentación de la información de las tareas realizadas, resultados, (metrología), hallazgos y repuestos utilizados en la orden de trabajo en SAP	Coordinador Técnico Massy	
12	Mejorar al sistema de conducción y separación de los fluidos (agua -aceite) de la descarga de la línea de drenaje que proviene de la caja de la bomba. (ver slide 33)	Coordinador Operaciones generación	
13	Realizar seguimiento y acompañamiento a la implementación de las recomendaciones y monitorear mejora, en el equipo piloto seleccionado (X-524)	Lider CBM (Daniel Uribe)	Octubre 30 2015

Fuente: Mansarovar Energy.

Como recomendaciones relevantes que arrojo este RCA, está la de utilizar la empaquetadura original recomendada por el fabricante NOV, revisar stock de repuestos existentes y ajustar el min y máx a los planes de mantenimiento y monitorear el nivel de aceite del cárter y temperaturas en el cuerpo de la bomba y cabezal de succión y descarga.

7.3.1.5. Reporte de falla 24 horas, falla bomba gen x-541: De igual manera se obtuvo y analizó un reporte de falla emitido por la falla en la bomba del generador x-541, el cual fallo por ruptura del cigüeñal.

7.3.1.6. Información General

Figura 29 Información General Reporte de Falla 24 Horas Bomba Gen X-541

1. INFORMACION GENERAL					
Fecha del Reporte	FEBRERO 18-2017	OTM y/o AVISO	1042003	Consecutivo	
Nombre del Evento					
CIGÜEÑAL FRACTURADO BOMBA GEN X-541					
Equipo	GENERADOR DE VAPOR	TAG - Código	X-541M/106325	Personal involucrado: Mecanico A, Ayudante Mecánico, Supervisor de mantenimiento Mecánico	
Item Mantenible	Bomba Reciprocante-Carter	Area / Proceso	05. Generación de Vapor		
Fecha - Hora de Parada	16.02.2017 - 12:00:00 pm.	Modo de Falla	GE-BRD-Daño severo (fractura, explosión, etc.)	Evento recurrente?	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Fecha - Hora de Arranque	17.02.2017 - 08:30 pm.	Horómetro Equipo / Item			
2. CUANTIFICACIÓN DEL IMPACTO					
Pérdidas de producción - Producto en proceso	X	Costo de la Falla \$ (Reparación y Mantenimiento)		Seguridad	
Ambiental		Imagen - Calidad		Probabilidad de ocurrencia	Anual
				Valoración Matriz Evento	Alta

Fuente: Mansarovar Energy

7.3.1.7. Descripción Del Evento

Figura 30 Descripción del Evento Reporte de Falla 24 Horas Bomba Gen X-541

3. DESCRIPCIÓN DEL EVENTO	
Secuencia cronológica desde la identificación de falla hasta la normalización. Qué sucedió, Cómo se reestableció, Cómo quedó el sistema	
Fecha/Hora	Descripción
	Se referencia antecedente de cambio de bomba en el año 2016.
Agosto 08 -16 9:00 Pm	Se realiza mantenimiento semestral de la bomba, se retira bomba y se traslada a taller de mantenimiento para su respectiva valoración y mantenimiento, se aprecian muñones # 1 y # 2 de cigüeñal rayados, se toma la decisión de realizar cambio de bomba por una que se encontraba reparada en taller de mantenimiento (#5132), esta actividad se realiza bajo OT # 2148096.
Agosto 10 -16 9:00 Pm	Se realiza cambio de bomba ensamblada en taller de mantenimiento después de reparación en taller externo, esta bomba provenía del GEN X-526M, sus componentes son reparados en taller externo (Tanuzi), el cigüeñal es metalizado para recuperar muñones, esta actividad es realizada bajo OT # 1034023, el diagnóstico de esta bomba es realizado en febrero de 2016 bajo OT # 1025423.
Febrero 16 -17 04:44 Am	Se genera aviso por parte de operaciones para revisión del variador de la bomba (Aviso # 170891), se atiende solicitud por parte del grupo electricista, se realiza inspección eléctrica, se resetea y normaliza el VDF, se procede a probar la bomba, se da inicio al VDF y se observan dos correas distensionadas en la bomba y se evidencia motor forzado al girar, se apaga el motor, se informa al operador para que tensionen correas de la bomba, esta actividad se realiza bajo OT # 1041976, el equipo queda FDS para el tensionamiento de correas y realizar nuevamente pruebas.
Febrero 16 -17 10:55 Am	De acuerdo a lo diagnosticado por parte del grupo electricista, operaciones genera aviso para tensionar correas (Aviso # 1070943), se atiende solicitud por parte del personal mecánico, se alinean poleas y se tensionan correas, se entrega equipo a operaciones, no se evidencia problemas anormales en el equipo, la actividad se ejecuta bajo OT # 1041957.
Febrero 16 -17 18:00 @ 20:00	Una vez entregado el equipo por parte mecánica, se moviliza el grupo de electricistas a continuar con las pruebas, se presenta cambio de turno de operadores y se aplazan pruebas para ejecutar con el turno de 3:00 - 11:00 pm, en horas de la tarde se reanudan pruebas y se presentan salidas por alarma en el variador de "SOBRECORRIENTE", en horas de la noche (8:00 pm) se desplaza a sitio personal mecánico, se intenta dar giro al conjunto de transmisión desde la polea de la bomba y se evidencia posible atascamiento, se suspenden pruebas para inspeccionar motor - bomba en horas de la mañana.
FEBRERO 17 -17 9:00 Am	Se desplaza personal mecánico hacia el clúster BA para diagnosticar la bomba, se retiran correas y se aprecia atascamiento del equipo dado muy posiblemente por pblmas en el conjunto de potencia, se realiza drenado de aceite y se aprecia cigüeñal fracturado en el muñon No 2 y desgaste en el casquete.
LISTA DE ALARMAS	Sobrecorriente en el motor eléctrico (Variador).
Anexar si se tiene información de alarmas registradas	

Fuente: Mansarovar Energy

7.3.1.8. Recomendaciones Inmediatas Reporte de Falla 24 Horas

Figura 31 Recomendaciones Inmediatas Reporte de Falla 24 Horas, Falla Bomba Gen X-541

