



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

“PROPUESTA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD DE LAS UNIDADES DE BOMBEO HORIZONTAL MULTITETAPAS DEL SISTEMA POWER OIL DE LA ESTACIÓN ATACAPI DEL B57-LI DE PETROAMAZONAS EP”

ÁNGEL VINICIO CASTILLO SANTILLÁN

**Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo,
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,
como requisito parcial para la obtención del grado de Magister en:**

“GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL”.

**RIOBAMBA - ECUADOR
ABRIL 2017**



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado “PROPUESTA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD DE LAS UNIDADES DE BOMBEO HORIZONTAL MULTITETAPAS DEL SISTEMA POWER OIL DE LA ESTACIÓN ATACAPI DEL B57-LI DE PETROAMAZONAS, de responsabilidad del Sr Ángel Vinicio Castillo Santillán, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Ing. Oscar Granizo Paredes; M.Sc.

PRESIDENTE

FIRMA

Ing. José Granizo; PhD.

DIRECTOR

FIRMA

Ing. Mónica Carrión Cevallos; M.Sc.

MIEMBRO

FIRMA

Ing. Julio Pérez Guerrero; PhD.

MIEMBRO

FIRMA

Riobamba, Abril de 2017

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Ángel Vinicio Castillo Santillán, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

FIRMA
060249933-7

DEDICATORIA

A mi amada esposa Tania por su amor, sacrificio y apoyo incondicional, a mis amados hijos Vinicio y Martín fuente de inspiración y fortaleza para seguir adelante, a mis amados padres Miguel Ángel y Alba Piedad por su ejemplo de vida, y a mis hermanas Cumandá, Marieta y Nubecita, ejemplo de superación.

Ángel Vinicio.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la vida y las nuevas oportunidades cada día, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, al Instituto de Posgrado y Educación Continua por los esfuerzos realizados para impartir esta maestría.

Al Ing. José Granizo PhD. por su valioso conocimiento, tiempo y apoyo en la dirección del presente trabajo, a los Ing. Mónica Carrión Cevallos M.Sc, e Ing. Julio Pérez Guerrero PhD. por su valiosa tutoría.

Cordialmente, Ángel Vinicio.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página.
PORTADA.....	i
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS.....	ii
DERECHOS INTELECTUALES.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
TABLAS DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ECUACIONES	xii
TÉRMINOS ABREVIADOS.....	xiii
LISTA DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	5
1.1.1 <i>Árbol del problema.....</i>	6
1.1.2 <i>Formulación del problema.....</i>	7
1.1.3 <i>Sistematización del problema.....</i>	8
1.1.4 <i>Objetivos de la investigación.....</i>	8
1.1.4.1 <i>Objetivo general.....</i>	8
1.1.4.2 <i>Objetivos específicos.....</i>	8
1.1.5 <i>Justificación de la investigación.....</i>	9
1.1.6 <i>Hipótesis.....</i>	10
1.1.7.1 <i>Hipótesis de investigación.....</i>	10

CAPÍTULO II

2	MARCO DE REFERENCIA.....	11
2.1	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	11
2.2	Definiciones y conceptos.....	15
2.3	RCM: Las siete preguntas básicas.....	15
2.3.1	<i>Funciones.....</i>	15
2.3.1.1	<i>Funciones primarias.....</i>	15
2.3.1.2	<i>Funciones secundarias.....</i>	16
2.3.1.3	<i>Estándar de Funcionamiento.....</i>	16
2.3.1.4	<i>El contexto operacional.....</i>	17
2.3.2.	<i>Fallas funcionales.....</i>	19
2.3.3.	<i>Modos de falla.....</i>	19
2.3.4.	<i>Efectos de la falla.....</i>	20
2.3.4.1.	<i>Fuentes de información acerca de modos de falla.....</i>	21
2.3.5.	<i>Consecuencias de la falla.....</i>	22
2.4.	Hoja de información.....	23
2.5.	Hoja de decisión.....	24
2.6.	Grupo de análisis RCM.....	27
2.7.	Tasa de fallas.....	29
2.8	Offshore Reliability Data (OREDA).....	30

CAPÍTULO III

3	METODOLOGIA EN EL DESARROLLO DE RCM.....	31
3.1.	Diseño de investigación.....	31
3.1.1.	<i>Métodos de investigación empleados.....</i>	32
3.1.1.1.	<i>Métodos teóricos generales.....</i>	32
3.1.1.2.	<i>Métodos particulares de mantenimiento.....</i>	33
3.1.2.	<i>Técnicas e instrumentos para la recolección de información.....</i>	33
3.1.3.	<i>Adquisición de datos históricos del sistema Máximo para Oil & Gas.....</i>	33
3.2.	Contexto operacional actual.....	34
3.2.1.	<i>Descripción del proceso general.....</i>	34
3.2.1.1.	<i>Tanque de reposo de crudo.....</i>	35

3.2.1.2.	<i>Bombas Booster.....</i>	36
3.2.1.3.	<i>Unidad de bombeo horizontal multietapas HPS.....</i>	38
3.2.2.	<i>Descripción de la unidad de bombeo horizontal HPS.....</i>	38
3.2.3.	<i>Condiciones Operativas de la unidad de bombeo horizontal HPS.....</i>	40
3.2.4.	<i>Filosofía de operación.....</i>	41
3.2.5.	<i>Parámetros de funcionamiento equipos de la unidad HPS.....</i>	42
3.2.5.1.	<i>Parámetros de funcionamiento Motor eléctrico.....</i>	43
3.2.5.2.	<i>Parámetros de funcionamiento Arrancador.....</i>	44
3.2.5.3.	<i>Parámetros de funcionamiento Cámara de empuje enfriador.....</i>	44
3.2.5.4.	<i>Parámetros de funcionamiento Bombas horizontales multietapas.....</i>	45
3.2.5.5.	<i>Parámetros de funcionamiento de Instrumentación.....</i>	46
3.3.	<i>Tasa de fallos de la unidad de bombeo horizontal.....</i>	47
3.3.1.	<i>Histórico de fallas de la unidad de bombeo horizontal HPS.....</i>	48
3.3.2.	<i>Cálculo de la tasa de fallos del motor eléctrico.....</i>	52
3.3.3.	<i>Cálculo de la tasa de fallos del arrancador.....</i>	52
3.3.4.	<i>Cálculo de la tasa de fallos de la cámara de empuje.....</i>	52
3.3.5.	<i>Cálculo de la tasa de fallos de la bomba horizontal.....</i>	53
3.3.6.	<i>Determinación de tasa de fallos de la unidad de bombeo horizontal HPS.....</i>	54

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
4.1.	Elaboración de hojas de información por equipo en la unidad HPS.....	55
4.1.1.	<i>Análisis de tasa de fallos unidad de bombeo horizontal HPS.....</i>	58
4.1.2.	<i>Hoja información - Resultados y discusión modos de fallo motor eléctrico...</i>	58
4.1.3.	<i>Hoja información - Resultados y discusión modos de fallo cámara empuje...</i>	60
4.1.4.	<i>Hoja de información - Resultados y discusión modos de fallo arrancador suave.....</i>	63
4.1.5.	<i>4.1.5. Hoja de información - Resultados y discusión modos de fallo bombas HPS</i>	65
4.2.	Comprobación de hipótesis en relación con base de datos OREDA.....	67
4.2.1.	<i>Análisis datos OREDA 2009 para equipos unidad HPS.....</i>	67
4.2.2.	<i>Comprobación de hipótesis en base a T Student.....</i>	69

CAPÍTULO V

5.	PROPUESTA	72
5.1.	Hojas de decisión para equipos unidad de bombeo horizontal HPS.....	72
5.1.1.	<i>Hoja de decisión para el motor eléctrico.....</i>	74
5.1.2.	<i>Hoja de decisión para la cámara de empuje.....</i>	75
5.1.3.	<i>Hoja de decisión para arrancador suave.....</i>	76
5.1.4.	<i>Hoja de decisión para bombas HPS</i>	77
5.2.	Propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para unidad HPS	78
	CONCLUSIONES.....	81
	RECOMENDACIONES.....	82
	BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Hoja de información RCM.	24
Tabla 2-2: Hoja de decisión RCM II.....	25
Tabla 3-2: Diagrama de decisión RCM II.....	26
Tabla 1-3: Especificaciones de tanque de reposo T-0648.....	36
Tabla 2-3: Bombas Booster sistema Power Oil.	37
Tabla 3-3: Activos que componen el sistema bombeo horizontal Power Oil	40
Tabla 4-3: Variables del proceso sistema Power Oil	40
Tabla 5-3: Pozos operando dentro del sistema Power Oil	41
Tabla 6-3: Parámetros operativos de los equipos HPS Power Oil Atacapi.....	42
Tabla 7-3: Motor eléctrico bomba HPS sistema Power Oil.	43
Tabla 8-3: Arrancador eléctrico bomba HPS sistema Power Oil.....	44
Tabla 9-3: Bombas HPS sistema Power Oil	46
Tabla 10-3: Históricos de fallas de la unidad de bombeo horizontal HPS.....	49
Tabla 1-4: Hoja de información RCM2 Motor eléctrico.....	59
Tabla 2-4: Hoja de información RCM2 Cámara de empuje.	62
Tabla 3-4: Hoja de información RCM2 Arrancador suave.	64
Tabla 4-4: Hoja de información RCM2 Bomba HPS	66
Tabla 5-4: Base de datos ORDEDA, Motores eléctricos	68
Tabla 6-4: Base de datos ORDEDA, bombas centrifugas manejo de crudo.....	68
Tabla 7-4: Base de datos ORDEDA, Motores eléctricos	69
Tabla 8-4: Resultados prueba de hipótesis T student muestras emparejadas.....	70
Tabla 1-5: Hoja de decisión RCM2 Motor eléctrico.....	74
Tabla 2-5: Hoja de decisión RCM2 Cámara de empuje.....	75
Tabla 3-5: Hoja de decisión RCM2 Bomba HPS.....	76
Tabla 4-5: Hoja de decisión RCM2 Arrancador suave.	77
Tabla 5-5: Hoja de trabajo Motor eléctrico.....	78
Tabla 6-5: Hoja de trabajo Cámara de empuje.....	79
Tabla 7-5: Hoja de trabajo Bomba HPS.....	79
Tabla 8-5: Hoja de trabajo Bomba HPS.....	80
Tabla 9-5: Hoja de trabajo unidad HPS tareas de Operación.....	80
Tabla 10-5: Plan de capacitación RCM B57 Libertador año 2016	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Mapa de Bloques Petroleros del Ecuador -Bloque 57 Libertador.....	2
Figura 2-1: Diagrama del proceso extracción de crudo por bombeo hidráulico.	5
Figura 3-1: Árbol del Problema	7
Figura 1-2: Las funciones primarias y secundarias.....	16
Figura 2-2: Margen de deterioro.	17
Figura 3-2: Efectos del fallo.....	21
Figura 4-2: Grupo de trabajo RCM.....	27
Figura 5-2: Grupo de trabajo RCM B57 Libertador.	28
Figura 6-2: Tasa de fallos.....	29
Figura 1-3: Diagrama de etapas propuesta RCM unidad power oil de estación Atacapi.....	31
Figura 2-3: Diagrama de procesos extracción de petróleo, selección de equipo RCM.....	35
Figura 3-3: Unidad de bombeo horizontal multietapas HPS corte transversal	38
Figura 4-3: Unidad de bombeo horizontal multietapas HPS.....	39
Figura 5-3: Unidad de bombeo horizontal multietapas HPS.....	39
Figura 6-3: Cámara de empuje, enfriador de equipo de bombeo horizontal HPS.....	45
Figura 7-3: Disposición serie de los subsistemas de la unidad de bombeo horizontal HPS	54
Figura 1-4: Tasa de fallos equipos de unidad de bombeo horizontal HPS.....	56
Figura 2-4: Modos de fallo por equipo según estándar ISO 14224-2006 HPS.....	56
Figura 3-4: Modo de falla según estándar ISO 14224-2006 HPS.....	57
Figura 4-4: Perdidas de producción asociados al equipo de mayor importancia.	57
Figura 5-4: Utilización de OREDA dentro de una empresa petrolera.	67

LISTA DE ECUACIONES

		Página
Ecuación 1-2	Fórmula tasa de fallos genérica.....	29
Ecuación 1-3	Tasa de fallos arrancador.....	51
Ecuación 2-3	Tasa de fallos cámara de empuje.....	51
Ecuación 3-3	Tasa de fallos bomba horizontal.....	52
Ecuación 4-3	Tasa de fallos sistema HPS.....	52
Ecuación 5-3	Tasa de fallos unidad de bombeo HPS.....	52
Ecuación 1-4	Numero de fallas por año unidad HPS.....	55

TÉRMINOS ABREVIADOS

A	Disponibilidad	ORED	Proyecto para la recopilación de datos
BPPD	Barriles de petróleo por día	A	de Confiabilidad y mantenimiento de equipo industrial de gas y petróleo.
BPO	Bombeo Power Oil	PM	Mantenimiento preventivo.
Booster	Bomba alimentadora.	P&ID	Diagrama de instrumentación y proceso.
BEN	Punto de referencia o “benchmarking”	PSV	Válvula de seguridad de procesos.
BPO	Bombeo Power Oil	R	Confiabilidad
CBM	Monitoreo bajo condición	RA	Confiabilidad y disponibilidad.
CMMIS	Sistema de información y gestión de mantenimiento computarizado	RAM	Confiabilidad, disponibilidad, Mantenibilidad
FMECA	Análisis de modo de falla, efecto y criticidad.	RCM	Mantenimiento centrado en confiabilidad
HPS	Horizontal Pump System	RM	Confiabilidad y mantenimiento
MTBF	Tiempo medio entre fallos	TCH	Cámara de empuje
MTTF	Tiempo hasta el fallo	TTR	Tiempo para reparar
MTTR	Tiempo medio para reparar		Tasa de Fallos
MTTM	Tiempo medio para mantener		
WO	Orden de trabajo		
OPEX	Gastos operativos.		

ÍNDICE DE ANEXOS.

- Anexo A.** Reporte de termografía Tanque T-0648.
- Anexo B** Curva caudal vs presión bomba HPS TJ 9000.
- Anexo C** Base de datos OREDA Motor eléctrico
- Anexo D** Base de datos OREDA Bomba que maneja petróleo crudo
- Anexo E** Proyección de confiabilidad según modelo exponencial
- Anexo F** Modos de falla según ISO 14224-2006.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar la propuesta de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) de la unidad de bombeo horizontal multietapas HPS del sistema Power Oil, dentro del Bloque 57 Libertador, Provincia de Sucumbíos, Parroquia: Dureno, estación Atacapi, por cuanto la alta tasa de fallas imprevistas de la unidad ha ocasionado que el sistema esté inoperativo en varios períodos de tiempo, provocando pérdidas que comprometen la producción de petróleo del campo, para ello: se analizó el contexto operacional de los equipos que componen la unidad HPS confirmando que están dentro de su contexto de diseño, se recabaron datos históricos del sistema Máximo Oil & Gas de los años 2014 - 2015, se calculó y determinó la tasa de fallas de los equipos y la unidad HPS, se analizó y valoró los modos de falla según la norma ISO 14224-2006, con estos datos se desarrolló el análisis de modos de falla y sus efectos (AMFE) obteniendo las hojas de información de cada uno de los equipos, con la aplicación del diagrama de decisión RCM II se obtuvieron las hojas de decisión, en las cuales se indica las tareas propuestas para controlar cada uno de los modos de falla, las tareas planteadas son lógicas y realizables, finalmente se obtuvo el plan RCM para la unidad de bombeo horizontal HPS. Con la aplicación de la metodología se comprueba que es factible la reducción de la tasa de fallos obteniendo una mejora desde una tasa de fallos de 0.00142 a 0.0006, es decir de un tiempo medio entre fallas de 29 a 69 días. En vista de los resultados esperados, se recomienda la aplicación inmediata de la propuesta.

Palabras Claves: TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO, <MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)>; <BLOQUE 57 LIBERTADOR>, < ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)=>, <HOJAS DE INFORMACIÓN>, <HOJAS DE DECISIÓN>;<DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM II>>

ABSTRACT

The present work aims to realize the proposal of a Reliability Centered Maintenance Plan (RCM) of the HPS multi-stage horizontal pumping unit of the power oil system, within Block 57 Libertador, Sucumbios Province, Dureno Parish, Atacapi Station, for As the high rate of unforeseen failure of the unit has caused the system to be inoperative in several periods of time, causing losses that compromise the oil production of the field, for it: the operational context that the equipment that compose the HPS unit was analyzed Confirming that they are within their design context, historical data were collected from the Maximo Oil & Gas system from the years 2014-2015, the failure rate of the equipment and the HPS unit was calculated and determined. Failure according to ISO 14224-2006, with this data was developed the analysis of fault modes and their effects (AMFE) obtaining the information sheets of each of the equipment, with the application of the decision diagram RCM II, the Decision sheets, which indicate the tasks proposed to control each failure mode, the tasks are logical and feasible, finally the RCM plan for the horizontal pump unit HPS was finally obtained. With the application of the methodology it is verified that it is feasible to reduce the failure rate by obtaining an improvement from failure rate of 0.00142 to 0.0006, that is, a mean time between failures of 29 to 69 days. In view of the expected results, the immediate implementation of the proposal is recommended.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING. ENGINEERING IN MAINTENANCE. <MAINTENANCE CENTERED IN RELIABILITY (RCM).> <BLOCK 57 LIBERTADOR.> <ANALYSIS OF MODES OF FAILURE AND THEIR EFFECTS (AMFE).>, <INFORMATION SHEETS.>, <DECISION SHEETS.> <DECISION DIAGRAM RCM II.>

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

Petroamazonas EP es la mayor empresa pública ecuatoriana dedicada a la exploración y producción de hidrocarburos, opera en 21 bloques, 18 de los cuales se ubican en la Cuenca Oriente Ecuatoriana y tres en el Litoral, uno de los bloques operados es el Bloque 57 que está localizado en la región Amazónica del Ecuador en la provincia de Sucumbíos. El Bloque 57 está compuesto por los Bloques 57 Libertador y Bloque 57 Shushufindi.

El Bloque 57 Libertador geográficamente se encuentra ubicado en línea recta con Quito, al noroeste del Campo Shushufindi entre las latitudes $00^{\circ} 06' 00''$ N - $00^{\circ} 04' 00''$ S y longitudes $76^{\circ} 33' 00''$ E - $76^{\circ} 36' 30''$ O, y está conformado por los campos: Frontera, Tapi, Tetete, Shushuqui, Atacapi, Shuara, Secoya y Pichincha, la producción promedio de petróleo es de 19.000 barriles de petróleo por día (BPPD), con 110.000 barriles de agua por día.

En la Figura 1-1 se aprecia la ubicación del Bloque 57 Libertador y dentro de este el campo Atacapi en el cual se realizó la presente investigación.

Dentro de los procesos de producción de petróleo en la industria se utilizan varios métodos de levantamiento artificial, en el Bloque 57 LI se utilizan tres métodos: bombeo mecánico, bombeo electro sumergible y bombeo hidráulico.

Las presiones de fondo de los yacimientos que componen el campo Atacapi no son suficientes para promover el desplazamiento de los fluidos desde el fondo (yacimiento) hasta la superficie, por lo cual se hace necesario utilizar un método de producción óptimo que permita obtener una producción de la manera más rentable posible, las características de algunos pozos de este campo hacen que el bombeo hidráulico sea la mejor opción.

La industria petrolera ha sido para el Ecuador la base fundamental de ingresos económicos para financiar el presupuesto general del estado, es así que el país experimenta los mejores precios y por tanto los mayores ingresos entre los años 2011 y 2014, luego a partir del año 2015 el precio del petróleo disminuye, actualmente se ha estabilizado en un promedio de 45 dólares por barril.