5. RECOMENDACIONES INMEDIATAS Y/O ACCIONES DE MEJORA				
Listar recomendaciones y/o acciones de mejora a partir de las causas evidentes encontradas				
Item	Causa evidente	Recomendación inmediata	Realizada por	Fecha
1.	Posible deflexión de cigüeñal generada por proceso de recuperación en taller externo (eventos recurrentes en año 2016).	Si se toma la decisión de reparar cigüeñales, se requiere buscar un método de reparación que no atente contra la integridad del componente, en su defecto garantizar su compra de acuerdo a catalogación.	MECL	
Realizar un RCA para identificar las causas raíces de la falla del cigüeñal.				
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Carlos Alberto Villamizar Sosa				

Fuente: Mansarovar Energy

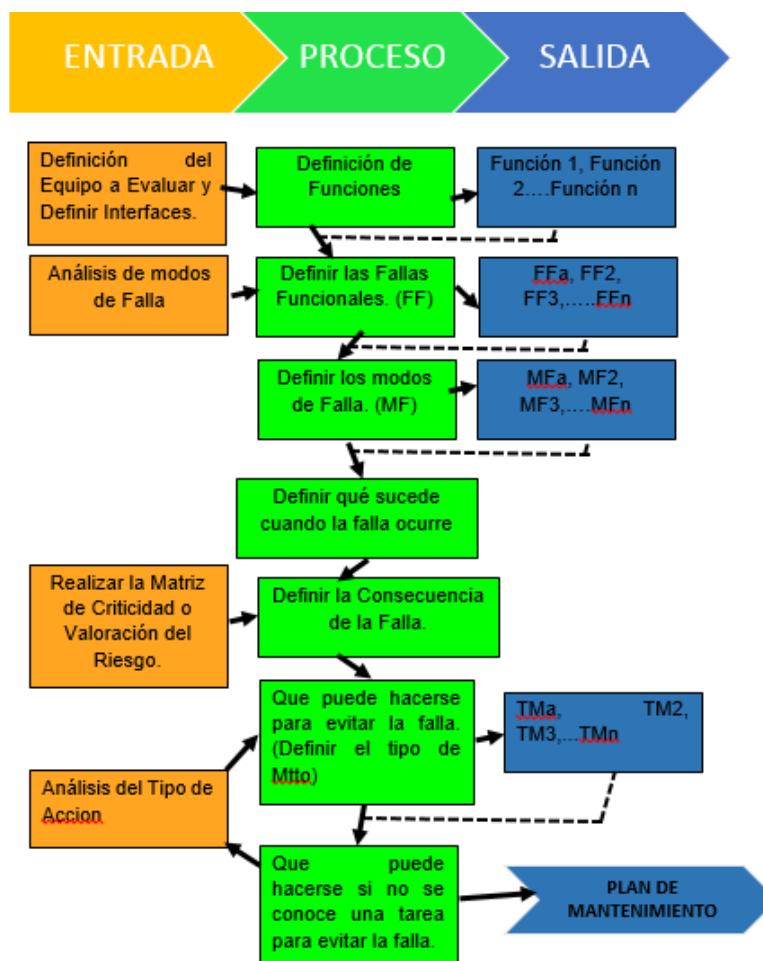
En resumen de este capítulo, se podría decir, que aunque el área de mecánica no es la que mayores costos por reparaciones causó por mantenimientos correctivos, es importante, abordar los problemas del área de mecánica, ya que solamente, los costos realizados a las bombas fue de aproximadamente \$ 191.348.663 para los 3 campos; y en este orden de ideas, enfocar la atención a las fallas causadas por emulsión, fuga y rupturas, que fueron las principales causas de falla en las bombas durante el 2016 y finalmente las recomendaciones que arrojaron los RCA y reportes de falla realizados por el grupo de mantenimiento, apuntan a una gestión de inventario de materiales y repuestos para estas bombas, que para estos casos fue revisión de stocks de inventario, aseguramiento de los min y máx y catalogación de repuestos. Por consiguiente, es necesario realizar o mejorar los planes de mantenimiento asociados a las bombas quíntuplex de los generadores de vapor, el cual, se pretende realizar a partir de la filosofía de mantenimiento denominada RCM.

8. MODELO DE IMPLEMENTACION PROPUESTO

8.1. DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA METODOLOGIA DE RCM PARA LA BOMBAS NOV QUINTUPLEX

La filosofía de mantenimiento RCM es un conjunto de métodos y procedimientos que sirven para optimizar las políticas de mantenimiento que se estén aplicando, para este caso de análisis RCM se definió como “el procedimiento” para mejorar los planes de mantenimiento establecidos.

Figura 32 Diagrama de Flujo, Implementación RCM



En el diagrama anterior se explica el diagrama de flujo implementado para realizar esta monografía, se especifican cuáles son los métodos establecidos que, bajo una lógica selectiva logran definir las acciones a implementar para satisfacer las funciones requeridas por el usuario del equipo.

8.1.1. Definición de la frontera: Para definir las fronteras del equipo a analizar, es importante conocer la historia del equipo, para a través de este historial determinar cuáles son elementos críticos del sistema afectan la confiabilidad del mismo. Si se definen estas fronteras de manera apropiada, el resultado será una buena estrategia de mantenimiento.

De acuerdo a los análisis realizados anteriormente, el principal elemento que falla en los generadores de vapor, es la bomba, y sobre la cual, las principales causas de falla fueron fugas, rupturas y emulsión, por lo cual, la frontera se determinara estos elementos de la bomba que son afectados principalmente.

Tabla 14 Fronteras RCM, Caso de Estudio.

Elemento de Estudio	Frontera
Bomba Quintuplex	Flanche de Succión y Descarga de la Bomba, sin válvula.
	Acople entre motor y bomba. (Polea y Correa)
	Sensor de Nivel de Aceite
	Bomba: Sin Dámper
	Indicador de Presión en Descarga y Succión.

8.1.2. Características técnicas del equipo: Es importante tener en cuenta las características técnicas del elemento a analizar, las cuales se muestran a continuación.

Tabla 15 Características Técnicas, Caso de Estudio RCM

Elemento de Estudio	Características Técnicas
Bomba Quintuplex	Velocidad Máxima: 390 RPM, 163 BHP=121 kW
	Carga Nominal del Pistón: 2994 Kg
	Máxima Presión de Descarga: 2744 psi - 18919 kPa
	Peso: 1322 kg
	Tamaño de la Descarga: 2 in (50,8) -ANSI 1500 FF
	Tamaño de la Succión: 4 in (101,6) -ANSI 300 FF
	Marca: National OilWell Varco
	Lubricante: ISO 220
	Capacidad del Lubricante: 7 gl
	Diam Polea: 30 in
	Correa 5VX2000

8.1.3. Condiciones operacionales y ambientales: De igual manera es importante identificar y conocer las Condiciones operacionales y ambientales bajo la cual trabaja la bomba, estas se enuncian en la siguiente tabla.

Tabla 16 Condiciones Operacionales y Ambientales Caso de Estudio RCM

Elemento de Estudio	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES
Bomba Quintuplex	Plunger Diam: 1,875 In	Humedad Relativa: 85 @ 90%
	Max Press: 2390 psi	Temperatura Ambiente Promedio: 35°C
	GPM: 80,7 @ 300 RPM	Alta polución por Presencia de Polvo
	Equipo Móvil	Riesgo de derrames de aceite

8.1.4. Interfaces: Las interfaces para nuestro caso de estudio se definieron de la siguiente manera:

Tabla 17 Interfaces Caso de Estudio RCM

Elemento de Estudio	INTERFACES (Entradas/Salidas)
Bomba Quintuplex	Entradas:
	Indicadores Análogos de Presión de Descarga y succión; Nivel de Aceite;
	Fluido de trabajo: Agua Suavizada
	Entrada de Aceite para lubricación de la bomba
	Salidas:
	Entrada y Drenaje de Aceite
	Drenaje de Agua
	Indicador Digital: Bajo Nivel Aceite
	Fluido de trabajo: Agua Suavizada

8.1.5. Definición de funciones: Para el caso de estudio de esta monografía se definieron las siguientes funciones:

- Bombear agua suavizada al generador de vapor a una presión de 2390 psi y a una rata de 80,7 GPM @ 300 RPM.
- Enviar señal al variador para que apague el equipo cuando detecte bajo nivel de aceite o alto nivel de aceite.
- Mostrar los niveles de presión en la descarga y succión de la bomba.
- Evacuar el agua de la recamara de drenaje de agua.

8.1.6. Definición de las fallas funcionales: Basados en los históricos de fallas, en la experiencia del grupo de mantenimiento y las recomendaciones dadas por el fabricante se definieron las siguientes fallas funcionales:

- No bombea agua.
- Bombea agua a baja presión.
- No envía señal al variador, para apagar el motor, por bajo nivel de aceite.
- No envía señal al variador, para apagar el motor, por bajo alto de aceite.
- Envía señal de apagado, cuando el nivel de aceite está correcto.
- No indica la presión de descarga y succión de la bomba.
- Indica el nivel de presión de la descarga y succión de la bomba por fuera de los límites de error permitidos.
- No evacua el agua de la recámara.

8.1.7. Definición de los modos de falla: Las principales fallas funcionales o las que más representan un riesgo para la operación son las de: no bombear agua y bombear agua a muy baja presión. La cual presento los siguientes modos de falla:

- Daño severo (Ruptura de Cigüeñal por sobreesfuerzos)
- Daño severo (Casqueteria dañada por deficiencia de lubricación)
- Deficiencia Estructural (Rodamientos del cigüeñal fundidos)
- Problemas Menores (Correas rotas por desgaste)
- Problemas Menores (Correas rotas desalineación)
- Deficiencia Estructural (Polea fracturada por desalineación)
- Problemas Menores (Correas destensionadas por desajuste)
- Fuga Externas del Fluido (Empaques con fuga por deterioro)
- Problemas Menores (Pistones rallados)

8.1.8. Definición de los efectos y consecuencias de falla: Es necesario para poder analizar las consecuencias de la falla, recurrir a la matriz de criticidad

o valoración del riesgo, donde la consecuencia es analizada, y matemáticamente junto con la probabilidad se determina el riesgo, siendo este el que nos dirá, que tan crítico es el modo de falla.

Se tomó como base la matriz de riesgos generada por Ecopetrol, donde se evalúa cada modo de falla, mirando los aspectos de impacto económico, a personas, clientes, imagen de la empresa y medio ambiente.

Figura 33 Matriz de Valoración de Riesgos - RAM

Ecopetrol		DIRECCIÓN DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL				ECP-DRM-F-045				
		MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS - RAM				ACT: 2 / 11				
						31 de Marzo de 2008				
Para mayor información sobre el uso y manejo de este formato consulte instructivo ECP-DRM-007										
CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD					
Personas	Economica	Ambiental	Cientes	Imagen de la Empresa		A	B	C	D	E
						No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Unidad, Superintendencia o Departamento
Una o mas fatalidades	Catastrofica > \$10M	Contaminación Irreparable	Veto como proveedor	Internacional	5	M	M	H	H	H
Incapacidad permanente (parcial o total)	Grave \$1M a \$10M	Contaminación Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Nacional	4	L	M	M	H	H
Incapacidad temporal (>1 día)	Severo \$100k a \$1M	Contaminación Localizada	Pérdida de clientes y/o desabastecimiento	Regional	3	N	L	M	M	H
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante \$10k a \$100k	Efecto Menor	Quejas y/o reclamos	Local	2	N	N	L	L	M
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <\$10k	Efecto Leve	Incumplir especificaciones	Interna	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

Fuente: Mansarovar.