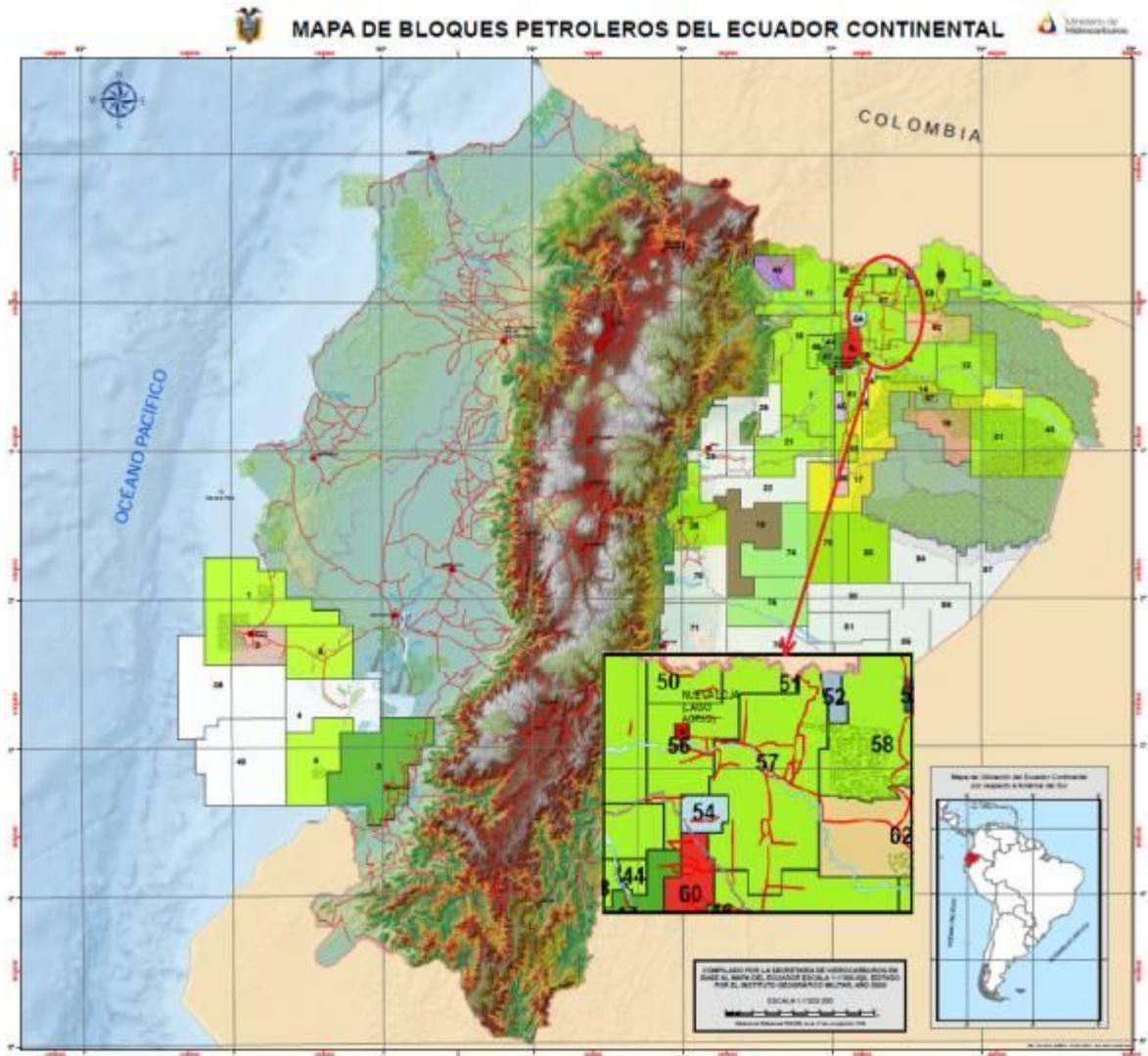


Figura 1-1: Mapa de Bloques Petroleros del Ecuador -Bloque 57 Libertador

Fuente: (Secretaría de hidrocarburos del Ecuador, 2015)

En busca de obtener la mayor producción de petróleo existen varios métodos de producción, siendo entre los más importantes el sistema de bombeo hidráulico Power Oil, donde se utilizan unidades de bombeo horizontal multietapas HPS como es el caso de la estación Atacapi.

El régimen de producción de la industria petrolera y en particular del sistema Power Oil de la estación Atacapi es que los equipos operen las 24 horas del día, pero conseguir éste estándar no es fácil, porque los equipos sometidos a estas condiciones de operación tienen mayor probabilidad de tener eventos de falla, en ciertos casos repetitivos y continuos.

Los eventos de falla comprometen la producción diaria que la empresa fijado como meta de producción, por tanto buscar alternativas para controlar y disminuir estos eventos de falla,

conseguir que los equipos - activos “*continúen haciendo lo que los usuarios quieren que haga*” es el objetivo del departamento de mantenimiento, la estrategia planteada al utilizar esta metodología, sustenta la investigación conocida dentro de la industria como Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM.

El análisis se sustenta como fuente de información datos reales de eventos de falla ocurridos en los años 2014 y 2015, adicional conceptos de literatura técnica especializada como es la norma ISO 14224-2006, modos de falla que son analizados para proponer alternativas para su control o eliminación, de tal manera poder disminuir la tasa de falla en los equipos.

El desarrollo de los capítulos para la presente investigación describe:

El Capítulo I explica el planteamiento, la formulación y sistematización del problema, basado en un análisis del árbol de problema, los objetivos son claros y concisos, la justificación e hipótesis de la investigación se encuentran enmarcadas en lo que se desea obtener.

El Capítulo II plantea el marco de referencia, es la base teórica en el que se fundamenta la investigación, se describen definiciones y conceptos básicos necesarios previamente para desarrollar la metodología planteada mantenimiento centrado en Confiabilidad (RCM), también se define el concepto para tasa de fallas, indicador que va a ser analizado y comparado con el parámetro de tasa de falla obtenido de la base de datos OREDA 2009 (Offshore Reliability data).

El Capítulo III presenta la metodología, donde explica el diseño de la investigación, la aplicación de la metodología en el desarrollo del RCM en los equipos que componen la unidad de bombeo horizontal HPS, estudia el contexto operativo, los parámetros de funcionamiento de los equipos que componen la unidad de bombeo horizontal y su análisis al identificar si están dentro del contexto para el cual fueron diseñados y adquiridos.

Al llegar al Capítulo IV ya se puede observar los resultados y la discusión respecto a la tasa de fallos, obteniendo las hojas de información de los equipos que componen la unidad de bombeo horizontal, se sustenta la efectividad de la investigación desarrollada al realizar la comprobación de la hipótesis en base a la técnica estadística paramétrica “T Student”.

Finalmente en el Capítulo V, se plantea una propuesta viable como es la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la unidad de bombeo horizontal HPS en la estación Atacapi, esto se consigue a través del desarrollo de las hojas de decisión. Se muestran las conclusiones y recomendaciones, se verifica a efectividad de la aplicación de la metodología RCM, al obtener tareas de mantenimiento que van a mitigar y /o controlar los eventos de falla imprevistos que estaban afectando al sistema y ocasionando pérdidas de producción.

Con RCM no se pretende cambiar la estructura del trabajo, ni añadir tareas que no sean factibles de cumplir, simplemente se puede evidenciar cuales son los modos de falla y los equipos de mayor incidencia, para tomar acciones proactivas, pues el objetivo final es que el activo continúe cumpliendo su función por varias años.

1.1. Planteamiento del problema.

El campo Atacapi constituye aproximadamente el 25% (5.400 BPPD) de la producción petrolera total del bloque 57 Libertador, de los cuales 796.47 BPPD corresponde a producción por el método de bombeo hidráulico.

El esquema del método de bombeo hidráulico se indica en la figura 2-1, el cual consiste de un equipo de bombeo de superficie, en este caso unidad de bombeo horizontal multietapas (HPS) la misma que transmite al fluido energía (caudal y presión), este fluido con alta presión (3800 Psi) transmite potencia a la bomba de subsuelo de los pozos llamada bomba hidráulica quien ejerce un trabajo de recuperación para retornar a la superficie con el fluido producido por el yacimiento.

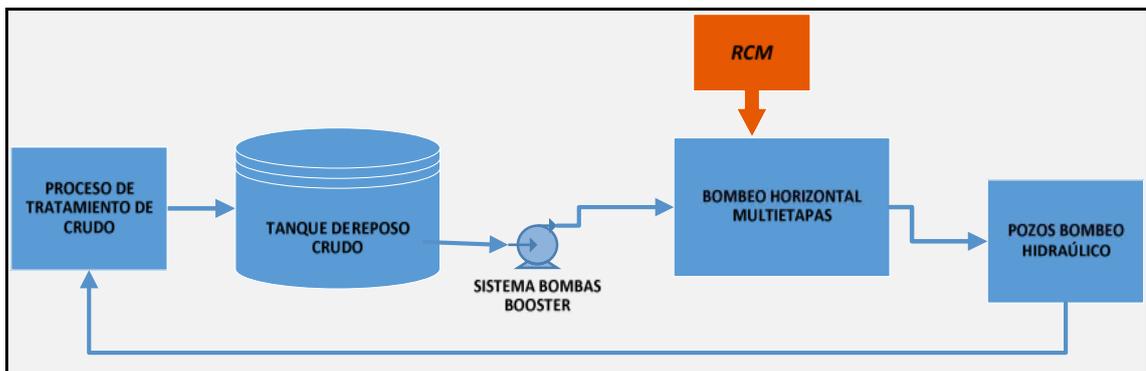


Figura 2-1: Diagrama del proceso extracción de crudo por bombeo hidráulico.

Realizado por: Castillo Vinicio, 2015.

El equipo de bombeo horizontal multietapas instalado en la estación Atacapi actualmente abastece de fluido motriz a cuatro pozos, lo que implica que al tener un evento de falla en el equipo HPS, son cuatro pozos los que dejan de producir, durante el tiempo que demore la reparación de la falla a esto se debe adicionar el tiempo que involucra el restablecimiento de las condiciones operativas, y los pozos empiecen a producir nuevamente.

El tiempo total de restablecimiento del sistema que se requiere como mínimo para que estas condiciones regresen a la normalidad son dos horas, lo que implica a la fecha actual una pérdida de producción de 66 barriles de petróleo.

El tipo de mantenimiento aplicado a los equipos del sistema HPS es preventivo; sin embargo, han ocurrido varios modos de fallas que no estaban cubiertos por este plan de mantenimiento. Esto ha ocasionado considerables pérdidas de producción debido a que en ocasiones fue necesario transportar equipos de otros Activos con la finalidad de poner en servicio el sistema de bombeo.

En la industria petrolera los equipos funcionan 24 horas al día, los 365 días del año, y la empresa está comprometida a cumplir un cupo de producción diaria que se ve reflejada en el cumplimiento de metas de producción anual. Es necesario tener en cuenta que la producción de petróleo está relacionada directamente con el presupuesto general del estado.

Siendo entonces la producción de petróleo un objetivo empresarial, el departamento de Mantenimiento alineado con los objetivos estratégicos de la empresa también debe alinearse a este objetivo y en este caso es necesario garantizar el óptimo funcionamiento de los equipos.

Identificado que las fallas de los equipos de bombeo horizontal multietapas han sido múltiples, las cuales han producido pérdidas de producción considerables, es necesario analizar los distintos modos de falla del sistema y plantear acciones que puedan evitar su recurrencia y en consecuencia pérdidas de producción por paradas imprevistas.

1.1.1. Árbol del problema

En la figura 3-1 se presenta el problema central y se observa que el plan de mantenimiento preventivo no cubre todos los modos de falla asociados a los equipos que componen la unidad de bombeo horizontal HPS del sistema Power Oil de la estación Atacapi, lo que ocasiona paradas imprevistas del sistema y pérdidas de producción asociadas. Estas paradas imprevistas han ocasionado un incremento en la tasa de fallas del sistema.

De las causas principales se tiene inexistencia o deficiencia en los planes de mantenimiento preventivo actuales, lo que ocasiona eventos inesperados que conllevan a mantenimientos correctivos, los mismos que ocasionan pérdidas de producción y económicas, por lo que el plan vigente requiere ser mejorado con base en un análisis de los modos de falla del sistema. Es

importante indicar que la capacitación a los técnicos no ha sido la adecuada por falta de centros de capacitación o formación especializada que puedan cubrir esta necesidad.

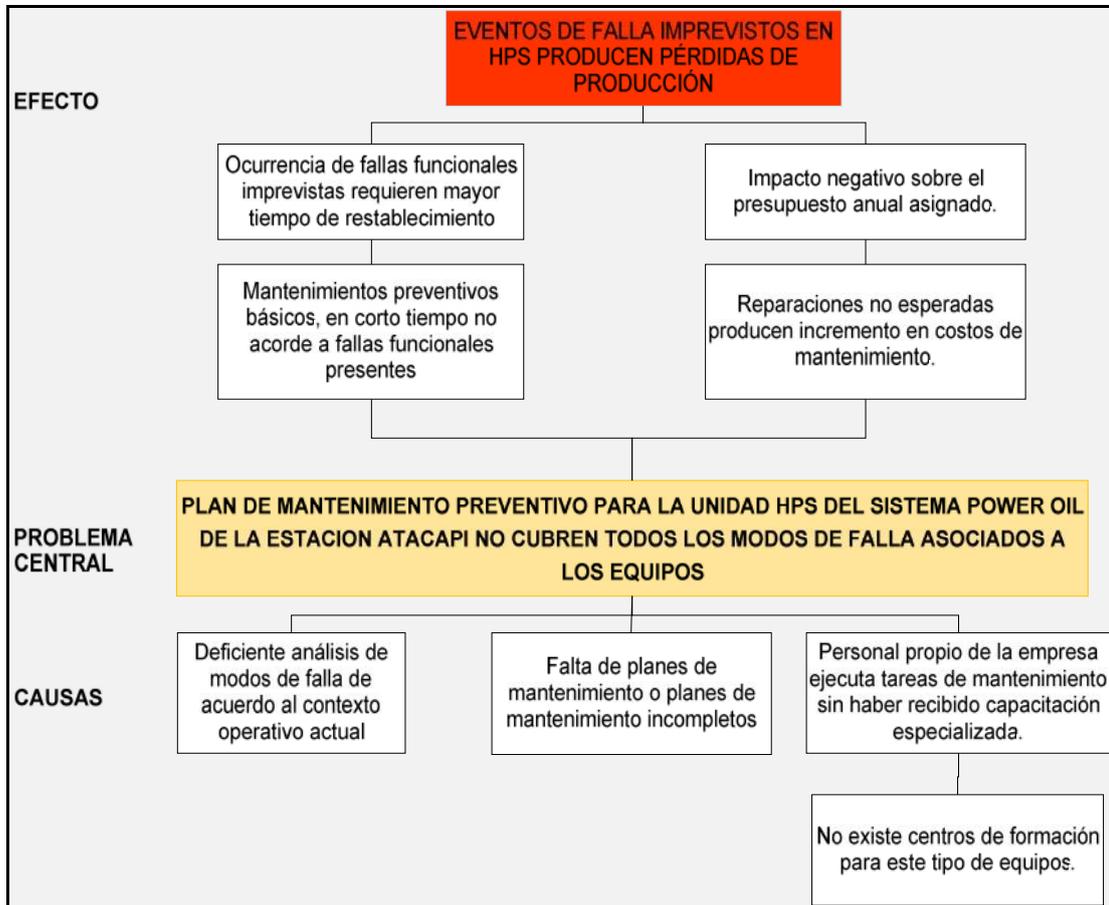


Figura 3-1: Árbol del Problema

Fuente: Castillo Vinicio, 2015.

1.1.2. Formulación del problema.

Aplicar la metodología del “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad” RCM a los equipos que componen la unidad de bombeo horizontal multietapas (HPS) para reducir en número de fallas imprevistas y reducir las pérdidas de producción de petróleo.

1.1.3. Sistematización del problema.

¿Es necesario realizar un análisis de las fallas funcionales registradas en la unidad de bombeo horizontal las cuales ha ocasionado pérdidas de producción?

¿Es necesario analizar el número de fallas del equipo?

¿Está el equipo dentro del contexto operacional bajo el cual fue diseñado y para el cual fue adquirido?

1.1.4. Objetivo de la investigación.

1.1.4.1. Objetivo general.

Proponer un plan de “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad” para la unidad de bombeo horizontal multietapas del sistema Power Oil de la Estación Atacapi del B57-LI de Petroamazonas EP, en base al análisis de los modos de falla recomendados por la norma ISO 14224-2006, varios de los cuales se han presentado en los equipos durante los años 2014 y 2015 de operación.

1.1.4.2. Objetivos específicos.

Obtener la base teórica para el desarrollo de la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad de la unidad de bombeo horizontal HPS de estación Atacapi, así como el indicador tasa de fallos.

Establecer la metodología para realizar la propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad de la unidad de bombeo horizontal, analizando el contexto operacional e histórico de fallos.

Realizar el análisis de fallas funcionales, causas y efectos que se han presentado en la unidad de bombeo horizontal, y proponer alternativas para reducir la consecuencia de estos modos de falla.

Proponer un plan de mantenimiento de acuerdo a la metodología RCM, que sea aplicable a los equipos del sistema, para lograr reducir la tasa de fallos.

1.1.5. Justificación de la investigación

Determinado que el sistema de bombeo HPS Power Oil de estación representa el 14.75 % de la producción de Campo Atacapi, se considera realizar el análisis de RCM para evitar el impacto a la producción del campo, al producirse fallas funcionales imprevistas en los equipos.

El plan de mantenimiento preventivo del sistema de bombeo horizontal multietapas, se lo ha ejecutado con normalidad. Este plan se caracteriza en realizar actividades secuenciales con una frecuencia basada en un número específico de horas de operación.

El sistema ha presentado modos de falla inesperados que han ocasionado pérdidas de producción de hasta 17 horas, lo que significa pérdidas económicas para la empresa y por ende para el estado, adicionalmente se ha incrementado los costos de logística emergente por trasladar equipos y repuestos de otros Activos, así como disponibilidad de personal técnico representante de la marca en horas de la noche, tornándose un mantenimiento reactivo costoso.

Por lo tanto se requiere realizar una propuesta de plan de mantenimiento RCM de la unidad de bombeo horizontal multietapas del sistema Power Oil de la Estación Atacapi del B57-LI de Petroamazonas EP.

Con la aplicación de RCM se analizará los distintos modos de fallo, de tal manera proponer un plan de mantenimiento minimizando sus efectos en las pérdidas de la producción de petróleo y en los costos operativos de mantenimiento, que en el contexto actual del precio del petróleo es un factor muy crítico.

Esta investigación beneficiará al departamento de Operaciones y Mantenimiento, pues al evitar pérdidas de producción atribuidas a paradas no programadas del sistema Power Oil se podrán cumplir los objetivos de producción del campo y al evitar reparaciones imprevistas de los equipos no habrá afectación al presupuesto asignado

1.1.6. Hipótesis.

1.1.6.1. Hipótesis de investigación.

Un plan de mantenimiento para la unidad de bombeo horizontal multietapas del sistema Power Oil de la Estación Atacapi, elaborado tomando como base los históricos de los eventos de falla y la aplicación del método RCM permitirá reducir la tasa de fallas.

Variable independiente:

Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad

Variable dependiente:

Tasa de fallas.

CAPITULO II

2. MARCO DE REFERENCIA.

En el presente capítulo se va a desarrollar la base teórica necesaria para la investigación “propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema Power Oil de la estación Atacapi”, las definiciones y conceptos requeridos al respecto del RCM, tasa de fallas, se explica también al respecto de OREDA, de donde se consultará los datos requeridos para obtener el indicador tasa de fallas a conseguir con la aplicación de la metodología propuesta.

2.1. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Moubray J, (2004), en su libro Mantenimiento Centrado en confiabilidad expone: “cuando los activos fallan, no solo se socava su capacidad de generar riqueza ni solo se interrumpen los servicios, sino que nuestra propia supervivencia se ve amenazada”.

Analiza que la falla de equipos ha sido una causa fundamental en los peores accidentes e incidentes ambientales de la historia industrial; incidentes que le dieron un nuevo significado a nombres como Amoco Cadiz, Chernobyl, Bhopal y Piper Alpha.

Como resultado de esto se han vuelto realmente de alta prioridad los procesos por los cuales ocurren estas fallas y lo que debe hacerse para evitarlas, especialmente a medida que se vuelve más firmemente aparente la cantidad de este tipo de fallas que son causadas por las mismas actividades que se supone deben ser prevenidas.

La primera industria en tener en cuenta esto fue la industria de la aviación civil internacional. Sobre la base de investigaciones que cambian muchas de nuestras creencias más firmes y sostenidas respecto del mantenimiento, esta industria desarrolló un marco estratégico completamente nuevo de manera que cada activo continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga. Esta metodología se conoce dentro de la industria de la aviación como MSG3, y fuera

de esta como mantenimiento centrado en confiabilidad, o RCM. (Reliability centred Maintenance).

El mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener un bajo costo.

Si es aplicado correctamente, el RCM transforma las relaciones entre los activos físicos existentes, quienes los usan y las personas que los operan y los mantienen. A la vez permite que nuevos bienes o activos sean puestos en servicio con gran efectividad, rapidez y precisión.

Los requerimientos de los usuarios van a depender de donde y como se utilice el activo (contexto operacional). Esto lleva a la siguiente definición formal de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual. (Moubray J. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. 2004, p. 7)

Sexto L. F., (2014), relaciona al RCM como una analogía con la mira telescópica de una arma, y dice que al no utilizar RCM es como disparar a ciegas, es así como el mantenimiento puede llegar a ser deficiente porque utilizo los recursos de forma inadecuada,

Mientras que al comenzar a “disparar” con un medio que permite lograr mejores blancos (RCM, por mencionar el caso) la precisión y la exactitud del disparo se hace evidente. Y los recursos se potencian al atenuar o eliminar las consecuencias del mantenimiento “de supervivencia”.

Pero aclara que, se necesita un tiempo para que el tirador (personal de mantenimiento) aprenda a utilizar su “mirilla telescópica”. Y advierte que lo que se pueda hacer o no con esa habilidad, dependerá de la “**cultura organizacional**”, de como esta concebido el sistema para que funcione, y en menor medida del tirador mismo.

2.2. Definiciones y conceptos.

Mantenimiento centrado en confiabilidad: un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, en su contexto operacional actual. (Moubray J. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. 2004, p, 7)

Función: Lo que el dueño o usuario desea que realice un activo físico o sistema, (SAE J1012, 2002, p.06).

Funciones primarias: es el porqué de la adquisición del activo

Funciones secundarias: la cual reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. (Moubray J. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. 2004, p, 8)

Capacidad Inicial: El nivel de operación que el activo físico o sistema es capaz de lograr en el momento que entra en servicio, (SAE J1012, 2002, p.06).

Cambio de especificaciones: Cualquier acción tomada para cambiar la configuración física de un activo o sistema (rediseño o modificación), cambiar el método utilizado por un operador o mantenedor para el desarrollo de una tarea específica, cambiar el contexto operacional del sistema, o cambiar la capacidad de un operador o mantenedor (entrenamiento), (SAE J1012, 2002, p.06).

Consecuencias Ambientales: Un modo de falla o falla múltiple tiene consecuencias ambientales si puede violar cualquier norma ambiental corporativa, municipal, regional, nacional o internacional, o la regulación que aplica para el activo físico o sistema en consideración, (SAE J1012, 2002, p.06).

Consecuencias de la falla: las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas, se clasifican en cuatro tipos: de fallas ocultas, ambientales y para la seguridad, operacional, y no operacional. (Moubray J. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. 2004, p, 10)

Consecuencias en la Seguridad: Un modo de falla o falla múltiple tiene consecuencias en la seguridad si puede dañar o matar a un ser humano, (SAE J1012, 2002, p.06).

Consecuencias Operacionales: Una categoría de consecuencias de falla que afecta adversamente la capacidad operacional de un activo físico o sistema (producción, calidad del producto, servicio al consumidor, capacidad militar, o costos operacionales en adición al costo de reparación), (SAE J1012, 2002, p.06).

Falla funcional: el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable, (SAE J1012, 2002, p.06).

Modo de falla: son todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla. (Moubray J. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. 2004, p, 9)

Efectos de falla: describe lo que ocurre en cada modo de falla, (SAE J1012, 2002, p.06).

Falla Oculta: Un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado, (SAE J1012, 2002, p.06).

Falla Potencial: Una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está en proceso de ocurrir, (SAE J1012, 2002, p.06).

Contexto Operacional: Las circunstancias bajo las cuales se espera que opere el activo físico o sistema, (SAE J1012, 2002, p.06).

Intervalo P-F: El intervalo entre el punto en que una falla potencial se hace detectable y el punto en que esta se degrada hasta una falla funcional (también conocido como “período para el desarrollo de falla” o “tiempo esperado para la falla”), (SAE J1012, 2002, p.06).

2.3. RCM: Las siete preguntas básicas.

Tanto Moubray, (2004), como Sexto L. F., (2014), explican que el proceso de RCM formula siete preguntas básicas acerca del activo o sistema y como es su contexto operacional, es así como estas preguntas son la clave para poder iniciar un análisis RCM.

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional (funciones)?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional (modos de falla)?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de las fallas)?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla (consecuencias de la las fallas)?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla (intervalos de tareas y tareas proactivas)?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada (acciones por defecto)?

2.3.1. Funciones

Moubray, (2004), explica que la definición de las funciones de un activo debe consistir de un verbo, un objeto y un estándar de funcionamiento deseado por el usuario. (p.23)

SAE JA1011, (1999), el contexto operacional del activo debe ser definido, y todas las funciones de los activos deben ser identificadas. Las funciones se dividen en dos categorías principales: funciones primarias y secundarias. (p.6)

2.3.1.1. Funciones primarias

Moubray, (2004), son la razón principal de porque es adquirido y existe el activo físico, por eso se debe definir las tan precisamente como sea posible. Las funciones primarias son fáciles de reconocer, el nombre de la mayoría de los activos físicos industriales se basa en su función primaria. (p.37)

2.3.1.2. Funciones secundarias

Moubray, (2004), explica que la mayoría de los activos cumplan una o más funciones además de la primaria, las cuales se conocen como funciones secundarias.

La función o funciones secundarias son menos obvias que la principal, pero a veces requieren mayor atención y las consecuencias de falla de estas pueden ser de mayor gravedad que las primarias, por lo que deben ser claramente identificadas. (p.39, 40)

Sexto, (2014) En la figura 1-2 ilustra los conceptos de funciones primarias y funciones secundarias. (p8).

Las funciones
FUNCIONES PRIMARIAS:
Resumen la causa por la cual se adquiere el activo
FUNCIONES SECUNDARIAS:
Satisfacen expectativas adicionales a las que se cumplen con la función principal

Figura 1-2: Las funciones primarias y secundarias.

Fuente: Sexto L. (2014), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, (p.8)

2.3.1.3. Estándar de Funcionamiento

Moubray, (2004), El objetivo del mantenimiento es asegurarse de que los activos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, lo que puede definirse como estándar mínimo de funcionamiento. Cuando cualquier activo físico entra en funcionamiento debe ser capaz de rendir más que el mínimo funcionamiento deseado, con la finalidad de que cubra el deterioro producto de su funcionamiento por un período de tiempo determinado. (p.23, 24).

En la figura 2-2 se indica gráficamente como se debe prever esperar un margen de deterioro.



Figura 2-1: Margen de deterioro.

Fuente: Moubray. (2004), *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II*, (p.24)

Esto significa que el funcionamiento puede ser definido de las siguientes dos formas:

Funcionamiento deseado: lo que el usuario quiere que haga, desempeño

Capacidad inicial: lo que puede hacer, capacidad propia

Moubray, (2004) Los estándares de funcionamiento los podemos subdividir en diferentes categorías:

Estándares de funcionamiento múltiple: muchas descripciones de funciones incorporan generalmente varios estándares de funcionamiento.

Estándares de funcionamiento cuantitativos: Deben ser cuantificados cuando fuese posible, ya que éstos pueden medirse y en función del cual se puede definir cuando el ítem falló. (Ej.: temperatura, presión, velocidad).

Estándares de funcionamiento absolutos: Una descripción de función que no indica ningún estándar de funcionamiento, por lo general implica que se trata de un absoluto. (p.26 - 28)

2.3.1.4. El contexto operacional

Moubray, (2004) Explica que las condiciones de operación del activo afecta a todo el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de funciones primarias y secundarias. (p.29, 30,31).

Algunos de los factores importantes que deben ser considerados son los tipos de proceso:

Proceso por lotes y continuos: una estrategia de mantenimiento aplicada a un activo que forma parte de un proceso continuo puede ser completamente diferente a un activo idéntico que esté trabajando en un proceso por lotes, ya que principalmente las consecuencias de las fallas va a ser diferente en cada uno de los sistemas.

Redundancia: característica del contexto operacional a ser considerada cuando se definen las funciones del activo. A pesar de tener activos idénticos los requerimientos de mantenimiento son diferentes.

Estándar de calidad: estándares de calidad y de servicio pueden dar descripciones diferentes de funciones de máquinas, que de otra manera serían idénticas.

Estándares medio ambientales: cada vez es más importante el impacto del activo en el medio ambiente. Cuando se mantiene un activo se debe satisfacer dos tipos de usuarios, el primero quiere operar el activo y la sociedad que quiere que tanto el activo como el proceso no cause ningún daño al medio ambiente.

Riesgos a la seguridad: las organizaciones crecientemente se adhieren a estándares formales respecto a niveles de riesgo aceptables.

Turnos de trabajo: algunas plantas operan ocho horas al día los cinco días de la semana, otras las veinticuatro horas del día los siete días de la semana, la producción que se pierde por eventos de falla es diferente, en el primer caso se podrá recuperar con horas extras, en el segundo caso son pérdidas no recuperables. Las estrategias de mantenimiento que deben formularse son diferentes.

Productos en proceso: desde el punto de vista de mantenimiento se debe lograr un equilibrio entre las consecuencias económicas de las fallas operacionales y el costo de mantener trabajo en proceso para mitigar los efectos, así también como el costo de mantenimiento proactivo para prevenir dicha fallas.

Tiempo de reparación: está determinado por el sistema de reportes de fallas, por el nivel del personal y la velocidad de reparación de las mismas.

Otros factores que deben tomarse en cuenta son: repuestos, demanda de mercado, abastecimiento de materias primas y documentación del contexto operacional.

2.3.2. Fallas funcionales

Moubray, (2004) define una “falla” como el estado de incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga, concepto aplicado a un activo como un todo. Esta definición requiere se amplíe tomando en cuenta el estado de falla (falla funcional) y los eventos que causan este estado de falla (modos de falla). Adicional cada activo tiene más de una función, y por lo general cada función tiene más de un estándar de funcionamiento deseado. (p.49)

Cada activo tiene más de una función, por lo tanto al ser posible que cada una de éstas falle, se deduce que cualquier activo puede tener una variedad de estados de fallas diferentes. Entonces es preciso definir una falla en términos de “pérdida de una función específica” y no con la “falla del activo como un todo”. Dado que este se aplica a funciones individuales, podemos definir una falla funcional como: “*la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario*” (Moubray J. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. 2004, p, 50)

Moubray, (2004) explica que las fallas funcionales deben ser exploradas desde los siguientes aspectos: falla total y parcial, límites superiores e inferiores, instrumentos de medición e indicadores, el contexto operacional. (p.50)

2.3.3. Modos de falla

Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional. (Moubray J. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. 2004, p, 56)

Moubray, (2004) explica que la descripción de un modo de falla como mínimo debe consistir de un sustantivo y un verbo. (p.57)

Moubray, (2004) explica que si se plantea realizar verdaderamente un mantenimiento proactivo a los activos, se debe conocer por adelantado que eventos de falla pueden ocurrir (modos de falla), una vez identificados los modos de falla es posible evaluar que sucede cuando ocurren,

avaliar consecuencias y decidir acciones, como anticipar, prever, corregir o hasta rediseñar. (p, 58)

SAE JA1012, (2002) explica que se identificarán todos los modos de falla que sean causa razonablemente probable de cada falla funcional, a un nivel que sea posible identificar una política apropiada de gestión de la falla. (p, 14)

Moubray, (2004) indica que los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera:

Capacidad decreciente: la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado, las principales causas son deterioro, fallas de lubricación, polvo o suciedad, desarme y errores humanos que reducen la capacidad

Aumento del funcionamiento deseado: cuando el funcionamiento deseado se eleva por encima de la capacidad inicial, esto hace que el activo físico no pueda responder el requerimiento, o que se acelere el deterioro y el activo se torne poco confiable. Esto puede ocurrir por: una sobrecarga deliberada constante, una sobrecarga no intencional constante, una sobrecarga no intencional repentina o por procesamiento o material de empaque incorrecto

Capacidad Inicial: cuando desde el comienzo el activo no es capaz de hacer lo que se quiere, este problema usualmente afecta a una o dos funciones de uno o dos de sus componentes, lo cual afecta a la operación total. (p. 61-67)

2.3.4. Efectos de la falla

Sexto L, (2014). Explica que al describir los efectos de una falla debe hacerse constar lo que sucede cuando ocurre un modo de falla es así como presenta un resumen de la figura 3-2:

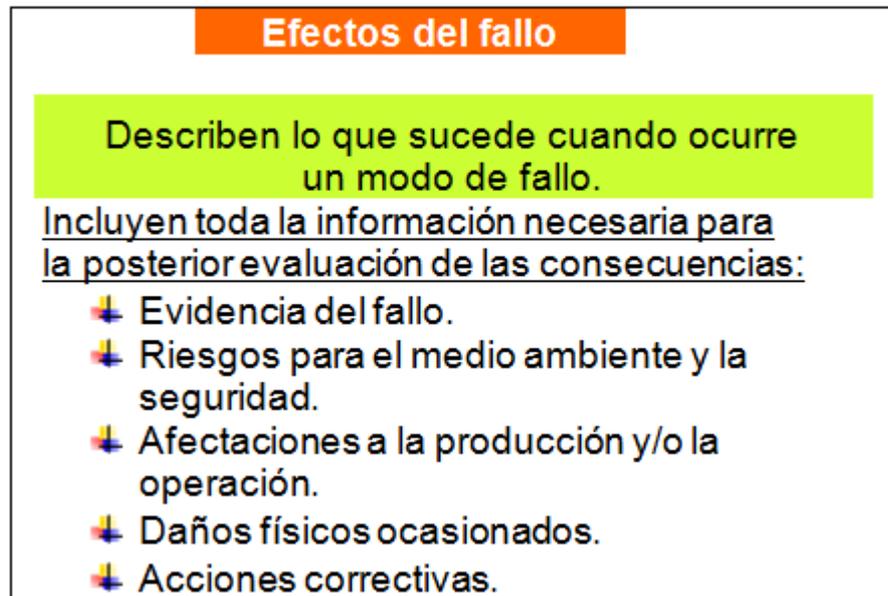


Figura 3-2: Efectos del fallo

Fuente: Sexto L. (2014), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, (p9)

Moubray, (2004) explica que los efectos de la falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla, dentro de la descripción de estos efectos se debe incluir la información necesaria para la evaluación de las consecuencias de las fallas. Efecto de falla es diferente de consecuencia de falla, el efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, consecuencia de falla responde a ¿Qué importancia tiene? (p. 76-77)

2.3.4.1. Fuentes de información acerca de modos de falla.

Moubray, (2004) explica que se debe dar énfasis tanto a lo que podría ocurrir como a lo que ha ocurrido, las fuentes de información más frecuentes son: el fabricante o proveedor del equipo y las personas que operan y mantienen el equipo. (p. 83-84)

De acuerdo con la norma ISO 14224, (2006), “Industrias de petróleo y gas natural.-Recolección e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos” es importante crear una cultura de estandarización para poder compartir con otras organizaciones del mismo tipo los datos de fallo de equipos.

ISO 14224, (2006), en su introducción recomienda tener una clara comprensión del contexto operativo y recuerda que es necesario disponer de varios años de operación para acumular suficientes datos y conseguir análisis confiables que aporten en las decisiones de la empresa.

Proporciona una amplia base para la recolección de datos de fiabilidad y mantenimiento en un formato estándar en todas las operaciones e instalaciones dentro del sector petrolero, donde describe términos y definiciones los cuales se constituyen como un “lenguaje de fiabilidad” que pueda ser útil para comunicar la experiencia operacional.

Los modos de falla que ISO 14224, (2006), presenta en su parte normativa se puede utilizar como un “diccionario de sinónimos de fiabilidad” tanto para aplicaciones cualitativas como cuantitativas aplicable en cualquier etapa del ciclo de vida de un activo incluyendo la instalación, puesta en marcha, operación, mantenimiento y modificación.

De sus páginas 120-130 se obtiene el resumen de modos de falla y tipo de equipo presentado en el anexo F para la unidad HPS.

2.3.5. Consecuencias de la falla

Moubray, (2004) explica que si las consecuencias de una fallas son serias, se harán esfuerzos para evitar, eliminar o minimizar las mismas, sobre todo si la falla puede herir o matar una persona, o si tiene efectos serios sobre el medio ambiente. Aplica también si las fallas afectan la producción, las operaciones o si tienen daños secundarios significativos. (p. 95).

Además explica que se debe decidir si merece la pena realizar algún tipo de tarea proactiva considerando los criterios utilizados para evaluar las consecuencias de la falla. (p. 96).

Sexto L, (2014), menciona que las consecuencias del fallo pueden dividirse de la siguiente manera:

- ✓ Consecuencias de los fallos ocultos.
- ✓ Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente
- ✓ Consecuencias operacionales

- ✓ Consecuencias no operacionales.

2.4. Hoja de información.

Moubray , (2004) presenta en la Tabla 1-2 la Matriz “Análisis de modos de falla y sus efectos AMFE”, la misma que se obtiene de la investigación y determinación de funciones, falla funcional para cada función, modos de falla relacionados con las fallas funcionales, se determina los efectos de la falla.

Los efectos de la falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla; es decir se trata de realizar un análisis completo de la forma de trabajo, la característica de trabajo y sobre todo que va a pasar cuando un activo falle así como establecer un análisis de como poder evitar este fallo y si sucede cual será el plan de acción para minimizar la consecuencia (p. 93)

Tabla 1-2: Hoja de información RCM.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II	SISTEMA:		SISTEMA N°:	FECHA:	HOJA N°
	UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL HPS		ATP-BPO	07-jun	1
	SUBSISTEMA:		SUB SISTEMA N°:	FACILITADOR:	DE
	MOTOR ELÉCTRICO		ATP-BPO-SBPO	Castillo V.	1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CÓDIGO NORMA ISO 14224	EFECTO DE LA FALLA	

Fuente: Moubray J. (2004)

Realizado por: Castillo Vinicio, 2016

2.5. Hoja de decisión.

Se procede a la evaluación de consecuencias de cada modo de fallo. Para ello se emplea el diagrama de decisión, (Tabla 2-3) que reflejará adecuadamente la respuesta a la pregunta número cinco del proceso RCM.

En esta hoja de decisión permite asentar las preguntas formuladas en el Diagrama de Decisión, y en función de las respuestas se obtendrá:

- Que mantenimiento de rutina si lo hay, con qué frecuencia será realizado y con quien lo hará.
- Que fallas son lo suficientemente serías como para justificar el rediseño.
- Casos en los cuales se opta por tomar la estrategia de trabaja hasta el fallo.

Tabla 2-1: Hoja de decisión RCM II

HOJA DE DECISIÓN RCM II			SISTEMA: UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL HPS				SISTEMA N°: ATP-BPO	FECHA: 07-jun	HOJA N° 1				
			SUBSISTEMA: CÁMARA DE EMPUJE				SUB SISTEMA N°: ATP-BPO-SBPO	FACILITADO R: Castillo V.	DE 1				
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				ACCIÓN A FALTA DE	TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR			
F	FF	FM	H	S	E	O					H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3

Fuente: Moubrey J. (2004)

Realizado por: Castillo Vinicio, 2016

Tabla 3-2: Diagrama de decisión RCM II.