Se tomará como ejemplo: Daño Severo (Ruptura de cigüeñal por sobreesfuerzo); cuando esto ocurre, se producen inicialmente altas vibraciones, ruido excesivo, altas temperaturas y finalmente se produce la ruptura. El mayor riesgo de esta falla, es el económico, ya que se produce parada del generador, por tanto lucro cesante por pérdidas de vapor por los días que se demore la reparación o cambio del mismo, normalmente cambio de pistones, de camisas, y hasta en algunos casos cambio de aceite, esos

costos pueden estar en treinta y ocho millones de pesos (\$ 38'000.000) aproximadamente, en el peor de los casos, incluyendo la mano de obra. Analizando este modo de falla bajo la matriz de criticidad, se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 18 Ejemplo de Riesgo Matriz RAM - Caso Monografía

Modo de Falla	Descripción Efectos	F. Ocul	R. Amb	R. Hum	R. Clie	R. Econ	R. Imag	Valor económico del riesgo (\$)
Daño severo (Ruptura de Cigüeñal por sobreesfuerzos)	Daño en componentes mecánicos (casquetería, bielas, rodamientos del cigüeñal, carcasa, pitones, retenedores). Pérdidas Operacionales de Vapor.	NO	E1	E2	E2	E5	E3	\$ 38.000.000

Como se puede observar, el criterio de riesgo más crítico o con mayor impacto causa es el económico, catalogado en la matriz como categoría E5.

8.1.9. Evaluación de consecuencias de los modos de fallos: Los modos de falla pueden afectar de diversas maneras los equipos o sistemas, estos pueden tener repercusiones con consecuencias ocultas (H), en la seguridad a las personas (S), en el medio ambiente (E) y la operación (O). A continuación se muestra el resultado del análisis de estas consecuencias.

Tabla 19 Evaluación de Consecuencias de los modos de falla

MODOS DE FALLA	EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS																			
	H	S	E	O	H1	S1	O1	N1	H2	S2	O2	N2	H3	S3	O3	N3	H4	S4	H5	
Daño severo (Ruptura de Cigüeñal por sobreesfuerzos)	SI	NO	SI			NO				NO				NO					SI	
Daño severo (Casquetería dañada por deficiencia de lubricación)	SI	NO	SI			NO				NO				NO					SI	
Deficiencia Estructural (Rodamientos del cigüeñal fundidos)	SI	NO	SI			NO				NO				NO					SI	
Problemas Menores (Correas rotas por desgaste)	SI	NO	SI			NO				NO				NO					SI	
Problemas Menores (Correas rotas desalineación)	SI	NO	SI			NO				NO				NO					SI	
Deficiencia Estructural (Polea fracturada por desalineación)	SI	NO	SI			NO				NO				NO					SI	
Problemas Menores (Correas destensionadas por desajuste)	SI	NO	SI			NO				NO				NO					SI	
Fuga Externas del Fluido (Empaques con fuga por deterioro)	SI	NO	SI			NO				NO				NO					SI	
Problemas Menores (Pistones rallados)	SI	NO	SI			NO				NO				NO					SI	
Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor pegado)	SI	NO	SI			NO				NO				SI						
Lectura Anormal de Instrumentos (Cables del sensor rotos)	NO				SI															
Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor en corto circuito)	NO				SI															
Otro (Contactos del sensor sulfatados)	NO				SI															
Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor pegado)	SI	NO	SI			NO				NO				SI						
Lectura Anormal de Instrumentos (Cables del sensor rotos)	NO				SI															
Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor en corto circuito)	NO				SI															
Otro (Contactos del sensor sulfatados)	NO				SI															
Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor desajustado)	NO				NO				SI											
Otro (Contactos del sensor sulfatados)	NO				SI															

Lectura Anormal de Instrumentos (Indicador de presión pegado en 0 por desgaste en sus componentes internos)	SI	NO	SI			NO				NO					SI				
Otro (Caratula del sensor no visible)	SI	NO	SI			NO				NO					SI				
Lectura Anormal de Instrumentos (Indicador de presión descalibrado)	NO				NO				SI										
Taponamiento/Estrangulamiento (Drenaje obstruido)	SI	NO	SI			NO				SI									
Fuga Externas del Fluido (Empaques con fuga por deterioro)	SI	NO	SI			NO				NO					NO				SI

8.1.10. Selección de actividades de mantenimiento: Seguido a realizar el análisis de criticidad, se seleccionaron las actividades de mantenimiento, para lo cual se utilizó el árbol lógico de decisión de Moubray, mostrado en la sección 5.3.11, figura 2. Este árbol permitirá orientar hacia el tipo de mantenimiento que se debe emplear, según cada modo de falla encontrado.

Tabla 20 Selección de las Actividades de Mantenimiento

Cód.. MF	Modo de Falla	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA	RECURSOS (Horas/Hombre)
MF1	Daño severo (Ruptura de Cigüeñal por sobreesfuerzos)	Combinacion de Tareas	Inspección Visual, Analisis de Vibraciones, Inspección de Ruidos, Inspeccion Visual de temperatura por termografía en componentes mecánicos, Reemplazo del componente si se requiere.	Semestral	2 Hrs
MF2	Daño severo (Casquetería dañada por deficiencia de lubricación)	Combinacion de Tareas	Inspección Visual, Analisis de Vibraciones, Inspección de Ruidos, Inspeccion Visual de temperatura por termografía en componentes mecánicos, Reemplazo del componente si se requiere.	Semestral	2 Hrs
MF3	Deficiencia Estructural (Rodamientos del cigüeñal fundidos)	Combinacion de Tareas	Inspección Visual, Analisis de Vibraciones, Inspección de Ruidos, Inspeccion Visual de temperatura por termografía en componentes mecánicos, Reemplazo del componente si se requiere.	Semestral	2 Hrs
MF4	Problemas Menores (Correas rotas por desgaste)	Combinacion de Tareas	Inspeccion Visual (Verificación de Estado de Correas, y alineación de las mismas), alineación y/o sustitución de la correa	Semanal	4 Hrs

MF5	Problemas Menores (Correas rotas desalineación)	Combinacion de Tareas	Inspeccion Visual (Verificación de Estado de Correas, y alineacion de las mismas), alineación y/o sustitución de la correa	Semanal	4 Hrs
MF6	Deficiencia Estructural (Polea fracturada por desalineación)	Combinacion de Tareas	Inspeccion Visual, alineacion de la polea, Analisis de Vibraciones.	Semanal	2 Hrs
MF7	Problemas Menores (Correas destensionadas por desajuste)	Combinacion de Tareas	Inspeccion Visual, alineacion de la polea, Analisis de Vibraciones.	Semanal	2 Hrs
MF8	Fuga Externas del Fluido (Empaques con fuga por deterioro)	Combinacion de Tareas	Inspeccion Visual, Ajuste de Empaquetadura, Cambio del Componente si se requiere. Analisis de aceite.	Semanal	3 Hrs
MF9	Problemas Menores (Pistones rallados)	Combinacion de Tareas	Inspeccion Visual, Ajuste de Empaquetadura, Cambio del Componente si se requiere. Analisis de aceite.	Semanal	3 Hrs
MF10	Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor pegado)	Reacondicionamiento	Inspección Visual y Calibración de Sensores e Instrumentos	Semestral	3 Hrs
MF11	Lectura Anormal de Instrumentos (Cables del sensor rotos)	A condición	Inspeccion de continuidad del cableado con la pinza, cambio de cableado	Anual	0.5 Hrs
MF12	Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor en corto circuito)	A condición	Inspeccion del sensor con pinza voltiampermetrica, remplazar si se requiere.	semanal	0.5 Hrs
MF13	Otro (Contactos del sensor sulfatados)	A condición	Inspeccion Visual, remplazar si se requiere.	semanal	0.5 Hrs
MF14	Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor pegado)	Reacondicionamiento	Inspección Visual y Calibración de Sensores e Instrumentos	Semestral	3 Hrs
MF15	Lectura Anormal de Instrumentos (Cables del sensor rotos)	A condición	Inspeccion de continuidad del cableado con la pinza, cambio de cableado	semanal	0.5 Hrs
MF16	Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor en corto circuito)	A condición	Inspeccion del sensor con pinza voltiampermetrica, remplazar si se requiere.	semanal	0.5 Hrs
MF17	Otro (Contactos del sensor sulfatados)	A condición	Inspeccion Visual, remplazar si se requiere.	semanal	0.5 Hrs
MF18	Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor desajustado)	Reacondicionamiento	Inspección Visual y Calibración de Sensores e Instrumentos	Semestral	3 Hrs
MF19	Otro (Contactos del sensor sulfatados)	A condición	Inspeccion del sensor con pinza voltiampermetrica, remplazar si se requiere.	semanal	0.5 Hrs
MF20	Lectura Anormal de Instrumentos (Indicador de presion pegado en 0 por desgaste en sus componentes internos)	Reacondicionamiento	Inspeccion Visual del Instrumento, calibración y ajuste, reemplazar si se requiere.	semanal	3 Hrs
MF21	Otro (Caratula del sensor no visible)	A condición	Inspeccion Visual del Sensor, Reemplazar si se requiere,	semanal	1 Hrs

MF22	Lectura Anormal de Instrumentos (Indcador de presion descalibrado)	Reacondicionamiento	Inspección Visual y Calibración de Sensores e Instrumentos	Semestral	3 Hrs
MF23	Taponamiento/Estrangulamiento (Drenaje obstruido)	Reacondicionamiento	Inspeccion Visual del drenaje, drenar agua.	Semanal	0.5 Hrs
MF24	Fuga Externas del Fluido (Empaques con fuga por deterioro)	Combinacion de Tareas	Inspeccion Visual, Ajuste de Empaquetadura, Cambio del Componente si se requiere. Analisis de aceite.	Semanal	0.5 HRs

9. PROPUESTA ESTRATEGICA DE MANTENIMIENTO

Las tareas que se propusieron para en el proyecto van orientadas a mitigar los efectos de falla. Para este caso se propusieron tareas de mantenimiento preventivo y predictivo, con frecuencias semanal, semestral y anual.

9.1. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo, llamado también mantenimiento a condición, es una herramienta muy importante para la metodología RCM, puesto que ayuda a predecir la falla antes de que esta ocurra, y de esta manera, evitar, los costos de reparación o de efectuar mantenimientos preventivos costosos para la empresa. Para esta propuesta se decidieron escoger las actividades de mantenimiento predictivos no destructivos con el fin de realizar un seguimiento a las condiciones de operación del equipo, y detectar posibles fallas en algunos de sus componentes.

- **Análisis de Termografía:** Esta metodología se propone con el fin de determinar incrementos de temperatura en los componentes internos de la bomba (Cigüeñal, rodamientos, casquetería, etc).
- **Análisis de aceite:** Se propone con el fin de determinar el estado del aceite, si existe desgaste de algunas piezas, o si está contaminado por agua u otros componentes.
- **Análisis de Vibraciones:** Se propone para determinar el estado de los rodamientos de la bomba, cigüeñal, entre otros.

Estas actividades se proponen realizar de manera trimestral, y se encargaría el área de CBM, con una duración aproximada de 1,5 Hrs.

9.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Como propuesta de mantenimiento preventivo para este caso de estudio, se planteó cambiar la frecuencia de la ejecución de los mantenimientos preventivos de trimestral a semestral, ya que se estaban generando paradas o diferidas muy altas para la ejecución de estas labores, los costos de mantenimiento estaban siendo muy altos, debido a la alta frecuencia con que se realizaban, además se propone capacitar al personal técnico para la ejecución de estas labores.

Para el área de instrumentación se propone la calibración de los instrumentos de medición, transmisores de manera semestral, y su cambio por condición.

De igual manera se planteó la elaboración de una tarea de mantenimiento semanal, donde se realicen inspecciones a los diferentes equipos del generador, no solamente la toma de los parámetros operacionales del equipo, se propuso un “check list” multidisciplinario, donde se realicen actividades de mantenimiento que aporten a la detección temprana de fallas. A continuación se muestran las actividades que comprometen a la bomba.