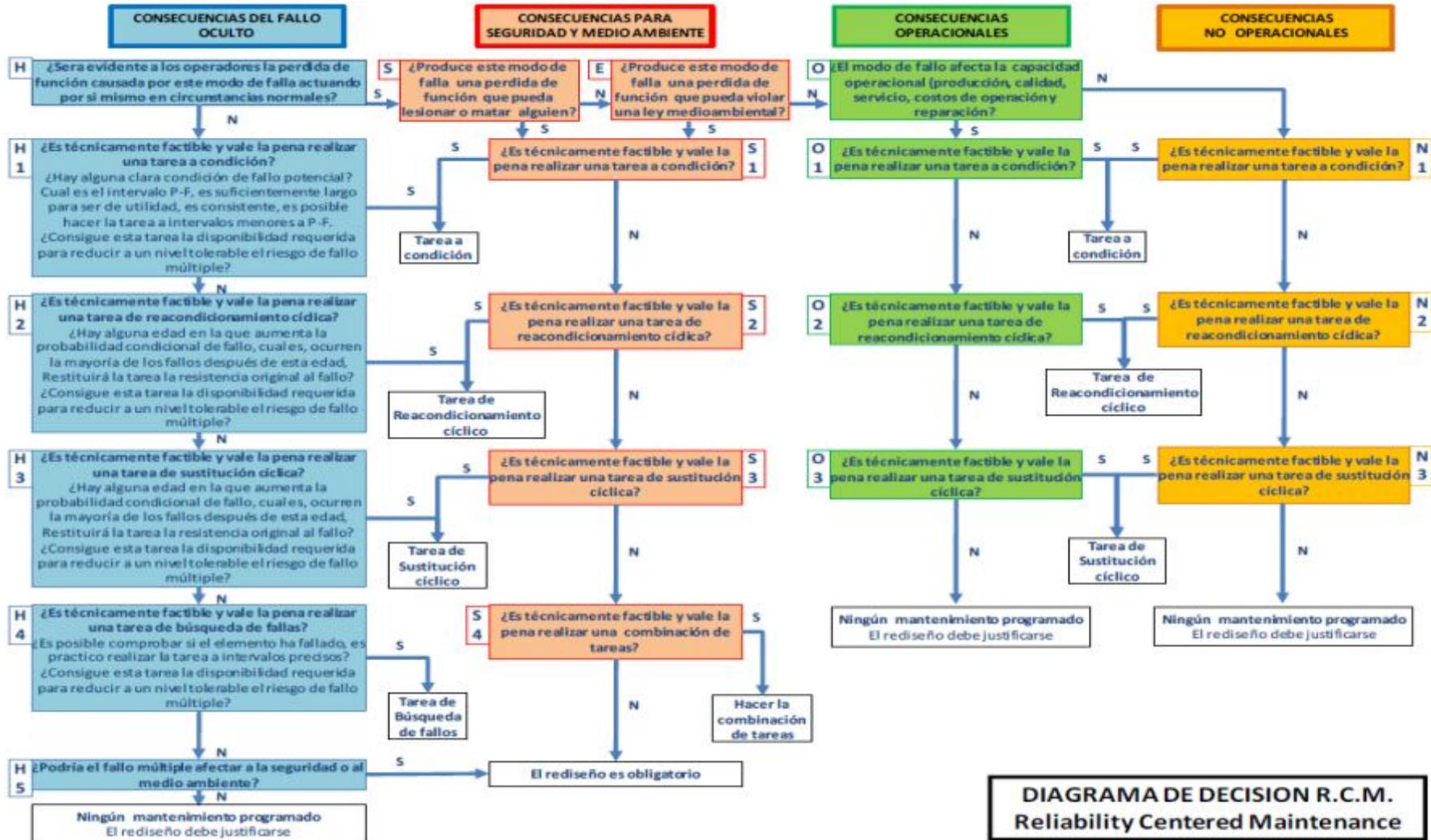


DIAGRAMA DE DECISION R.C.M. Reliability Centered Maintenance

Fuente: Moubray J. (2002)

2.6. Grupo de análisis RCM.

Moubray, (2004) explica que el grupo de revisión RCM en la práctica no deben completarse exactamente con el mismo personal que indica la figura 4-2, el objetivo es conformar un grupo que pueda proveer la mayor parte de la información requerida. Son las personas que tienen el conocimiento más amplio y una experiencia mayor en la operación del activo y sobre los procesos que forma parte. (p. 270)



Figura 4-2: Grupo de trabajo RCM.

Fuente: Sexto L. (2014), *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, (p35)

Para el caso de estudio tomando en cuenta los activos en estudio y tomando los cargos que existen dentro del organigrama actual de Petroamazonas EP y del departamento de mantenimiento del Bloque 57 Libertador, el grupo de análisis está conformado de la siguiente manera: Ingeniero de Confiabilidad, Supervisor Mecánico, Supervisor Eléctrico-Instrumentación, Supervisor u Operador del sistema Power Oil.

Facilitador: Ingeniero de Confiabilidad, su función primaria es ayudar a aplicar la filosofía RCM haciendo preguntas, asegurando que el grupo llegue a un consenso de respuestas y registrando las mismas. En la figura 5-2 se puede observar el grupo de análisis RCM planteado para Bloque 57 Li.

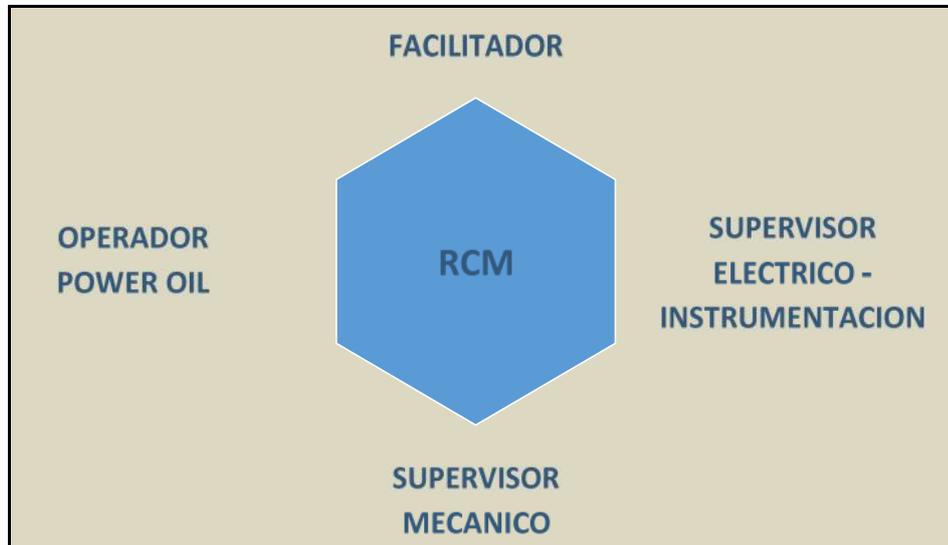


Figura 5-2: Grupo de trabajo RCM B57 Libertador.

Fuente: Trabajo de campo, 2016

Supervisor Eléctrico - Instrumentación, Su función es aportar con la experiencia y el conocimiento técnico sobre los motores eléctricos, variadores y transformadores. Es la parte técnica encargada de proporcionar la energía eléctrica, la instrumentación y el control.

Supervisor Mecánico, Su función es tener el control total del equipo, coordina las actividades de mantenimiento entre las distintas disciplinas, del departamento de Mantenimiento y Operaciones. Es la supervisión encargada de administrar el contrato la empresa prestadora de servicios especializados para la reparación de las unidades.

Supervisor u Operador Power Oil, Su función es aportar todo el conocimiento operativo de la unidad, de acuerdo al contexto operacional diario. Monitorea las variables físicas como vibraciones, temperaturas, presiones, flujo, es decir el contexto operativo de las unidades, reporta eventos no deseados y su reporte es de suma importancia para identificar correctamente los modos de fallo.

2.7. Tasa de fallas

Sexto L. (2015), indica según la ecuación 1-2 que la tasa de fallos se obtiene de la relación matemática del número de fallas dividido para el período de análisis. Este valor se define como un indicador

Ecuación 1-2

$$\lambda = \frac{Tf}{Tp}$$

En donde:

λ : tasa de fallos (fallos/horas)

Tf: número de fallos totales en el periodo de análisis

Tp: periodo analizado

Sexto L. (2015), también, explica según la figura 6-2 cómo se obtiene la tasas de fallos y su equivalencia con el tiempo medio entre fallas

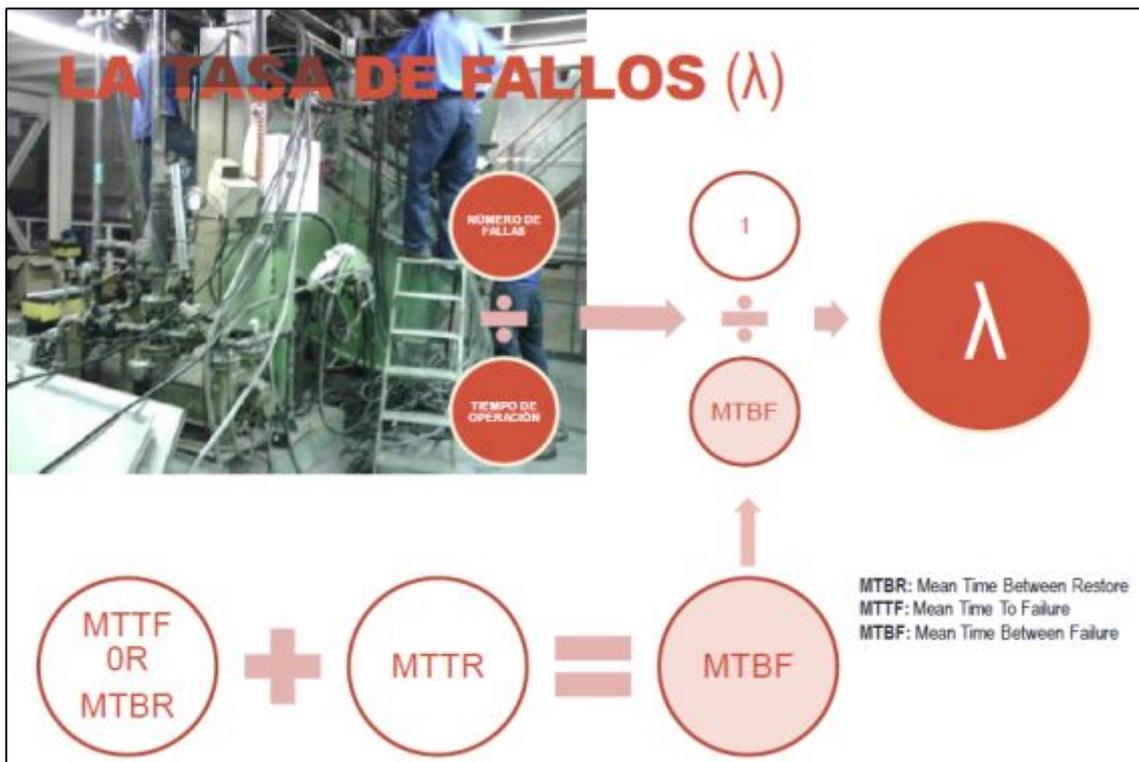


Figura 6-2: Tasa de fallos.

Fuente: Sexto L. (2015), *Modulo ingeniería de la Fiabilidad*, (p12)

2.8. Offshore Reliability Data (OREDA)

Es un proyecto patrocinado por ocho compañías de petróleo y gas con operaciones en todo el mundo. El propósito principal de OREDA es recolectar e intercambiar datos de confiabilidad entre las empresas participantes y actuar como coordinador y gestor en la gestión de coleccionar datos de fiabilidad dentro de la industria de petróleo y gas.

OREDA ha establecido una base de datos completa de fiabilidad y mantenimiento para la exploración y equipo de producción a partir de una gran variedad de áreas geográficas y contextos operativos, La base de datos OREDA está disponible para las empresas miembros y contratistas que trabajan en su nombre.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA EN EL DESARROLLO DEL RCM

3.1. Diseño de la investigación.

La presente investigación se desarrolla siguiendo la lógica de la figura 1-3, que tiene como fundamento teórico esencial la metodología del RCM, en la cual se describe la secuencia de etapas a desarrollar, y de cada una de las etapas los resultados que se obtienen, hasta llegar a presentar la propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad de la unidad power oil de estación Atacapi.

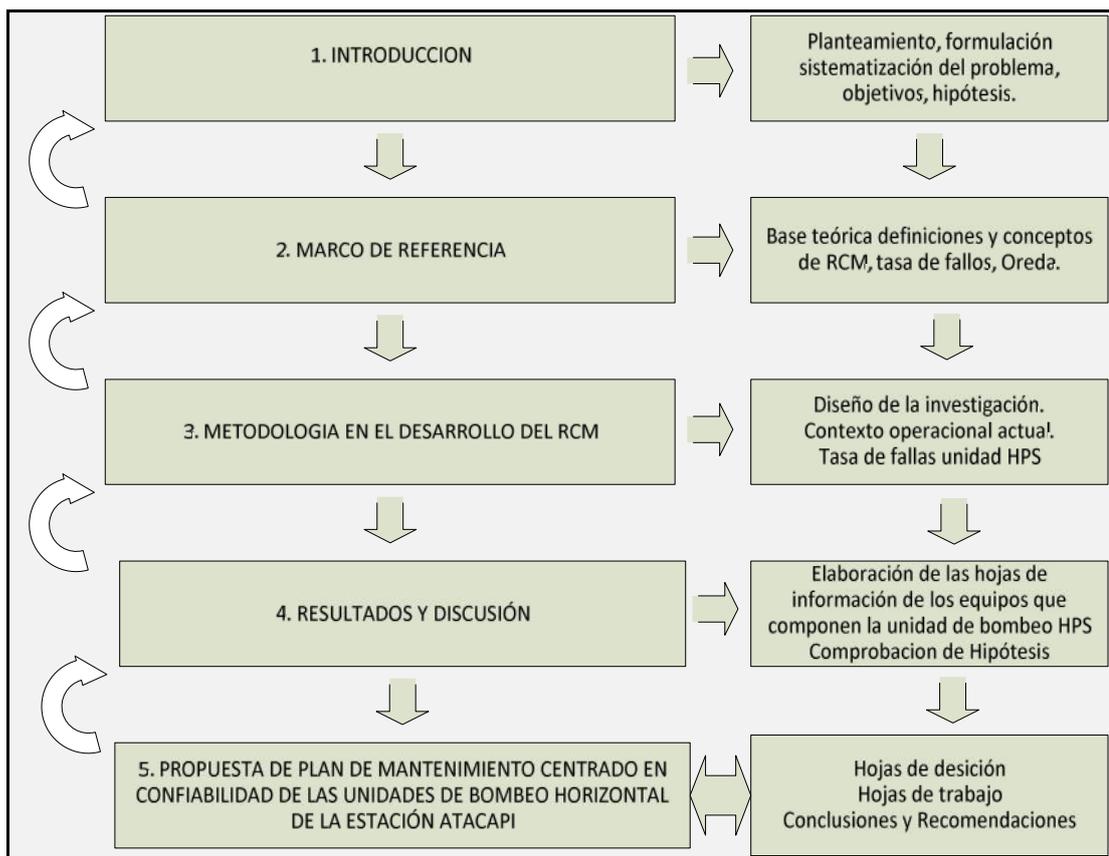


Figura 1-3: Diagrama de etapas propuesta RCM unidad Power oil de estación Atacapi

Realizado por: Castillo Vinicio, 2016

Las etapas 1 y 2 se desarrollaron en los capítulos 1 y 2, obteniendo los resultados previstos.

En el presente capítulo se desarrolla la etapa 3, se presenta el diagrama de etapas a seguir en el desarrollo de la metodología del RCM, se plantean etapas que deben irse desarrollando y los resultados que deben obtenerse de cada una de ellas hasta obtener el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, llegando a desarrollar el contexto operacional actual y la tasa de fallos de la unidad de bombeo horizontal HPS.

Las etapas 4 y 5 de la figura 1-3 se desarrollarán en los capítulos 4 y 5 respectivamente.

3.1.1. Métodos de investigación empleados.

3.1.1.1. Métodos teóricos generales

Sistémico: Se emplea para analizar el objeto de estudio, en este caso se analizará el sistema Power Oil en su contexto operacional actual y cada uno de sus componentes, así como las relaciones sus fallas funcionales y los efectos de las mismas. Este tipo de método se lo aplica como base para el mejoramiento continuo.

Analítico - sintético: Se examinará detalladamente fallas funcionales de cada uno de sus equipos componentes, sus causas, los efectos y las consecuencias operacionales, de cada uno de los subsistemas que componen la unidad de bombeo horizontal HPS del sistema Power Oil, con el objetivo de establecer las tareas de mantenimiento para reducir la tasa de fallas en los equipos, y consecuentemente las pérdidas de producción.

Histórico - Lógico: De la base de datos disponible en el sistema de gestión Máximo para Oil&Gas que se utiliza en la empresa, se obtendrán modos de fallo históricos, los cuales son una fuente de información importante para análisis y propuestas de planes de mantenimiento

Método estadístico: Los modos de falla serán analizados y de los cuales se obtendrá la tasa de fallos, se valorará que equipo tiene la mayor tasa de fallas, que modo de falla es el más recurrente, y que modo de falla es el que mayor afectación tiene a la producción.

3.1.1.2. Métodos particulares de mantenimiento

Mantenimiento preventivo: tareas de mantenimiento planificadas en programas, en base a horas de operación de los equipos, o en base a tiempo calendario.

Mantenimiento centrado en confiabilidad: se determina que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico, equipo, continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, operando en su contexto operacional actual.

3.1.2. Técnicas e instrumentos para la recolección de información

Para realizar el RCM de las unidades Power Oil de la estación Atacapi, es necesario desarrollar las siete preguntas básicas del RCM indicadas en el ítem 2.3. Con respecto a los modos de falla sus causas y efectos se empleará la técnica de revisión selectiva de la base de datos disponible en el sistema de gestión Máximo para Oil & Gas.

Otra técnica importante es el análisis documental, ya que permitirá recolectar datos de normas, catálogos y manuales de las máquinas y equipos, información que aportará significativamente para el estudio del contexto operativo y la propuesta de mejorar la planificación de tareas de mantenimiento en los equipos.

3.1.3. Adquisición de datos históricos del sistema Máximo para Oil & Gas.

Se analizan los datos históricos de las fallas funcionales que se tiene registrado en la base de datos del software de gestión de mantenimiento Máximo Oil and Gas, para complementar la investigación se verificara que este seleccionado de forma correcta los códigos de los modos de falla estandarizados de la norma ISO 14224-2006.

Los datos de mayor importancia registrados en las órdenes de trabajo tipo correctiva son:

- Número de orden de trabajo, (WONUM)

- Descripción, (DESCRIPTION)
- Identificación, (TAG)
- Lugar de trabajo (LOCATION)
- Tiempo de reparación (TIME REP h)
- Codificación del modo de falla según ISO 14224-2006 (CODE ISO 14224)
- Descripción de la falla (DESCRIPTION FAILURE)
- Año de la falla (YEAR)
- Fecha de la falla (START)

Estas órdenes de trabajo están registradas en función del tipo de mantenimiento CME (Mantenimiento correctivo de emergencia) que se realiza al activo, para realizar correctamente el estudio del RCM se requiere que la información que la información sea veraz y que este clasificada activo al cual corresponde.

3.2. Contexto operacional actual.

3.2.1. Descripción del proceso general

El proceso de bombeo hidráulico o Power Oil se ilustra en la figura 2-3, el sistema inicia su ciclo tomando crudo tratado (crudo limpio de menos del 1% de sedimentos y agua llamado BSW) del tanque de reposo de la estación, las bombas Booster o alimentadoras son las encargadas de suministrar el crudo hasta la unidad de bombeo horizontal HPS, la cual transmite energía de alta presión al fluido para enviarlo a cada uno de los pozos productores donde las bombas hidráulicas en el fondo del yacimiento utilizan el fluido a alta presión para recuperar o producir crudo desde la formación hacia la estación.

El fluido de producción de los pozos hidráulicos que ingresa en la estación al colector o manifold (juego de válvulas), donde se mezcla con los fluidos producidos de los otros pozos generalmente de bombeo electro sumergibles.