Tabla 21 Check List Semanal Propuesto para caso de estudio

BOMBA DE AGUA						
PRESIONES (PSI)	SUCCION			DESCARGA		
SON VISIBLES LOS INDICADORES	SI / NO		CON DIFICULTAD			
TEMPERATURA (°C)		PRESION ACEITE (PSI)				
TEMPERATURA BOMBA (AL TACTO)	ALTA			NORMAL		
VIBRACIONES - RUIDO	SI			NO		
NIVEL DE ACEITE	ALTO		MEDIO		BAJO	
COND VISUAL ACEITE	EMULSIONADO				BUENO	
FUGA DE ACEITE	SI			NO		
ESTADO TENSION CORREA	BUENA		REG		MALA	
REFRIG AGUA (GOTEO)	BUENA		REG		MALA	
PISTONES	BUENOS			RAYADOS		
BAFLES	BUENO		REG		MALO	
FILTRO RESPIRADERO	BUENO		REG		MALO	
DRENAJE	BUENO		REG		MALO	
INSTRUMENTOS BOMBA						
COMPONENTES / ESTADO	PRUEBA FUNCIONAL		CABLEADO		ESTADO BORNERAS	
	B	M	B	M	B	M
TRANSMISOR DE FLUJO DE AGUA						
SWITCH ALTO Y BAJO NIVEL DE ACEITE BOMBA						
SWITCH BAJA PRESIÓN AGUA SUCCIÓN BOMBA						
TRANSMISOR ENTRADA DE AGUA						
TUBERÍA DE AGUA						

9.3. ANALISIS DE REPUESTOS

Cuando se inició con la operación de las bombas Quintuplex de los generadores de vapor de los campos Jazmín, Girasol y Moriche, se presentaron inconvenientes con el mantenimiento de las bombas, ya que los insumos y repuestos no eran de fácil consecución y solo los comercializaba el fabricante, lo que llevo a que se comprarán y utilizaran repuestos homólogos para están bombas, principalmente en los referente a empaquetaduras, retenedores, pistones, entre otros, lo que llevo con el tiempo a que estos elementos empezaran a presentar falla, a mayor frecuencia que lo esperado.

Durante el desarrollo de este proyecto, se recomendó la inclusión de repuestos en el software de mantenimiento de MECL: SAP, los repuestos recomendado por los fabricantes, lo que conlleva a iniciar el proceso de catalogación de los mismos y a su vez establecer el cliente, MECL, determinaría según la frecuencia de uso de los mismos o si criticidad, establecer parámetros de reposición, Min y Max, y se determinó a su vez, que repuestos de los que se han homologado, presentaron buen comportamiento para lo cual se dejaron los filtros de silica y el aceite de marca terpel.

En la siguiente tabla se muestra algunos de los repuestos a los cuales se solicitó su catalogación ya que los que se tenían en existencia en bodega eran homologados o simplemente no se tenían catalogados.

Es importante aclarar que dentro del proceso de gestión de materiales de Mansarovar, catalogar un repuesto, no involucra la compra inmediata del mismo, ya que para esto se necesita es de una reserva y una solicitud de pedido SolPed, pero si es importante tener catalogados los repuestos o materiales, ya que, este proceso de catalogación puede tardar en promedio de 2 a 4 semanas, lo que haría, para lo solicitud de un repuesto en caso de emergencia, casi imposible una compra inmediata.

Tabla 22 Solicitud de Catalogación de Repuestos para las Bombas de los Gen de Vapor

NUMEROS GUIA		DATOS BASICOS	DATOS TECNICOS							MRP - REPOSICION					OTROS
ITEM	COD MATERIAL	DESCRIPCION MATERIAL O REPUESTO	PARTE NUMERO	EQUIPO	FABRICANTE	MODELO	SERIE	UNID	V/R UNIT. ESTIMADO (COP)	Cantidad de equipos que usan el material	Cantidad de materiales por equipo	Tipo de demanda	Frecuencia de falla	Compras previas	Comentarios
1	410501820	OIL SEAL	50X70X8	BOMBA DE AGUA	NINGBO HELI MECHANICAL PUMP	3GP100-11,5/14		UN	\$ 280.000	3	6	Plan eado	Semestral		
2	410500422	SELLO TAPA WIPER	145-158238-999	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M		UN	\$ 250.000	1	15	Plan eado	Semestral		
3	410501821	WASHER	154-058108-286	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M		UN	\$ 50.000	1	10	Aleatorio	Menor a Anual		
4	410501822	CROSSHEAD	004-028404-359	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M		UN	\$ 1.800.000	1	5	Aleatorio	Menor a Anual		
5	410501823	CAP SCREW	100-058314-290	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M		UN	\$ 80.000	1	10	Aleatorio	Menor a Anual		
6	410501824	CONNECTING ROD AND CAP COMPLETE	998-Q42400-004	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M		UN	\$ 800.000	1	5	Aleatorio	Menor a Anual		

7	410501825	AIR BREATHER	ABB-113766-000	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M/163Q4-M		UN	\$ 200.000	3	1	Plan eado	Anual		
8	410501826	VALVULA ESFERICA COMPLETA	17923425W <i>se coloca</i> 179253425W	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M		UN	\$ 1.300.000	1	5	Plan eado	Anual		
9	410501827	LANTERN RING	001-014456-302	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M/163Q4-M		UN	\$ 500.000	3	5	Plan eado	Semestral		
10	410501828	ADAPTER ROD	002-028470-402	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M		UN	\$ 250.000	1	5	Plan eado	Anual		
11	410501829	PLUNGER	002-028855-999	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M		UN	\$ 220.000	1	5	Plan eado	Anual		
12	410501830	CORREA EN V	421-100420-001	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M		UN	\$ 1.600.000	1	1	Plan eado	Anual		
13	410501831	RETENEDOR ACEITE (CIGÜEÑAL)	145-438538-999	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M		UN	\$ 280.000	1	1	Plan eado	Semestral		
14	410501832	MAIN BEARING	120-450084-999	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M		UN	\$ 480.000	1	2	Plan eado	Anual		

15	410501833	O RING	110-000236-200	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M		UN	\$ 80.000	1	10	Plan eado	Semestral		
16	410501834	OIL LEVEL SITE GLASS	001-010803-999	BOMBA DE AGUA	NATIONAL OILWELL VARCO	217Q-4M/163Q4-M		UN	\$ 450.000	3	1	Aleatorio	Indeterminada		
17	420501170	SELLO MECANICO MONORESORTE	1-3/8, verificar descripcion de acuerdo a ultima solicitud se crea	BOMBA DE DESPACHO	NETZSCH	PM0000125-B108904-NM031BY02 S12B		UN	\$ 100.000	2	1	Aleatorio	Indeterminada		

10. CONCLUSIONES

- Se logró establecer en conjunto con las áreas de mantenimiento de los campos Jazmín, Girasol, Moriche y Abarco un plan de mantenimiento basado en RCM, con el fin de disminuir la paradas de los generadores de vapor y de igual manera aumentar la disponibilidad y confiabilidad de estos equipos.
- Basados en el modelo de aplicación de RCM propuesto por Moubray, e identificaron los modos de falla críticos para la bomba, impactos y consecuencias y se establecieron las tareas de mantenimiento, frecuencias y recursos, con el fin de prevenir o predecir posibles fallas que se puedan presentar a estos equipos.
- Como resultado de esta propuesta se obtuvieron tareas de mantenimiento preventivo, predictivo, tales como inspecciones semanales, análisis termográfico, de vibraciones y análisis de aceites, que permitirán ser más eficientes al momento de realizar mantenimiento a estos equipos. Pero es importante, que se capacite al personal, para que el personal técnico se sienta involucrado en el proceso y aumente su confianza para intervenir estos equipos.
- Es importante seguir las indicaciones de los fabricantes en relación a los repuestos a utilizar, ya que esto también garantiza, en cierta manera, la eficiencia de los equipos.
- Se realizó la catalogación completa de todos los repuestos que puedan comprometer la reparación de las bombas quintuplex de los generadores de vapor, ya que, al ser los procesos de catalogación algo lentos, puede comprometer disponibilidad y confiabilidad de estos equipos, por falta de repuestos para su reparación.

BIBLIOGRAFIA

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 1486 Presentación De Trabajos Escritos De Investigación. Bogotá D.C., ICONTEC, 2016.
- MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II, Edición en español. Gran Bretaña: Aladon LLC., 2004.
- NATIONAL OILWELL VARCO, Multiplex Plunger Pumps, Installation, Care and Operation Manual To Models: 101T-4, 133T-4, 163Q-4 and 217Q-4, September de 2006.
- NATIONAL OILWELL VARCO, 217Q-4 Multiplex Plunger Pumps, part List to types: 217Q-4L, 217Q-4M and 217Q-4H.
- ORTIZ PLATA, DANIEL. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Bogotá, 2017. Memorias de clase. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
- PERTUZ COMAS, Alberto David. Principios de Mantenimiento. Bogotá, 2017. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Memorias de Clase.
- PAVA GOMEZ, Oscar y GUERRERO MENESES, Daniel. MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA TEORÍA DE RCM PARA EL CAMPO MORICHE DE LA COMPAÑÍA PETROLERA MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD. 2016. Monografía. Universidad Industrial de Santander. Especialización Gerencia de Mantenimiento.

ANEXOS

Anexo A Resumen RCM para las bombas Quintuplex de los generadores de vapor.

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	R. Ambiental	R. Humano	R. Clientes	R. Económico	R. Imagen	Valor económico del riesgo (\$)	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA	RECURSOS (Horas/Hombre)
F1	Bombar agua suavizada al generador de vapor a una presión de 2390 psi y a una tasa de 80,7 GPM @ 300 RPM	FF1	No bombea el agua	MF1	Daño severo (Ruptura de Cigüeñal por sobreesfuerzos)	Daño en componentes mecánicos (casquetería, bielas, rodamientos del cigüeñal, carcaza, pitones, retenedores). Pérdidas Operacionales de Vapor.	NO	E2	E2	E2	E5	E3	\$ 38.000.000,00	Combinación de Tareas	Inspección Visual, Análisis de Vibraciones, Inspección de Ruidos, Inspección Visual de temperatura por termografía en componentes mecánicos, Reemplazo del componente si se requiere.	Semestral	2 Hrs
				MF2	Daño severo (Casquetería dañada por deficiencia de lubricación)	Daño en componente mecánicos (casquetería y cigüeñal), cambio rodamientos, cambio retenedores, cambio empaquetadura de los pistones. Pérdidas Operacionales de Vapor.	NO	E2	E2	E2	E5	E3	\$ 20.000.000,00	Combinación de Tareas	Inspección Visual, Análisis de Vibraciones, Inspección de Ruidos, Inspección Visual de temperatura por termografía en componentes mecánicos, Reemplazo del componente si se requiere.	Semestral	2 Hrs

					Pérdidas Operacionales de Vapor.												
				MF7	Problemas Menores (Correas destensionadas por desajuste)	Rotura de correas. Pérdidas Operacionales de Vapor.	NO	E1	E0	E2	E4	E3	\$ 3.500.000,00	Combinacion de Tareas	Inspeccion Visual, alineacion de la polea, Analisis de Vibraciones.	Semanal	2 Hrs
		FF2	Bombee agua a muy baja presion.	MF8	Fuga Externas del Fluido (Empaques con fuga por deterioro)	Aceite contaminado por paso de agua (emulsionado), desgaste de casquetes y muñon del cigüeñal. Costo de la Reparacion \$ 2.400.000.	NO	E3	E0	E2	E3	E3	\$ 3.000.000,00	Combinacion de Tareas	Inspeccion Visual, Ajuste de Empaquetadura, Cambio del Componente si se requiere. Analisis de aceite.	Semanal	3 Hrs
				MF9	Problemas Menores (Pistones rallados)	Daño prematuro de la empaquetadura Perdida de presion por fugas Disminución en la eficiencia de generación de vapor.	NO	E3	E0	E2	E3	E3	\$ 3.000.000,00	Combinacion de Tareas	Inspeccion Visual, Ajuste de Empaquetadura, Cambio del Componente si se requiere. Analisis de aceite.	Semanal	3 Hrs
F2	Enviar señal al variador para apagar el equipo cuando detecte	FF3	No envia señal para apagar el motor cuando hay bajo nivel de aceite	MF10	Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor pegado)	No envia señal de apagado, daño en el tren de potencia (casquete, cigüeñal) por lubricacion	NO	C2	C0	C2	C4	C3	\$ 20.000.000,00	Reacondicionamiento	Inspección Visual y Calibración de Sensores e Instrumentos	Semestral	3 Hrs