Esta composición total de fluidos pasa a través de la planta de procesos, que consiste en separadores bifásicos “fluido líquido-gas”, el gas es direccionado hacia el mechero donde es

quemado y el fluido líquido pasa a la bota de gas para extraer el remanente de gas que no se haya separado

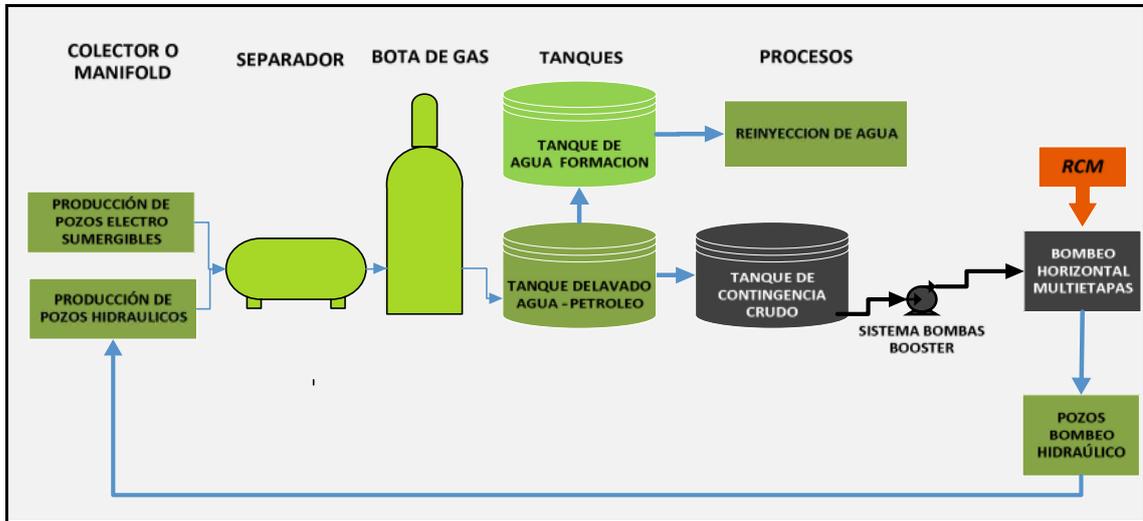


Figura 2-3: Diagrama de procesos extracción de petróleo, selección de equipo RCM

Realizado por: Castillo Vinicio, 2016

Posterior a ello el fluido se descarga en el tanque de lavado, donde gracias a la diferencia de densidades (el agua es más densa que el petróleo) se produce la separación de agua de formación y crudo, el agua de formación es direccionada al proceso de reinyección de agua y a su vez es inyectada o reinyectada en pozos destinados para este fin, mientras que el crudo limpio pasa al tanque de Reposo, de donde el fluido se exporta a través de las bombas de transferencia y unidades de medición y custodia llamadas LACT y parte del petróleo se reutiliza para el proceso de producción Power Oil.

3.2.1.1. Tanque de reposo de crudo

El fluido crudo requerido para alimentar el sistema Power Oil, debe ser un crudo limpio con bajo BSW, se utiliza el crudo del tanque de reposo T-0648 en el cual el BSW es menor al 1%.

El tanque de almacenamiento no se encuentra dentro del análisis RCM a efectuar, por cuanto por ser un equipo estático está dentro del contexto apropiado para un análisis RBI, Inspección bajo riesgo que aplica para elementos estáticos.

Sin embargo los requerimientos para el sistema es que proporcione un crudo limpio el que se almacena en este tanque, y su función es retener los sólidos, los cuales se van sedimentando en el fondo, pero con el paso del tiempo se ha identificado que al momento se tiene sedimentos acumulados hasta una altura de 4 pies, mientras que la tubería de succión de crudo para el sistema Power Oil se encuentra a 6 pies.

En la Tabla 1-3 se presenta las especificaciones del tanque de reposo o almacenamiento.

Tabla1-3 Especificaciones de tanque de reposo T-0648

TANQUE DE REPOSO	
Locación:	Estación Atacapi
TAG:	T-648
Especificaciones Constructivas	
Material:	A-36
Diámetro nominal (mm)	16764
Altura nominal (mm)	7515
Capacidad nominal (BBL)	10000
Capacidad Operativa (BBL)	9100

Realizado por: Vinicio Castillo, 2016

En el Anexo A se observa la termografía realizada por el área de Confiabilidad del departamento de Mantenimiento Libertador donde se puede observar la acumulación de sedimentos en el tanque.

3.2.1.2. Bombas Booster

La función es suministrar crudo a un caudal de 7074 BPPD y una presión mínima de 100 psi desde el tanque de Reposo hacia la unidad HPS, para que esta a su vez inyecte el fluido motriz a los pozos Atacapi 14/16/17/20, que pertenecen al sistema de bombeo hidráulico.

El fluido suministrado a las bombas Booster es por gravedad desde el tanque de reposo, es decir con la presión de la columna hidrostática del tanque (5 psi aproximadamente).

Existen dos bombas Booster instaladas accionadas con motor eléctrico, las características técnicas de los equipos consta en la Tabla 2-3, la filosofía de operación es 1 de 2 (1 opera y otro respaldo), cada semana se realiza el cambio unidad. El punto de operación nominal es de 20.571 barriles por

día, con una presión de descarga de 170 psi. Las bombas Booster deben garantizar el flujo constante hacia las bombas HPS, cumpliendo los parámetros operacionales de presión y flujo.

La filosofía de operación del sistema Booster, reduce el riesgo de fallas e incrementa la confiabilidad, las tareas de mantenimiento preventivo se desarrollan con normalidad. Las especificaciones técnicas de las bombas Booster se presenta en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Bombas Booster sistema Power Oil.

BOMBAS BOOSTER SISTEMA POWER OIL			
Bomba centrífuga		Motor eléctrico	
MARCA:	Durco (flowserve)	MARCA:	TECO EXPLOSION PROOF
Modelo:	2K 4X3-13FV/ Impeler 10"	TAG Motor # 1	MEL-0635
TAG Bomba # 1	PCF-0109	TAG Motor # 2	MEL-0471
TAG Bomba # 2	PCF-0275	VOLTAGE:	230/460V
		AMP:	225/112A
		POTENCIA:	100 HP
		VELOCIDAD	3550 rpm
		TEFC:	405TS
		INS:	F
		FREQUENCY:	60 HZ
		NEMA DESIGN:	B

Realizado por: Vinicio Castillo, 2015

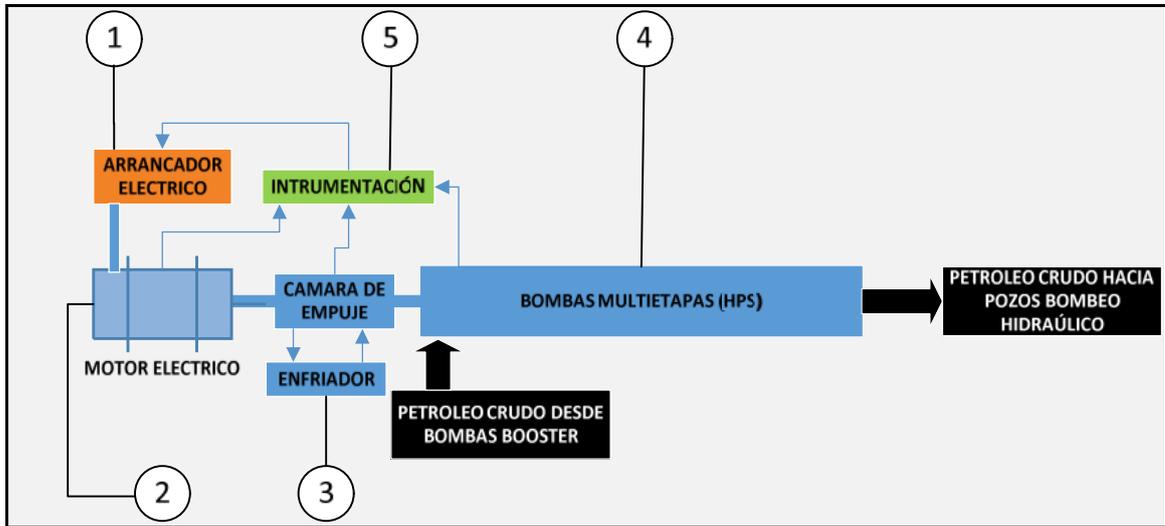
La instrumentación asociada al sistema Booster consta de:

- Un switch de baja presión de succión, de las bombas existentes PSSL, el cual está configurado 0.5 psi y activa la alarma PALL para que detenga la bomba, enviando señales al panel de control PLC-ATP01.
- Un switch de bajo flujo FSLL, instalado en la tubería de descarga de las bombas Booster, el cual detiene la bomba y activa una alarma FALL cuando el flujo esté por debajo de 1.500 BPPD.

Dentro del sistema de bombas Booster son de importancia los elementos filtrantes que se encuentran instalados en la succión de las bombas, su función es retener todo tipo de elementos extraños o partículas sólidas del crudo, evitando el deterioro, desgaste o rotura de impulsores de las bombas Booster y de la bomba HPS, incluso puede evitar el taponamiento de las bombas hidráulicas de producción de petróleo de los pozos.

4. Bomba HPS y sello mecánico.

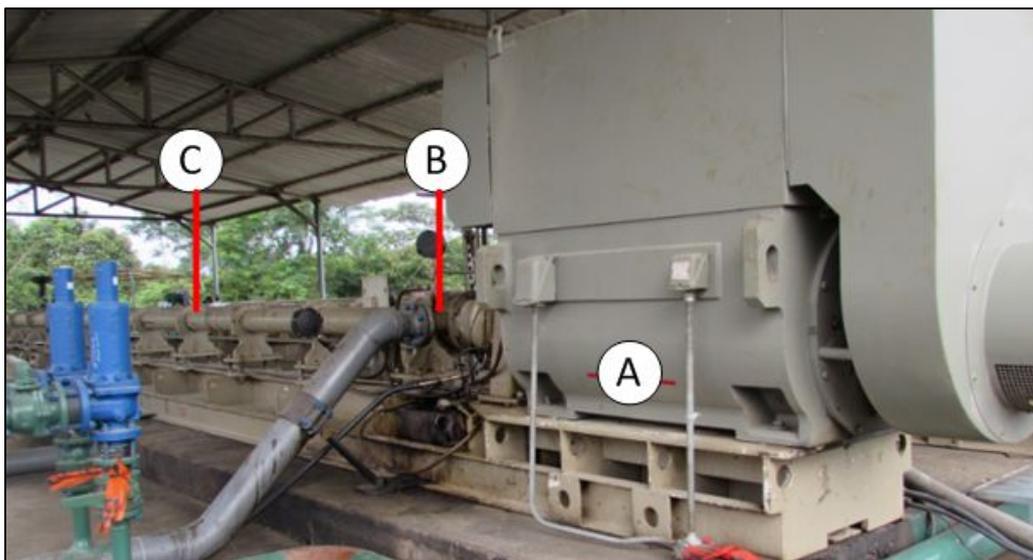
Figura 4-3: Unidad de bombeo horizontal multietapas HPS.



Realizado por: Castillo, Vinicio .2016

En la figura 5-3 se puede apreciar la magnitud e importancia del equipo objeto de estudio, se detalla el aspecto de un motor eléctrico (A) de 800 hp, la cámara de empuje (B) será la que soporte la carga axial del conjunto de tres cuerpos de bombas acopladas (C), que en total suman 106 etapas en las cuales se encuentra un impeler y un difusor; es decir sería similar a colocar 106 bombas en serie, dado estas condiciones puede entenderse la importancia del equipo y la no disponibilidad de uno de similares características.

Figura 5-3: Unidad de bombeo horizontal multietapas HPS



Realizado por: Vinicio Castillo, 2015

En la Tabla 5-3 se encuentran el listado de activos que componen el sistema Power Oil, de acuerdo a la codificación que se tiene en el sistema de gestión Máximo.

Tabla 3-1 Activos que componen el sistema bombeo horizontal Power Oil

EQUIPOS DE SISTEMA POWER OIL ATACAPI				
Item	Description	TAG	Location	Model No
1	MEL-2033; MOTOR ELECTRICO 800 HP	MEL-2033	ATP-BPO-SBPO-01	3X1800L1DKGJH101
2	SS-0111; ARRANCADOR SUAVE MEDIA TENSION; 1000HP	SS-0111	ATP-BPO-SBPO-01	CFMVRSM18-1000-4160
3	TCH-0103; CAMARA DE EMPUJE	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	HDTC
4	PCF-1031; BOMBA HPS 106 ETAPAS	PCF-1031 PCF-1030 PCF-0868	ATP-BPO-SBPO-01	TJ7 9000

Fuente: Máximo Oil & Gas. 2016

3.2.3. Condiciones Operativas de la unidad de bombeo horizontal HPS.

Las condiciones operativas del sistema se indican en la tabla 4-3:

Tabla 4-3 Variables del proceso sistema Power Oil

Variabes del Proceso	Presión de Planta (psi)	Caudal (BPPD)
Capacidad de bombeo Power Oil máximo.	3950 psi	7074 BPPD

Realizado por: Vinicio Castillo, 2015

El equipo de bombeo horizontal multietapas HPS de la estación Atacapi, proporciona fluido crudo a alta presión a cuatro pozos del campo (Tabla 4-3). Los volúmenes de producción de crudo, están acorde con los pronósticos de cada pozo y de acuerdo a su estudio particular de potencial de producción.

Se asume la temperatura operacional de 120 °F (49°C) por ser la temperatura promedio del crudo que abastece el sistema Power Oil desde el tanque de reposo de crudo. La densidad del crudo es de 31,2 API @ 60°F y su viscosidad de 8,15 cP @ 120° F.

La presión mínima de succión que requiere la unidad HPS es 100 psi, que es cubierta con la presión que entregan las bombas Booster, la presión de descarga del sistema HPS es de 3.950 psi que es la presión requerida para operar las bombas hidráulicas de producción de petróleo que se encuentran en cada pozo.

Tabla 5-3 Pozos operando dentro del sistema Power Oil

CAMPO ATACAPI SISTEMA POWER OIL								
POZO	CAMPO	BFPD	BPPD	BAPD	%BSW	API	PRESION INYECCION (psi)	BARRILES INYECTADOS (BPPD)
ATC-014US	ATACAPI	275.00	258.17	16.83	6.1	29.5	3,720 psi	1,760 BPPD
ATCF-016US	ATACAPI	290.00	256.30	33.70	11.6	24.0	3,800 psi	1,550 BPPD
ATCF-028TI	ATACAPI	432.00	108.00	324.00	75.0	32.0	3,500 psi	1,589 BPPD
ATCG-017UI	ATACAPI	696.00	174.00	522.00	75.0	24.4	3,500 psi	2,175 BPPD

Fuente: Máximo Oil&Gas, 2016

Realizado por: Vinicio Castillo, 2016

3.2.4. Filosofía de operación.

La filosofía de operación del sistema de bombeo horizontal HPS es 1 de 1; es decir opera 24 horas al día sin equipo de respaldo, de aquí la importancia de una adecuada planificación de mantenimiento con la finalidad de evitar en lo posible paradas imprevistas que ocasionen pérdidas de producción.

Esta filosofía de operación, tiene la desventaja que ante eventos de falla el sistema deja de producir durante todo el tiempo de reparación, surgen complicaciones que dependen del tipo de falla y disponibilidad de repuestos para reducir el tiempo de reparación el cual puede llegar a ser varias horas, incluso días lo cual repercute directamente en pérdidas de producción considerables.

3.2.5. Parámetros de funcionamiento de equipos de la unidad HPS

En la Tabla 6-3 se muestran los parámetros operativos de funcionamiento registrados de forma mensual para de los equipos que componen la unidad HPS.

Tabla 6-3: Parámetros operativos de los equipos HPS Power Oil Atacapi.

ID EQUIPO		PARÁMETROS OPERATIVOS UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL HPS POWER OIL ATACAPI																							
		AÑO 2014												AÑO 2015											
UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL HPS		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MOTOR ELÉCTRICO TEMPERATURA (°C)	TEMP. MOTOR LADO LIBRE	47	44	41	35	36	47	39	39	40	40	42	42	40	47	46	40	41	42	40	46	48	50	48	47
	TEMP. MOTOR CENTRO	56	58	50	47	47	59	52	52	53	53	60	53	51	59	50	53	53	55	53	60	62	59	65	61
	TEMP. MOTOR LADO ACOUPLE	50	45	44	40	41	51	46	46	43	43	52	44	43	50	51	43	45	44	42	50	53	54	53	50
CÁMARA DE EMPUJE TEMPERATURA (°C)	TEMP. CAMARA LADO ACOUPLE	59	59	55	52	45	57	45	45	59	59	60	54	59	63	58	41	45	70	48	54	54	57	60	70
	TEMP. CAMARA CENTRO	77	64	58	59	61	67	62	62	68	68	74	68	61	77	75	64	63	57	68	78	76	78	77	76
	TEMP. CAMARA LADO BOMBA	65	53	50	50	49	57	53	53	56	56	60	65	55	63	59	55	56	59	64	63	62	66	65	64
BOMBA HPS TEMPERATURA (°C)	TEMP. BOMBA 1 LADO CAMAR	42	39	40	40	38	44	42	42	41	41	43	44	38	42	41	40	41	40	43	55	48	48	46	47
	TEMP. BOMBA 1 CENTRO	43	40	43	42	39	44	41	41	42	42	43	44	38	42	42	39	40	41	42	55	49	49	45	48
	TEMP. BOMBA 1 LADO BOMBA	43	42	43	43	39	44	43	43	43	43	44	45	39	43	42	41	42	40	43	55	50	49	46	48
	TEMP. BOMBA 2 LADO BOMBA	44	43	43	44	40	46	44	44	44	44	45	45	40	43	43	42	43	42	44	56	51	50	47	49
	TEMP. BOMBA 2 CENTRO	46	45	45	46	43	48	46	46	45	45	46	46	41	45	45	43	42	42	43	56	53	52	51	51
	TEMP. BOMBA 2 LADO LIBRE	46	46	45	48	43	49	47	47	47	47	47	46	42	47	46	46	45	45	44	57	54	53	51	53
	TEMP. BOMBA 2 LADO BOMBA	48	47	47	48	43	50	48	48	48	48	48	47	44	48	47	46	47	46	44	58	56	54	52	54
	TEMP. BOMBA 3 CENTRO	47	49	49	50	45	52	49	49	49	49	49	47	45	49	47	48	48	48	44	58	57	56	54	55
	TEMP. BOMBA 3 LADO LIBRE	48	49	50	52	46	53	50	50	51	51	50	48	47	50	49	49	50	50	44	58	58	57	55	57
MOTOR ELÉCTRICO PARÁMETROS ELÉCTRICOS	FRECUENCIA (Hz)	60	60.1	60	60	60	60	60	60	60.1	59.9	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60.2	60.1	60	60	
	VOLTAJE (V)	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160
	CORRIENTE (Amp)	90	88	86	85	87	86	87	88	89	89	86	84	87	89	88	88	88	90	91	91	92	93	91	90
CONDICIONES DE OPERACIÓN	PRESIÓN DE SUCCIÓN (Psi)	164	185	165	165	165	185	185	165	165	170	170	170	165	170	170	165	165	160	160	150	100	98	100	155
	PRESION DESCARGA (Psi)	3580	3750	3850	3950	3940	3900	3950	3950	3800	3850	3800	3800	3800	3800	3800	3850	3850	3800	3850	3850	3900	3930	3940	3900

Fuente: Registros Contabilidad B57LI. 2016

Realizado por: Vinicio Castillo, 2016

3.2.5.1. Parámetros de funcionamiento Motor eléctrico.

La función del motor eléctrico es la de transformar energía eléctrica en energía mecánica, para transmitir movimiento de rotación a la bomba horizontal. Las características del motor eléctrico instalado en el sistema es el que se indica en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3 Motor eléctrico bomba HPS sistema Power Oil.

MOTOR ELECTRICO	
MARCA:	TOSHIBA
TAG	MEL-2033
VOLTAGE (V):	4160
AMP (Amp):	99
POTENCIA (Hp):	800
FRAME:	5812USS
RPM:	3565
FRECUENCY (Hz):	60
CLASE	F
PHASE:	3

Fuente: Máximo Oil & Gas, 2015

Respecto a la temperatura de funcionamiento del motor eléctrico se ha tomado en tres lugares en la zona de los rodamientos lado libre, lado acople y en el centro del motor. La temperatura en la zona de los rodamientos lado libre presenta valores regulares en un promedio de 41 °C, en el lado acople los valores también son regulares y mantienen un promedio de 46.8 °C, en el centro de la carcasa del motor presenta valores regulares en un promedio de 55 °C.

Los valores de temperatura promedio mensuales son normales y están por debajo del límite establecido como 100 °C, basado en registros de motores similares y por evidenciar que al superar esa temperatura se provocaron los daños, sin importar recomendación de diseño según la clase F (máximo 145°C)

Respecto los parámetros de funcionamiento eléctrico de frecuencia, voltaje y amperaje son idénticos, lo cual indica que no existe variación en el contexto operativo. De acuerdo a dato de placa el motor eléctrico es para una corriente nominal de 99 Amp, el promedio de funcionamiento es de 88.5 Amp llega hasta un máximo de 90 Amp, de acuerdo a estos datos el motor máximo a operado a un porcentaje de carga del 91 % (Amperaje real/Amperaje nominal).

3.2.5.2. Parámetros de funcionamiento Arrancador

La función del “arrancador” es suministrar energía eléctrica, para el funcionamiento del motor, de igual manera corta el suministro de fluido eléctrico cuando se requiere apagar el equipo por mantenimiento preventivo o cuando se activan las protecciones del sistema ante eventos de falla, las cuales pueden ser: altas o bajas presiones del sistema, alta vibración, bajo flujo, alta temperatura en motor o cámara de empuje, etc.

El arrancador instalado es del tipo “arrancador suave” y tiene su limitante que arranca directo a la frecuencia de 60 Hz, el control de la corriente en el motor y parámetros operativos durante el arranque del sistema se lo realiza a través de una válvula de recirculación, y descarga, la cuales se manipulan progresivamente hasta que el sistema se estabiliza, mientras esto sucede el fluido recircula al tanque de lavado provocando agotamiento y movimiento de sólidos dentro del tanque.

En la Tabla 8-3 se indican las características técnicas del arrancador eléctrico.

Tabla 8-3 Arrancador eléctrico bomba HPS sistema Power Oil.

ARRANCADOR ELECTRICO	
MARCA:	BENSHAW
TAG	SS-0111
VOLTAGE (V):	0-9999
Volt - Ampr (kVA):	0-6553

Fuente: Máximo Oil & Gas, 2015

Los parámetros de operación del arrancador suave marca BENSHAW de acuerdo a la Tabla 6-3 es 4160 V, lo que indica que están dentro del rango de dato de placa del equipo.

3.2.5.3. Parámetros de funcionamiento Cámara de empuje y enfriador de aceite

En el funcionamiento de la bomba horizontal multietapas HPS se genera un empuje axial en el eje de la bomba en sentido opuesto a la descarga flujo de crudo, es decir se produce un empuje axial hacia el motor eléctrico, los motores eléctricos no están diseñados para soportar este empuje axial, por tanto se requiere que un elemento absorba el empuje de la bomba y evitar daños en el motor eléctrico.

La función de la cámara de empuje, es precisamente la de absorber el empuje axial del eje de la bomba evitando que se trasladen fuerzas axiales hacia el acople (coupling) y el motor eléctrico para evitar daños. En la figura 5-3 se presenta un corte de una cámara de empuje.

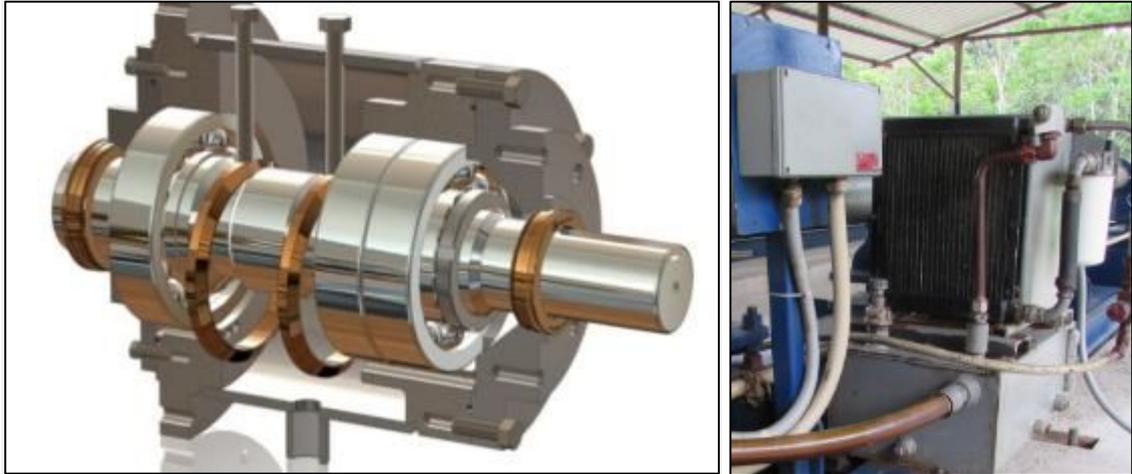


Figura 6-3: Cámara de empuje, enfriador de equipo de bombeo horizontal HPS

Fuente: GE SPS Manual de instrucciones del usuario. 2012

Asociado a la cámara se encuentra el enfriador de aceite (cooler) es de “enfriar” el aceite que lubrica la cámara de empuje, ya que por las exigencias de las altas cargas de empuje axial presentes en este elemento la temperatura del aceite se incrementa, proporcional a la fuerza de empuje que esté resistiendo las temperaturas sobrepasan los 80°C, el enfriador debe mantener la temperatura de operación normal para que no sobrepase los 80°C recomendados por el fabricante, evitando así que el aceite ISO 48 se degrade rápidamente.

Los parámetros operativos de la cámara de empuje de acuerdo a los datos de la Tabla 6-3 llegan máximos hasta un valor de 77 °C, lo que indica que el enfriador de aceite está operando normalmente para que la temperatura no supere los 80 °C.

3.2.5.4. Parámetros de funcionamiento Bombas horizontales multietapas

La función de la bomba horizontal multietapas es suministrar fluido crudo a alta presión para ser utilizado en el bombeo hidráulico de los pozos de producción. El crudo que descargan las bombas Booster con una presión de 100-170 psi, ingresa por la línea de sección y atraviesa las etapas para llegar a la presión indicada.

Tabla 9-3 Bombas HPS sistema Power Oil

SIETEMA BOOSTER POWER OIL	
Bomba multietapas HPS	
Marca:	GE
Modelo:	TJ 9000
TAG Bomba	PCF-1030

Fuente: Máximo Oil & Gas, 2015

De acuerdo a las condiciones operativas de la bomba indicadas de la Tabla 6-3, y verificando en la curva de caudal y presión Anexo B, específica de la misma, el punto de operación no se encuentra cercano a la máxima eficiencia pero está dentro de la zona recomendada para la operación.

3.2.5.5. Parámetros de funcionamiento de Instrumentación.

La instrumentación de control instalada en el sistema es:

Un transmisor de presión de succión PT-P2001A que realiza monitoreo y control:

- Alarma por baja presión de succión (PAL-P2001A) en de la bomba horizontal P-2001, se activa cuando la presión de succión de la bomba P-2001 alcanza 100 psi y apaga la bomba.
- Alarma de baja-baja presión de succión (PALL-P2001A), se activa y apaga la bomba P-2001 si la alarma PAL-P2001 no actúa y la presión bajo a 90 psi.
- Alarma de alto-alto presión de succión (PAHH-P2001A) se activa y apaga la bomba horizontal P2001 cuando la presión alcanza 190 psi.

Switch de baja-baja presión PSSL-P2001: detiene la operación de la bomba a través del variador, que envía la señal al panel de control a través del PLC-ATP01, dando una alarma por baja-baja presión (PALL), cuando se alcanza los 80 psi.

Transmisor de flujo FT-P2001A: sirve para monitorear y transmitir el caudal hacia el panel de control. El instrumento tiene la siguiente programación, alarma por bajo flujo FAL-P2001A, se activa cuando el flujo disminuye a 2.400 barriles de petróleo por día y envía una señal hacia el VSD-P2001, detiene el motor eléctrico de la bomba.

Transmisor de presión de descarga PT-P2001B, monitorea y transmite la presión hacia el panel de control. El instrumento tiene programadas las siguientes alarmas y acciones:

- Alarma de alta-alta presión a la descarga, PAHH- P2001B de la bomba, se activa cuando la presión alcanza 3.850 psi y envía una señal al VSD-P2001 para detener el motor de la bomba.
- Alarma por baja-baja presión de descarga PALL- P2001B de la bomba, se activa cuando la presión alcanza 3.400 psi y a través del PLC-ATP01, activa el override por flujo mínimo.

Switch por alta-alta presión a la descarga PSHH-P2001: de la bomba, que se activa cuando la presión alcanza 3.900 psi, deteniendo la bomba directamente en el VSD-P2001.

Switch por muy alta vibración en la bomba VSHH-P2001, apaga la bomba desde enviando una señal al VSD por alta vibración.

Interruptor de muy bajo nivel de aceite LSSL-P2001, cuando el nivel de aceite es bajo apaga la bomba por falta de lubricación.

Sensor de temperatura TE-P200; apaga la bomba cuando la temperatura es alta en el motor de la bomba (TAH-P2001).

XS-P2001: envía señal indicando el estado de encendido o apagado del motor por medio del PLC-ATP01

Además dispone de indicadores para verificar parámetros en inspección en sitio.

3.3. Tasa de fallos de la unidad de bombeo horizontal.

La unidad de bombeo horizontal está compuesta por los cuatro equipos que son: motor eléctrico, arrancador suave, cámara de empuje y bomba horizontal, se procederá a realizar el cálculo de cada uno de los equipos indicados con la finalidad de obtener la tasa de fallos total de la unidad. Para el análisis de la tasa de fallos de la unidad HPS, primero se debe revisar el histórico de fallas de cada uno de los equipos que componen la unidad y establecer individualmente la tasa de fallas.

3.3.1. Histórico de fallas de la unidad de bombeo horizontal HPS

Del sistema de gestión Máximo se obtiene el histórico de fallas de los subsistemas de la unidad de bombeo horizontal HPS para los años 2014 y 2015, se ha verificado que los datos correspondan a los trabajos de mantenimiento correctivo dentro del período del cual se va a realizar el análisis.

En la Tabla 10-3 se presentan los registros que serán el punto de partida para realizar análisis de fallas y costos asociados a la producción y activos, esta información se obtiene de la base de datos del software de gestión para mantenimiento Máximo Oil & Gas.

Tabla 10-32: Históricos de fallas de la unidad de bombeo horizontal HPS.

HISTÓRICO Y DESCRIPCION DE LA FALLA AÑOS 2014 Y 2015									
MOTOR ELÉCTRICO									
ITEM	WONUM	DESCRIPTION	TAG	LOCATION	TIME REP (h)	CODE ISO 14224	DESCRIPTION FAILURE	YEAR	START
1	OT-140101981	CAMBIO MOTOR ELECTRICO DE UNIDAD HPS POWER OIL No.1	MEL-4077	ATP-BPO-SBPO-01	17	BRD	Motor eléctrico operando se remuerde por problema en rodamientos	2014	6/6/14
2	OT-140601988	CAMBIO MOTOR ELECTRICO DE UNIDAD HPS POWER OIL No.1	MEL-2033	ATP-BPO-SBPO-01	11	BRD	Motor eléctrico operando se remuerde por problema en rodamientos		12/16/14
3	OT-140597704	DESCONEXIÓN PARA MANTENIMIENTO MOTOR 800 HP	MEL-2033	ATP-BPO-SBPO-01	12	BRD	Motor eléctrico operando se remuerde por problema en rodamientos		12/26/14
4	OT-1540139812	DESMONTAJE MOTOR BOMBA P.O. ESTACION ATACAPI	MEL-4077	ATP-BPO-SBPO-01	11.67	BRD	Motor eléctrico operando se remuerde por problema en rodamientos	2015	2/21/15
5	OT-150729761	DESMONTAJE MOTOR BOMBA P.O. ESTACION ATACAPI	MEL-4077	ATP-BPO-SBPO-01	12.67	BRD	Motor eléctrico operando se remuerde por problema en rodamientos		8/2/15
ARRANCADOR									
1	OT-140247330	ORDEN DE SERVICIOS No.108316: REPARACIÓN ARRANCADOR SUAVE DE MEDIA TENSIÓN TAG:SS-0111	SS-0111	ATP-BPO-SBPO-01	8	BRD	Daños graves parada súbita, roturas o explosión de elementos eléctrico internos del arrancador	2,014	3/29/14
2	OT-140250684	OS-108316-GE OIL-20140330-CAMBIO DE DISPLAY CONFIGURACIÓN	SS-0111	ATP-BPO-SBPO-01	7	FTS	Motor no se activa al momento de encender el arrancador		3/30/14
3	OT-150113726	SS-0111-CME- REPLAZAR TARJETA DE DISPARO DE LOS SCRS POR FALLA	SS-0111	ATP-BPO-SBPO-01	12	BRD	Daños graves parada súbita, roturas o explosión de elementos eléctrico internos del arrancador	2,015	1/30/15
4	OT-150135261	SS-0111-CME- REPLAZAR MÓDULO DEL SISTEMA DE CONTROL POR FALLA	SS-0111	ATP-BPO-SBPO-01	14	FTS	Motor no se activa al momento de encender el arrancador		2/3/15

Tabla 10-3: Continúa...

HISTÓRICO Y DESCRIPCION DE LA FALLA AÑOS 2014 Y 2015									
CAMARA DE EMPUJE									
ITEM	WONUM	DESCRIPTION	TAG	LOCATION	TIME REP (h)	CODE ISO 14224	DESCRIPTION FAILURE	YEAR	START
1	OT-140192673	OS-108316-GE-20140222-MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CAMBIO DE MANGUERAS SIST. ENFRIAMIENTO	TCH-0115	ATP-BPO-SBPO-01	2.00	ELU	Fuga de aceite por mangueras del enfriador	2014	2/22/14
2	OT-140192860	OS-108316-GE-20140227- REPARACION MENOR, CAMBIO DE CAMARA DE EMPUJE.	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	5.00	BRD	Cámara de empuje se remuerde los rodamientos		2/27/14
3	OT-140212340	CAMBIO DE RTD EN CAMARA DE EMPUJE Y CALIBRACIÓN	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	2.00	AIR	Falla en transmisor de temperatura		3/14/14
4	OT-140647562	CAMBIO DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	5.00	BRD	Se remuerde sistema de enfriamiento		7/18/14
5	OT-140746525	TCH-0103: CORRECCION DE FUGAS SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	2.00	ELU	Presenta fuga de aceite por acoples del sistema de enfriamiento.		8/17/14
6	OT-140768238	ATACAPI TCH-0103 INSTALACION DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	5.00	BRD	Se remuerde sistema de enfriamiento		8/23/14
7	OT-140851907	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE.	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	4.00	ELU	Presenta fuga de aceite por o ring de la cámara		9/17/14
8	OT-141009888	LAVADO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LA CÁMARA DE EMPUJE	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	3.00	OHE	Contaminación en radiador de sistema de enfriamientos, requiere ser lavado		10/27/14
9	OT-150176813	TCH-0103; CORREGIR FUGA DE ACEITE POR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE THRUST CHAMBER.	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	4.00	ELU	Presenta fuga de aceite por o ring de la cámara	2015	2/14/15
10	OT-150475954	TCH-0103; CORRECCION DE FUGA Y CAMBIO DE ACEITE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	4.00	ELU	Presenta fuga de aceite por o ring de la cámara		5/7/15
11	OT-150645609	CME CAMBIO DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	5.00	BRD	Se remuerde sistema de enfriamiento		6/14/15
12	OT-150992105	MEL-0170; CME; MOTOR 2 HP; DESCONEXION Y DESINSTALACION POR REPARACION.	MEL-0170	ATP-BPO-SBPO-01	5.00	BRD	Se remuerde sistema de enfriamiento		9/8/15

Tabla 10-3: Continúa...

HISTÓRICO Y DESCRIPCION DE LA FALLA AÑOS 2014 Y 2015									
BOMBA MULTITAPAS									
ITEM	WONUM	DESCRIPTION	TAG	LOCATION	TIME REP (h)	CODE ISO 14224	DESCRIPTION FAILURE	YEAR	START
1	OT-140192860	OS-108316-GE-20140227- REPARACION MENOR SELLO MECANICO	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	5	ELP	Fuga de crudo por sello mecánico	2014	2/27/14
2	OT-140647562	CAMBIO DE SELLO	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	5	ELP	Fuga de crudo por sello mecánico		7/18/14
3	OT-140966962	PCF-1031; CAMBIO DE SELLO MECANICO	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	5	ELP	Fuga de crudo por sello mecánico		10/19/14
4	OT-141219951	PCF-1031:REAJUSTAR BASES DE LA BOMBA	PCF-1031	ATP-BPO-SBPO-01	2	VIB	Equipo presenta incremento de vibraciones al final de la bomba PCF-1031		12/26/14
5	OT-150338825	TCH-0103PCF-1031	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	5	ELP	Fuga de crudo por sello mecánico	2015	3/30/15
6	OT-150751406	OS-129156-G/E-20150711-CAMBIO DE SELLO MECANICO- OT-038	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	5	ELP	Fuga de crudo por sello mecánico		7/11/15
7	OT-150929869	CO-324-PAM-EP-2014-GE-20150828-CAMBIO DE SELLO MECANICO - OTQ-111.	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	5	ELP	Fuga de crudo por sello mecánico		8/28/15
8	OT-151310007	C0324-GE OIL-201511: TCH-0103; MC REEMPLAZAR SELLO MECANICO POR FUGA DE CRUDO	TCH-0103	ATP-BPO-SBPO-01	5	ELP	Fuga de crudo por sello mecánico		11/29/15

Fuente: Vinicio Castillo, 2016

3.3.2. *Cálculo de la tasa de fallos del motor eléctrico.*

El período total de estudio es los años 2014 y 2015 para efectos de cálculos de la tasa de fallos equivale a 17520 horas. El cálculo de la tasa de fallos se lo realiza de acuerdo a lo indicado en el párrafo 2.8. De los datos indicados en la tabla 10-3 se obtiene el número de fallas Tf.

Ecuación 1-3

Tf: 5

Tp: 17520 horas

$$\lambda = \frac{5}{17520} = 0,000285 \quad \frac{\text{fallas}}{\text{hora}}$$

3.3.3. *Cálculo de la tasa de fallos del arrancador.*

El período total de estudio es los años 2014 y 2015 para efectos de cálculos de la tasa de fallos equivale a 17520 horas. El cálculo de la tasa de fallos se lo realiza de acuerdo a lo indicado en el párrafo 2.8. De los datos indicados en la tabla 10-3 se obtiene el número de fallas Tf.

Ecuación 2-3

Tf: 4

Tp: 17520 horas

$$\lambda = \frac{4}{17520} = 0,000228 \quad \frac{\text{fallas}}{\text{hora}}$$

3.3.4. *Cálculo de la tasa de fallos de la cámara de empuje.*

El período total de estudio es los años 2014 y 2015 para efectos de cálculos de la tasa de fallos equivale a 17520 horas. El cálculo de la tasa de fallos se lo realiza de acuerdo a lo indicado en el párrafo 2.8. De los datos indicados en la tabla 10-3 se obtiene el número de fallas Tf.

Ecuación 3-1

Tf: 12

Tp: 17520 horas

$$\lambda = \frac{12}{17520} = 0,000685 \quad \frac{\text{fallas}}{\text{hora}}$$

3.3.5. Cálculo de la tasa de fallos de la bomba horizontal.

El período total de estudio es los años 2014 y 2015 para efectos de cálculos de la tasa de fallos equivale a 17520 horas. El cálculo de la tasa de fallos se lo realiza de acuerdo a lo indicado en el párrafo 2.8. De los datos indicados en la tabla 10-3 se obtiene el número de fallas Tf.

Ecuación 4-3

Tf: 8

Tp: 17520 horas

$$\lambda = \frac{8}{17520} = 0,000457 \quad \frac{\text{fallas}}{\text{hora}}$$

3.3.6. Determinación de la tasa de fallos de la unidad de bombeo horizontal HPS.

En la figura 7-3 se puede observar la ubicación de los subsistemas que componen la unidad de bombeo horizontal HPS, por lo cual se determina que estos se encuentran dispuestos en serie, por tanto, la tasa de fallos de la unidad de bombeo horizontal se determina con la sumatoria de la tasa de fallas de cada uno de los subsistemas.

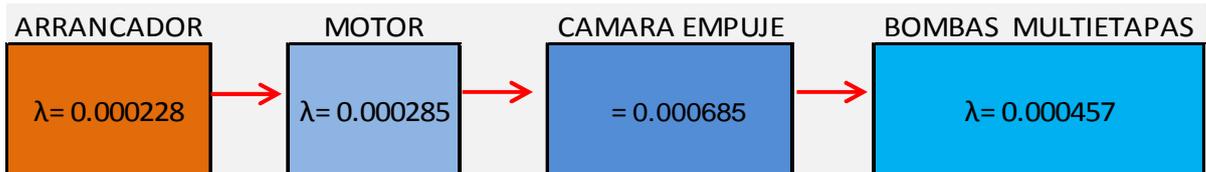


Figura 7-3: Disposición serie de los subsistemas de la unidad de bombeo horizontal HPS

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

La fórmula que se emplea para el cálculo es la siguiente:

Ecuación 5-3

$$\lambda_{HPS} = \lambda_{ARRANCADOR} + \lambda_{MOTOR\ ELECTRICO} + \lambda_{CAMARA\ EMPUJE} + \lambda_{BOMBA}$$

$$\lambda_{HPS} = 0.00285 + 0.000228 + 0.000685 + 0.000457$$

$$\lambda_{HPS} = 0.001655 \frac{fallas}{hora}$$

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados y la discusión se desarrollan tomando en cuenta adicional de los modos de falla más posibles para cada equipo dentro del contexto operativo actual, los datos históricos de los eventos de falla de los años 2014 y 2015 de la unidad de bombeo horizontal, (expuestos en el capítulo 3) por cuanto estos datos son una importante fuente de información y corresponden a la realidad del contexto operativo del sistema. Además se realiza un análisis del impacto a la producción tomando en cuenta una pérdida de producción de 33.18 barriles por cada hora de parada.