	bajo nivel de aceite				deficiente (bajo nivel)											
			MF1 1	Lectura Anormal de Instrumentos (Cables del sensor rotos)	No envia señal de apagado, daño en el tren de potencia (casquete, cigüeñal) por lubricación deficiente (bajo nivel)	SI	C2	C0	C2	C4	C3	\$ 20.000.000,00	A condición	Inspeccion de continuidad del cableado con la pinza, cambio de cableado	Anual	0.5 Hrs
			MF1 2	Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor en corto circuito)	No envia señal de apagado, daño en el tren de potencia (casquete, cigüeñal) por lubricación deficiente (bajo nivel)	SI	C2	C0	C2	C4	C3	\$ 20.000.000,00	A condición	Inspeccion del sensor con pinza voltiampermetrica, remplazar si se requiere.	semanal	0.5 Hrs
			MF1 3	Otro (Contactos del sensor sulfatados)	No envia señal de apagado, daño en el tren de potencia (casquete, cigüeñal) por lubricación deficiente (bajo nivel)	SI	C2	C0	C2	C4	C3	\$ 20.000.000,00	A condición	Inspeccion Visual, remplazar si se requiere.	semanal	0.5 Hrs
F3	Enviar señal al variador para apagar el equipo cuando	FF4	MF1 4	Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor pegado)	Contaminación ambiental por derrame de aceite emulsionado. No envia señal de apagado,	NO	C3	C0	C2	C4	C3	\$ 20.000.000,00	Reacondicionamiento	Inspección Visual y Calibración de Sensores e Instrumentos	Semestral	3 Hrs

detecte alto nivel de aceite	nivel de aceite		daño en el tren de potencia (casquete, cigüeñal) lubricación deficiente (emulsionado)												
		MF1 5	Lectura Anormal de Instrumentos (Cables del sensor rotos)	No envía señal de apagado, daño en el tren de potencia (casquete, cigüeñal) lubricación deficiente (emulsionado)	SI	C2	C0	C2	C4	C3	\$ 20.000.000,00	A condición	Inspeccion de continuidad del cableado con la pinza, cambio de cableado	semanal	0.5 Hrs
		MF1 6	Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor en corto circuito)	No envía señal de apagado, daño en el tren de potencia (casquete, cigüeñal) lubricación deficiente (emulsionado)	SI	C2	C0	C2	C4	C3	\$ 20.000.000,00	A condición	Inspeccion del sensor con pinza voltiampermetrica, reemplazar si se requiere.	semanal	0.5 Hrs
		MF1 7	Otro (Contactos del sensor sulfatados)	No envía señal de apagado, daño en el tren de potencia (casquete, cigüeñal) lubricación deficiente	SI	C2	C0	C2	C4	C3	\$ 20.000.000,00	A condición	Inspeccion Visual, reemplazar si se requiere.	semanal	0.5 Hrs

					(emulsionado)												
		FF5	Envía señal de apagar el motor cuando no hay bajo nivel de aceite	MF1 8	Lectura Anormal de Instrumentos (Sensor desajustado)	Parada de la bomba, pérdida de la generación de vapor.	SI	C0	C0	C2	C3	C2	\$ 1.000.000,00	Reacondicionamiento	Inspección Visual y Calibración de Sensores e Instrumentos	Semestral	3 Hrs
				MF1 9	Otro (Contactos del sensor sulfatados)	Parada de la bomba, pérdida de la generación de vapor.	SI	C0	C0	C2	C3	C2	\$ 1.000.000,00	A condición	Inspeccion del sensor con pinza voltiampermetrica, reemplazar si se requiere.	semanal	0.5 Hrs
F4	Mostrar los niveles de presión en la descarga y succión de la bomba.	FF6	No indica la presión de descarga y succión de la bomba	MF2 0	Lectura Anormal de Instrumentos (Indicador de presión pegado en 0 por desgaste en sus componentes internos)	Sobrepresión o baja presión de bombeo. Daño de la empaquetadura y componentes internos.	NO	C0	C0	C2	C4	C2	\$ 2.500.000,00	Reacondicionamiento	Inspeccion Visual del Instrumento, calibración y ajuste, reemplazar si se requiere.	semanal	3 Hrs
				MF2 1	Otro (Caratula del sensor no visible)	Sobrepresión o baja presión de bombeo. Daño de la empaquetadura y componentes internos.	NO	C0	C0	C2	C4	C2	\$ 2.500.000,00	A condición	Inspeccion Visual del Sensor, Reemplazar si se requiere,	semanal	1 Hrs
		FF7	Indicar valor de presión de descarga y succión de la bomba, por fuera de los límites de error	MF2 2	Lectura Anormal de Instrumentos (Indicador de presión descalibrado)	Sobrepresión o baja presión de bombeo. Daño de la empaquetadura y componentes internos.	SI	C0	C0	C2	C4	C2	\$ 2.500.000,00	Reacondicionamiento	Inspección Visual y Calibración de Sensores e Instrumentos	Semestral	3 Hrs

			permitidos														
F5	Evacuar el agua de la recamara de drenaje de agua	FF8	No evacua el agua de la recamara.	MF2 3	Taponamiento/Estrangulamiento (Drenaje obstruido)	Contaminacion de aceite con agua (emulsionado), derrame de agua.	NO	E3	E0	E2	E3	E2	\$ 1.000.000,00	Reacondicionamiento	Inspeccion Visual del drenaje, drenar agua.	Semanal	0.5 Hrs
				MF2 4	Fuga Externas del Fluido (Empaques con fuga por deterioro)	Alto nivel de agua en la recamara, mas del que puede evacuar por el drenaje.	NO	E1	E0	E2	E4	E2	\$ 1.500.000,00	Combinacion de Tareas	Inspeccion Visual, Ajuste de Empaquetadura, Cambio del Componente si se requiere. Analisis de aceite.	Semanal	0.5 HRs