Se plantean las hojas de información que se exponen en el presente capítulo, se desarrolla un análisis para cada uno de los equipos que componen la unidad de bombeo horizontal de la estación Atacapi.

Dentro de las matrices de hojas de información desarrolladas para cada equipo se ha incluido y dado especial énfasis de análisis, a los modos de falla históricos de los años 2014 y 2015

4.1. Elaboración de hojas de información por equipo en la unidad HPS.

4.1.1. *Análisis de tasa de fallos unidad de bombeo horizontal HPS*

La importancia de número de fallos por tipo de equipo los cuales componen la unidad de bombeo horizontal se indica en la figura 1-4, donde se puede apreciar que la mayor cantidad sucede en la cámara de empuje, siendo este un elemento que presenta la menor confiabilidad.

Adicional en el análisis mostrado en la figura 2-4 se puede evidenciar que el modo de falla basado en el estándar ISO 14224-2006 es BRD (Daños graves parada súbita, rigidez de movimiento, atascamiento, explosión etc.), el cual está presente con repeticiones y repercusiones graves para la operación.

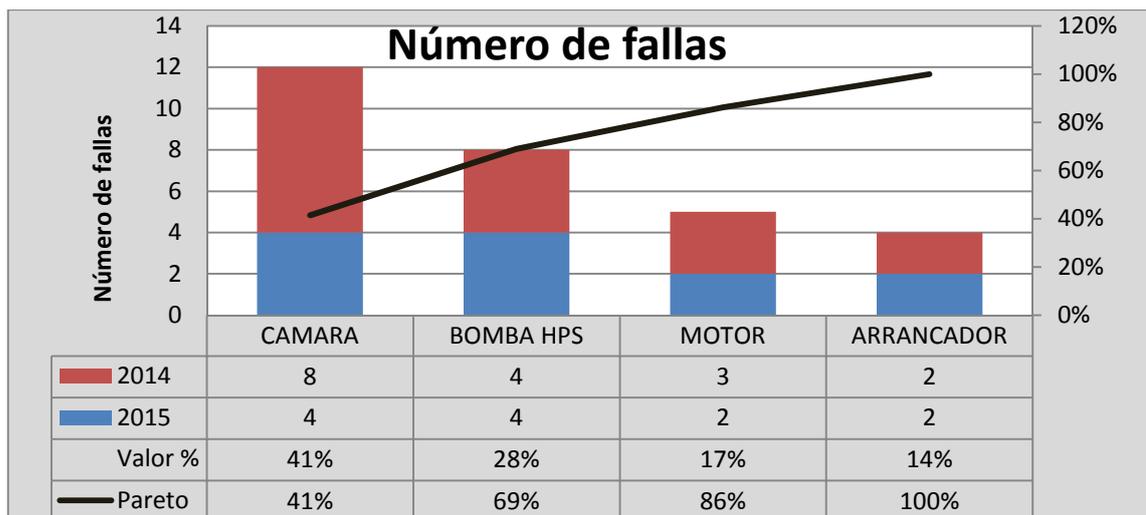


Figura 1-4: Tasa de fallos equipos de unidad de bombeo horizontal HPS

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

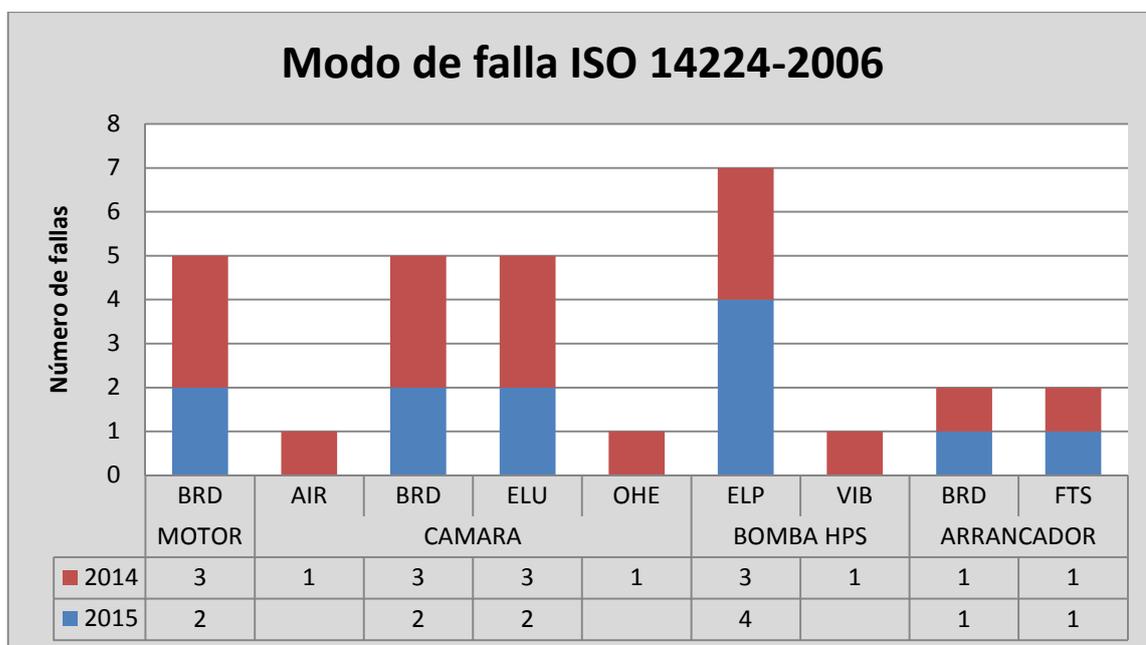


Figura 2-4: Modos de fallo por equipo según estándar ISO 14224-2006 HPS.

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

Al presentar un análisis por modo de falla en toda la unidad, figura 3-4, se evidencia que el patrón es similar en el tiempo para los dos años evaluados, presentando el mayor problema BRD, con una influencia de 41% seguido de ELP con 24% que hace referencias a fuga de crudo y daño en sello mecánico.

Este análisis presenta de forma clara los modos de falla que se debe dar prioridad para ejecutar las tareas del RCM resumidas en las hojas de información.

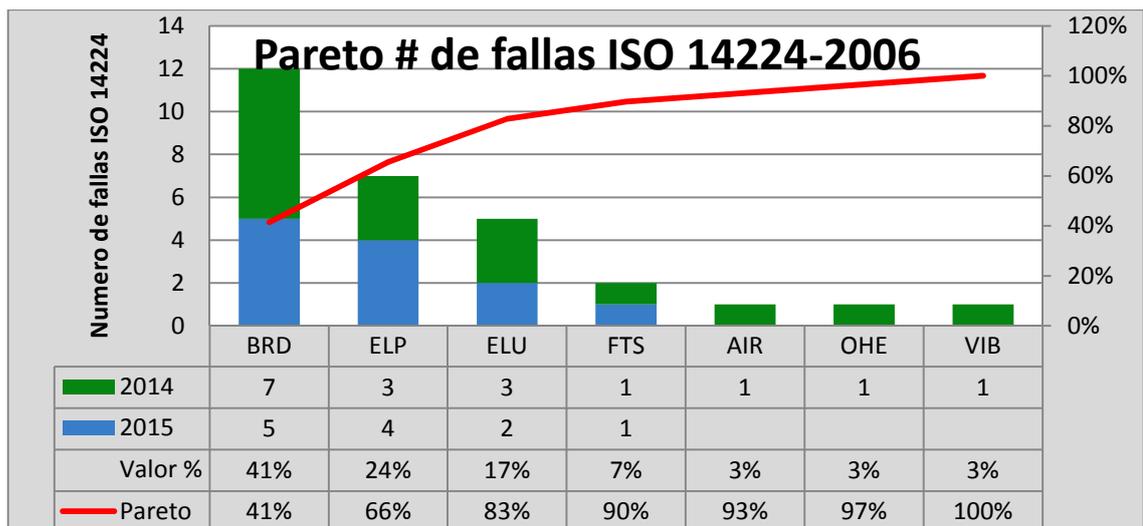


Figura 3-4: Modo de falla según estándar ISO 14224-2006 HPS.

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

En la figura 4-4 se evidencia que aun cuando el motor no fue el que presenta la mayor cantidad de fallos, al estar asociado directamente el tiempo de reparación con las pérdidas de producción es realmente a quien se debe darle la mayor importancia, debido a que es necesario que el activo cumpla su función que es operar el sistema completo para producir petróleo.

Es así como se observa que la incidencia sobre el sistema es de 34% seguido de la cámara de empuje que es 24%, sin pretender restar importancia a los otros equipos, claramente tenemos dos prioridades para iniciar la ejecución de RCM, la cual se está consciente que no es una tarea de aplicación que se pueda observar resultados a corto plazo.

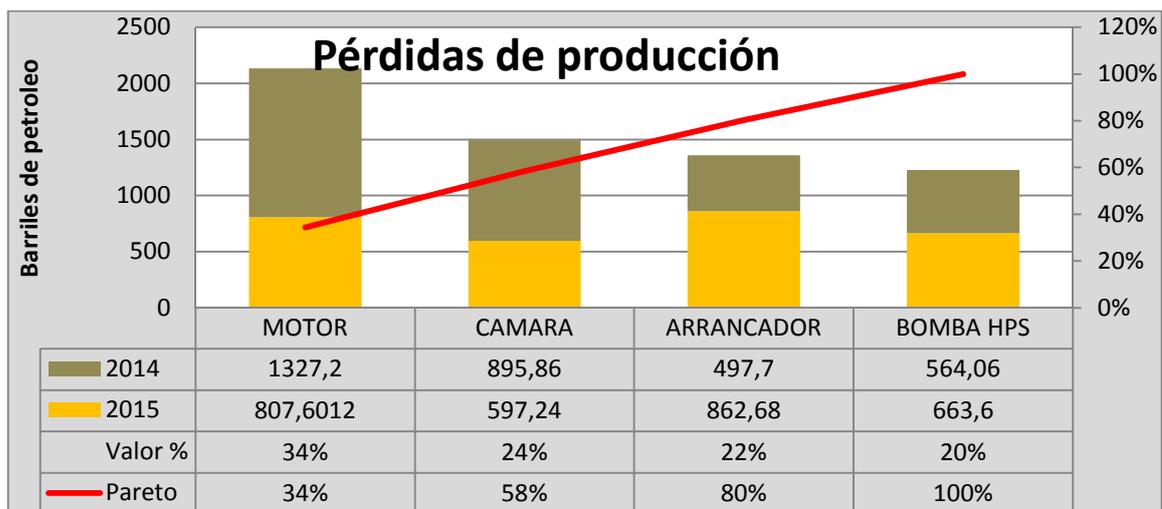


Figura 4-1: Pérdidas de producción asociados al equipo de mayor importancia.

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

Del análisis cuantitativo, resulta que la tasa de fallos total para la unidad de bombeo horizontal es de 0,001655 fallas/hora, que equivale a tener catorce fallas por año.

Ecuación 1-4

$$\lambda = \frac{Tf}{Tp}$$

$$0.001655 = \frac{Tf}{8760h}$$

$$Tf = 14$$

En donde:

λ : tasa de fallos/ hora de toda la unidad HPS

Tf: Incógnita, las fallas que se producen por año

Tp: un año tiene 8760 horas.

4.1.2. Hoja de información - Resultados y discusión modos de fallo motor eléctrico.

El motor eléctrico en sus registros históricos de acuerdo a la Tabla 10-3 presenta cinco eventos de falla, los cinco eventos de falla corresponden a un mismo modo de falla:

Cinco eventos en los cuales el motor eléctrico sufre daño en rodamientos y requiere ser cambiado, este modo de falla (BRD) han sido incluido en la Hoja de información del motor eléctrico y corresponde al modo de fallo 1.A.1 que se indica en la Tabla 1-4.

Respecto a estos modos de falla implicó el cambio de motor eléctrico, las tareas a realizar para un cambio de un motor de 800 HP requieren una logística tanto de personal y de equipos que es mayor, incluso este tipo de motores se debe solicitar el envío desde los talleres centrales de Petroamazonas Lago Agrio, es la razón por la cual el tiempo de reparación de estos modos de falla llega a ser de hasta 17 horas.

Incluir este modo de falla en el análisis para mitigarlo será un gran ahorro para la empresa, tanto en equipos de logística, horas hombre y evitar pérdidas de producción. En este tipo de falla se estima las pérdidas de producción de 398 barriles de petróleo por evento.

Tabla 1-4: Hoja de información RCM2 Motor eléctrico.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA:			SISTEMA N°:	FECHA:	HOJA N°
		UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL HPS			ATP-BPO	7-Jun	1
		SUBSISTEMA:			SUB SISTEMA N°:	FACILITADOR :	DE
		MOTOR ELÉCTRICO			ATP-BPO-SBPO	Castillo V.	1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CÓDIGO NORMA ISO 14224	EFECTO DE LA FALLA		
1	Transformar energía eléctrica en movimiento de rotación para hacer girar la bomba horizontal a 3570 revoluciones por minuto.	A	No transmite movimiento a la bomba acoplada	1	Daños graves parada súbita, rigidez de movimiento, roturas por atascamiento de rodamientos	BRD	Indisponibilidad del motor. Requiere cambio de motor, 12 horas se detiene proceso
				2	Daños graves parada súbita, roturas o explosión por cortocircuito en devanado.	BRD	Indisponibilidad del motor. Requiere cambio de motor, 12 horas se detiene proceso
				3	Fuga externa del producto útil del equipo, lubricante grasa	ELU	Indisponibilidad del motor. Requiere cambio de retenedores, 6 horas se detiene proceso
				4	Vibración excesiva mayor a 0.28 inch/s (rms) en apoyos (1X y 2X)	VIB	Indisponibilidad del motor. Requiere verificar alineación de motor, 3 horas se detiene proceso
				5	Ruido excesivo en rodamientos	NOI	Indisponibilidad del motor. Requiere cambio de motor, 12 horas se detiene proceso
				6	Sobrecalentamiento, temperatura supera los 100 °C en rodamientos	OHE	Indisponibilidad del motor. Requiere cambio de motor, 12 horas se detiene proceso
				7	Sobrecalentamiento, temperatura supera los 100 °C en los bobinados.	OHE	Indisponibilidad del motor. Requiere cambio de motor, 12 horas se detiene proceso
				8	Lectura errónea del instrumento (RTD's) de bobinado	AIR	Indisponibilidad del motor, revisión de la instrumentación 4 horas.

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

4.1.3. Hoja de información - Resultados y discusión modos de fallo cámara de empuje.

La cámara de empuje en sus registros históricos Tabla 10-3, presenta doce eventos de falla, dentro de los cuales varios modos de fallos que se repiten, los cuales han sido incluidos en la Tabla 2-4.

Cuatro eventos en los cuales el enfriador detiene repentinamente el proceso por problemas de rodamientos remordidos (BRD), este modo de falla ha sido incluidos en la Hoja de información de la cámara de empuje modo de fallo 1.B.1.

Tres eventos de fuga de aceite por el O-Ring de la cámara de empuje (ELU), este modo de falla ha sido incluido dentro del análisis en 1.A.2.

Dos eventos de fuga de aceite por acoples y mangueras del enfriador (ELU), este modo de falla ha sido incluido dentro del análisis en 1.A.3.

El evento único evento en el cual se remuerden los rodamientos y se requiere cambio de cámara de empuje (BRD), este modo de falla ha sido incluido dentro del análisis en 1.A.1, este tiene importancia por el valor que reposición de la cámara que está en 15.000 usd, lo cual afecta al presupuesto.

Un evento de falsa lectura de la instrumentación de la cámara de empuje (AIR), este modo de falla ha sido incluido dentro del análisis en 1.A.5.

Un evento de falta de limpieza en el radiador del enfriador de la cámara de empuje (OHE), este modo de falla ha sido incluido dentro del análisis en 1.B.3.

Un evento de consideración es cuando el enfriador de aceite salió de servicio y requirió su reemplazo, porque el tiempo de reparación fue de 5 horas lo que implica pérdidas de producción de 166 barriles de petróleo, estos eventos de falla también afectan al presupuesto, debido al costo del enfriador (35.000 usd), por lo que se considera dentro del análisis en 1.B.3 porque al ser un equipo auxiliar lo único que se puede hacer es mantenerlo limpio para que su esfuerzo no sea superior a su diseño.

El segundo evento en recurrencia es fuga de aceite por o-ring de la cámara de empuje, tratado en el punto 1.A.2, si bien la reparación de este evento de falla se lo realiza en sitio, involucra 4 horas de trabajos y parada del equipo, las pérdidas de producción asociadas son de 132 barriles de petróleo por evento.

El tercer evento en recurrencia es fuga de aceite por acoples y mangueras del enfriador, la reparación de este evento toma un tiempo de 2 horas y sus pérdidas son de 66 barriles este punto es tratado en el punto 1.A.3

Los eventos de instrumentación se tratan en el punto 1.A.5 y si bien se considera importante pero no implica mayor incidencia en la operación, sin embargo al ser un elemento de protección repercute de gran importancia para tener daños mayores.

El análisis de la cámara de empuje termina con la presentación de las tablas 2-4, hoja de información donde se expone en forma esquematizada y de acuerdo a los parámetros recomendados por RCM, las tareas propuestas para cada evento de falla analizado y en base a la cual se espera obtener la mejora de los planes de mantenimiento para la cámara de empuje.

Tabla 2-4: Hoja de información RCM2 Cámara de empuje.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA:			SISTEMA N°:	FECHA:	HOJA N°
		UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL HPS			ATP-BPO	7-Jun	1
FUNCIÓN		SUBSISTEMA:			SUB SISTEMA N°:	FACILITADO R:	DE
		CÁMARA DE EMPUJE			ATP-BPO-SBPO	Castillo V.	1
		FALLA FUNCION AL	MODO DE FALLA	CÓDIGO NORMA ISO 14224	EFECTO DE LA FALLA		
1	Soportar el empuje que se produce en la bomba y transmitir el movimiento de torque desde el motor a las bombas sin superar los 80°C de operación.	A	Incapacidad de Soportar el empuje y transmitir movimiento	1	Daños graves parada súbita, rigidez de movimiento, por atascamiento de rodamientos	BRD	Indisponibilidad del sistema. Requiere cambio de cámara, 6 horas se detiene proceso
				2	Fuga externa de aceite de refrigeración en la cámara de empuje por el o-ring del eje	ELU	Indisponibilidad del sistema. Requiere cambio de retenedores, 6 horas se detiene proceso
				3	Fuga externa de aceite de lubricación y refrigeración en acoples de mangueras del enfriador	ELU	Indisponibilidad del sistema. Requiere reajuste de acoples, 3 horas se detiene proceso
				4	Vibración excesiva mayor a 0.28 inch/s (rms) en apoyos (1X y 2X)	VIB	Indisponibilidad del sistema. Requiere alineación, 3 horas se detiene proceso
				5	Lectura falsa del instrumento, en RTD de la cámara.	AIR	Indisponibilidad del sistema. Requiere revisión de instrumentación, 3 horas se detiene proceso
				6	Ruido excesivo en los rodamientos de la cámara	NOI	Indisponibilidad del sistema. Requiere cambio de cámara, 6 horas se detiene proceso
		B	Superar los 80°C en la operación normal.	1	Enfriador remordido, daños graves parada súbita, rigidez de movimiento por atascamiento de rodamientos.	BRD	Indisponibilidad del sistema. Requiere cambio de enfriador, 5 horas se detiene proceso
				2	Sobrecalentamiento, temperatura supera los 80 °C en rodamientos	OHE	Indisponibilidad del sistema. Requiere cambio de cámara, 6 horas se detiene proceso
				3	Sobrecalentamiento, temperatura supera los 80 °C en sistema de enfriamiento.	OHE	Indisponibilidad del sistema. Requiere limpieza de enfriador, 4 horas se detiene proceso

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

4.1.4. Hoja de información - Resultados y discusión modos de fallo arrancador suave.

El arrancador suave en sus registros históricos de acuerdo a la Tabla 10-3 presenta cuatro eventos de falla y su análisis se resume en la Tabla 3-4:

Dos eventos en los cuales el arrancador no activa el motor eléctrico, este modo de falla (FTS) han sido incluidos en la Hoja de información en 1.A.1.

Dos eventos en los cuales el arrancador falla repentinamente por problemas de elementos eléctricos internos (BRD), este modo de falla han sido incluidos en 1.A.2.

Los eventos de falla ocurridos en el arrancador suave BENSRAW requirieron reparación en sitio, para esto se necesitaron repuestos de los elementos internos, en estos últimos años se han venido reutilizando repuestos de otros equipos que se encuentran fuera de servicio, esto porque el equipo se encuentra discontinuado y fábrica ya no provee repuestos, lo cual ha ocasionado también que los tiempos de reparación del arrancador suave sean de 7 a 14 horas.

En los años 2014 y 2015 los cuatro eventos de falla ocurridos en el arrancador dan una tasa de fallos de 0.000228 fallas /año, que representa 2 fallas por año, el problema crítico que se tiene es que ante un evento de falla no se dispone de repuestos para la reparación., razón por la cual es de gran importancia la gestión de un variador de frecuencia para reemplazar el equipo indicado.

Tabla 3-4: Hoja de información RCM2 Arrancador suave.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA:			SISTEMA N°:	FECHA:	HOJA N°
		UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL HPS			ATP-BPO	7-Jun	1
		SUBSISTEMA:			SUB SISTEMA N°:	FACILITADOR :	DE
		ARRANCADOR SUAVE			ATP-BPO-SBPO	Castillo V.	1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CÓDIGO NORMA ISO 14224	EFECTO DE LA FALLA		
1	Proveer flujo eléctrico al motor para su funcionamiento con una frecuencia de 60 Hz y un voltaje trifásico de 4160 V	A No suministra energía eléctrica	1	Arrancador no activa el motor al momento de encender por falla en la tarjeta de potencia.	BRD	Indisponibilidad de unidad de bombeo. Requiere revisión interna y cambio de tarjeta. No hay disponibilidad de repuestos por equipo descontinuado, 12 horas se detiene proceso	
			2	Daños graves parada súbita, por falla de tarjeta de control	FTS	Indisponibilidad de unidad de bombeo. Requiere revisión interna cambio de tarjeta. No hay disponibilidad de repuestos por equipo descontinuado, 14 horas se detiene proceso	
			3	Lectura anormal del instrumento por cables sulfatados, no permite que arranque el motor	AIR	Indisponibilidad de unidad de bombeo. Falla de comunicación de la tarjeta de control. Requiere revisión interna de tarjetas y elementos de arrancador 4 horas, se detiene proceso	

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

4.1.5. Hoja de información - Resultados y discusión modos de fallo bombas HPS

La unidad de bombeo horizontal en sus registros históricos Tabla 10-3, presenta ocho eventos de falla, siete de los cuales son modos de fallos que se repiten, este análisis se presenta en la tabla 4-4, la cual muestra las tareas recomendadas para la bomba multietapas.

De los ocho eventos siete es por fuga de crudo por sello mecánico (ELP), este modo de falla ha sido incluidos en 1.A.4.

Un eventos incremento de vibraciones (VIB), este modo de falla ha sido incluidos 1.A.1

El principal modo de falla que se repitió continuamente es fuga de crudo por el sello mecánico, las pérdidas de producción por de 5 horas es de 166 barriles de petróleo por evento. Por la repetividad de los eventos y el valor del sello mecánico, en los siete eventos se tiene un gasto de 42.000 usd, que es un valor representativo en el presupuesto.

Tabla 4-1: Hoja de información RCM2 Bomba HPS

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA:			SISTEMA N°:	FECHA:	HOJA N°
		UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL HPS			ATP-BPO	7-Jun	1
		SUBSISTEMA:			SUB SISTEMA N°:	FACILITADOR:	DE
		BOMBA HPS			ATP-BPO-SBPO	Castillo V.	1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CÓDIGO NORMA ISO 14224	EFECTO DE LA FALLA		
1	Bombear crudo a los pozos de producción a un caudal de 7600 BPPD y una presión de 3800 PSI.	A	Incapaz de bombear crudo	1	No gira la bomba al momento de encender por rotura de eje por atascamiento por presencia de sedimentos de hidrocarburos.	FTS	Indisponibilidad de sistema. Requiere cambio de bomba, 48 horas se detiene proceso
				2	Presión de descarga no alcanza los 3800 PSI por recirculación de fluido por válvula reguladora de presión.	LOO	Indisponibilidad de sistema. Se requiere cambio de asientos de la válvula, 4 horas se detiene proceso
				3	Fuga de crudo por sello mecánico	ELP	Indisponibilidad de sistema. Requiere cambio de sello mecánico, 6 horas se detiene el proceso.
				4	Vibración excesiva mayor a 0.28 inch/s. (rms) por soportes flojos	VIB	Indisponibilidad de sistema. Requiere re ajustes en soportes de bomba, no se detiene proceso
				5	Lectura anormal del instrumento de presión de descarga	AIR	Indisponibilidad de sistema. revisión de la instrumentación 3 horas se detiene proceso

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

4.2. Comprobación de hipótesis en relación con base de datos OREDA

4.2.1. Análisis datos OREDA 2009 para equipos unidad HPS.

OREDA, 2009, en su introducción indica que es un documento destinado a permitir la utilización de datos en el interés de la evaluación de la fiabilidad, la disponibilidad, mantenibilidad y la seguridad en las industrias de petróleo y gas, además menciona que la exactitud de los datos enumerados en este documento está asegurada únicamente dentro de los límites indicados en cada capítulo y sus fuentes, donde se puede garantizar la corrección (p.3).

Sexto, (2014), Explica que existen varias bases de datos las cuales son una referencia o punto de partida, pero que lo más importante es entender el verdadero contexto operacional, sin embargo cita un gráfico publicado por OREDA donde se observan los porcentajes de utilización dentro de los cuales se enmarca esta investigación y el objetivo final cuando se implemente las actividades del RCM realizado en esta investigación, el tiempo estimado para lograr estos objetivos está identificado como un año, sin embargo dependerá de la asignación de recursos y de la cultura organizacional de la empresa la cual está enmarcada dentro de la mejora continua.(p.57).

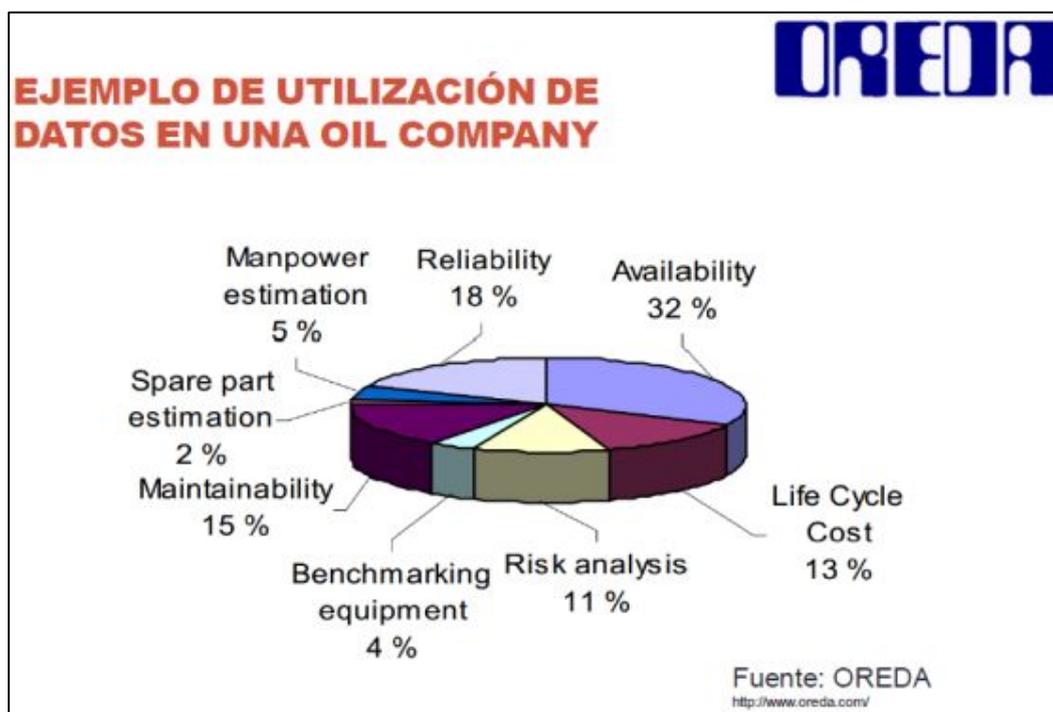


Figura 5-4: Utilización de OREDA dentro de una empresa petrolera.

Fuente: Sexto L. 2014

Basado en esta estimación se realiza un benchmarking (comparación) con los datos obtenidos para los equipos del sistema de bombeo HPS de la estación Atacapi, y se define como punto de llegada luego de la aplicación de RCM al valor medio de tasa de fallos presentados por OREDA para cada tipo de equipo.

Al aplicar la metodología del RCM, y por cuanto de acuerdo en el desarrollo de la investigación se ha llegado a establecer tareas completamente factibles y lógicas de ejecución, la reducción de la tasa de fallas de cada uno de los equipos y del sistema va a permitir obtener el promedio de los parámetros de clase mundial establecidos en la base de datos OREDA.

Tabla 5-4: Base de datos ORDEDA, Motores eléctricos

OREDA-2009 169 Volume 1-Topside Equipment										
Taxonomy n°		Item.								
2.2		Electric Equipment Electric motors								
Population	Instalations	Aggregated time in service (106 hours)					N° of demands			
		Calendar time*			Operational time		2440			
143	11	3.4249			2.6212					
Failure mode	N° of failures	Failure rate (10 ⁶ horas)					Active rep. hrs.		Manhours	
		Lower	Mean	Upper	SD	n/τ	Mean	Max	Mean	Max
All modes	128*	8.74	58.72	145.69	44.66	37.37	9.4	114	16	211
	128	14.32	72.85	168.66	49.61	48.83				

Fuente: OREDA 2009, p.265-266, Realizado por: Castillo Vinicio, 2016.

Tabla 6-4: Base de datos ORDEDA, bombas centrifugas manejo de crudo.

OREDA-2009 169 Volume 1-Topside Equipment										
Taxonomy n°		Item.								
1.3.1.4		Machinery Pumps Centrifugal, Crude oil handling								
Population	Instalations	Aggregated time in service (10 ⁶ hours)					N° of demands			
		Calendar time*			Operational time					
5	2	0.1052			0.0876					
Failure mode	N° of failures	Failure rate (10 ⁶ horas)					Active rep. hrs.		Manhours	
		Lower	Mean	Upper	SD	n/τ	Mean	Max	Mean	Max
All modes	57*	429,25	541.629	664,77	71.74	541,62	11	45	34	231
	57	333,26	681,75	1130,67	246,14	650,68				

Fuente: OREDA 2009, p.156, Realizado por: Castillo Vinicio, 2016.

De esta manera se presentan los datos obtenidos de las tablas de OREDA 2009 presentados en el anexo C-D y en las tablas 5-4, y 6-4.

El cálculo de la fiabilidad se realiza para los equipos Motor eléctrico, Bomba HPS, tomando en cuenta que según la subdivisión de no considera a la cámara de empuje como un activo independiente, sino como un solo conjunto Motor-Bomba.

En la Tabla 7-4, se obtiene la tasa de fallos para motor y bomba en serie con los cual se obtiene un dato de 0.000600349, que equivale a un tiempo medio de fallas de 1666 horas para la unidad HPS, al compararlo con las 730 horas actuales.

No se considera el arrancador debido a que el análisis evidencio que la única forma de mejorar su fiabilidad es la sustitución, alcance que depende de factores empresariales distintos a este análisis.

Tabla 7-4: Base de datos ORDEDA, Motores eléctricos

EQUIPO	CAMPO	OREDA
MOTOR	0,000285	5,87E-05
CAMARA	0,000685	5,42E-04
BOMBA	0,000457	
UNIDAD HPS	0,0014270	0,000600349
Tiempo medio hasta la falla (horas)	701	1666
Tiempo medio hasta la falla (días)	29	69

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

4.2.2. Comprobación de hipótesis en base a T Student.

Es necesario realizar la comprobación de hipótesis para evidenciar que la aplicación de RCM es factible matemáticamente. Se lo puede hacer mediante el método de T de Student.

Esta técnica paramétrica se utiliza para comparar la media de una variable independiente cuantitativa entre dos grupos de valores de muestras relacionadas (emparejadas), para comparar si mejora o no el tiempo medio hasta la falla con la aplicación de RCM se utilizara las siguientes premisas:

Hipótesis alternativa: Existen diferencias significativas al aplicar RCM y mejora la tasa de fallos actual comparada con el promedio de OREDA, comparando las medias de dos grupos con un nivel de confianza de 95%

$$H_1 : X_1 \neq X_2$$

Hipótesis Nula: No existen diferencias significativas al aplicar RCM y mejorar la tasa de fallos actual comparada con el promedio de OREDA, comparando las medias de dos grupos con un nivel de confianza de 95%

$$H_0 : X_1 = X_2$$

Dónde:

X_1 = OREDA (h) Variable 1

X_2 = Actual (h) Variable 2

En la Tabla 8-4 se presentan los resultados de aplicar el cálculo utilizando la función análisis de datos de Microsoft Excel, a los datos de proyección del Anexo E, donde se muestra la diferencia de confiabilidad para la tasa de fallos real (X_2) frente a la tasa de fallos de OREDA 2009 (X_1), para un nivel de confianza del 95%.

Tabla 8-4: Resultados prueba de hipótesis T Student muestras emparejadas

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas	empírico (h) Variable 1	de análisis (h) Variable 2
Media	0,195006747	0,092627918
Varianza	0,070907306	0,049082225
Observaciones	31	31
Coefficiente de correlación de Pearson	0,923598441	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	30	
Estadístico t	5,430976685	
P(T<=t) una cola	3,44944E-06	
Valor crítico de t (una cola)	1,697260887	
P(T<=t) dos colas	6,89888E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	2,042272456	

Realizado por: Castillo, Vinicio, 2016.

Las ponderaciones que justifican determinar que la hipótesis alternativa es correcta son que:

1.- P valor dos colas $6,89 \times 10^{-6}$ es menor que 0.05 (valor de probabilidad)

2.- El estadístico t 5.43097 es mayor que 2,04 (valor crítico de dos colas)

Por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa al demostrar que “Existen diferencias significativas al aplicar la técnica de RCM y llegar al promedio de tiempo medio hasta la falla indicado en la base de datos OREDA a un nivel de confianza de 95%”

CAPITULO V

5. PROPUESTA

En el presente capítulo y una vez que se han elaborado las hojas de información de cada equipo de la unidad de bombeo horizontal HPS en el capítulo 4, se procede a con la elaboración de las hojas de decisión, para lo cual se analiza cada uno de los modos de falla con el “diagrama de decisión RCM II” que se presentó en el capítulo 2. En las hojas de decisión se presenta la propuesta de las tareas de mantenimiento necesarias para mitigar los eventos de falla imprevistos que están causando afectación de pérdidas de producción.

La unidad HPS de la estación Atacapi, es el equipo más importante y es la razón de ser del sistema de recuperación secundaria Power Oil, las hojas de decisión desarrolladas contienen propuestas que se analiza tienen tareas factibles y lógicas.

Moubray, (2004) explica que la aplicación correcta del RCM concluye al completar las hojas de decisión, donde se detalla la cantidad de tareas rutinarias que requieren realizarse a intervalos regulares para que el activo continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga. (p, 216)

5.1. Hojas de decisión para equipos en la unidad de bombeo horizontal HPS.

En la Tabla 1-5 se expone la hoja de decisión y las tareas propuestas para cada evento de falla analizado y en base a la cual se realizará el análisis y propuesta del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para el motor eléctrico.

Similar propuesta se realiza para la cámara de empuje presentado en la Tabla 2-5, tomando en cuenta que su valor es mucho menor respecto al motor eléctrico, se puede dar una prioridad similar o ligeramente inferior.

Finalmente la propuesta y para la bomba HPS presentado en las Tabla 3-5, solo tiene relevancia sobre el sello mecánico, e instrumentación son los únicos elementos susceptibles a cambio de

forma externa, realmente la unidad una vez que sufra un daño será irreversible y debe ser cambiada.

De similar manera se maneja el tema del arrancador suave presentado en la Tabla 4-5, evidencia que el patrón de falla de un elemento eléctrico, es funciona o no funciona y no presenta declive en su modo de falla; es decir se presenta esporádicamente, sin embargo la falta de repuestos hace que se presente la solución con el cambio de tecnología, que sería la única solución en caso de un daño mayor.

5.1.1. Hoja de decisión para el motor eléctrico

Tabla 1-5: Hoja de decisión RCM2 Motor eléctrico.

HOJA DE DECISION RCM II			SISTEMA: UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL HPS										SISTEMA N°: ATP-BPO	FECHA:	HOJA N° 1	
			SUBSISTEMA: MOTOR ELÉCTRICO										SUB SISTEMA N°: ATP-BPO-SBPO	FACILIDAD OR: Castillo V	DE 1	
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	ACCIÓN A FALTA DE				TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	S						Análisis de vibraciones en rodamientos, valor de aceleración en altas frecuencias debe ser menor de 3g (rms)	Mensual	Predictivo	
		2	S	N	N	S	S						Pruebas con equipo MCEMAX analizador de circuitos de motores : 1) Índice de polarización > 5 ; 2) Balance de resistencia < 3% ; Balance de inductancia < 8% ; Resistencia a tierra > 7.5 MOhm	Anual	Eléctrico	
		3	S	N	N	S	N	S					Revisar retenedores, cambio de graseros.	Mensual	Eléctrico	
		4	S	N	N	S	N	S					Verificación de alineación motor - bomba, menor a 0.03 mm en vertical y horizontal	Anual	Predictivo	
		5	S	N	N	S	S						Análisis de vibraciones en rodamientos, valor de demodulación en altas frecuencias debe ser menor de 1.5 g (rms)	Trimestral	Predictivo	
		6	S	N	N	S	N	S					Lubricar 50 gr de grasa POLIUREA	Mensual	Eléctrico	
		7	S	N	N	S	S						Monitoreo de parámetros eléctricos, corriente, voltaje; temperatura.	Mensual	Predictivo	
		8	S	N	N	S	N	S					Calibración en display (<1%) y pruebas de RTD's.	Semestral	Instrumentación.	

Realizado por: Vinicio Castillo, 2016

5.1.2. Hoja de decisión para la cámara de empuje

Tabla 2-5: Hoja de decisión RCM2 Cámara de empuje.

HOJA DE DECISION RCM II			SISTEMA: UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL HPS										SISTEMA N°:	FECHA:	HOJA N°	
			SUBSISTEMA: CÁMARA DE EMPUJE										ATP-BPO		1	
REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	ACCIÓN A FALTA DE				TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	S						Análisis de vibraciones en rodamientos, valor de aceleración en altas frecuencias debe ser menor de 3g (rms)	Mensual	Predictivo	
		2	S	N	N	S	N	N	S				Cambio bajo condición ante la presencia de fuga de aceite	A condición	Mecánico	
		3	S	N	N	S	N	S					Ajuste de acoples y de requerir reemplazo de mangueras.	Trimestral	Mecánico	
		4	S	N	N	S	N	S					Verificación de alineación motor - bomba, menor a 0.03 mm en vertical y horizontal	Semestral	Predictivo.	
		5	S	N	N	S	S						Calibración en display (<1%) y pruebas de RTD's.	Trimestral	Instrumentación	
		6	S	N	N	S	S						Análisis de vibraciones en rodamientos, valor de demodulación en altas frecuencias debe ser menor de 1.5 g (rms)	Mensual	Predictivo	
	B	1	S	N	N	S	S						Análisis de vibraciones en rodamientos, valor de aceleración en altas frecuencias debe ser menor de 3g (rms)	Mensual	Predictivo	
		2	S	N	N	S	S						Análisis de vibraciones en rodamientos, valor de aceleración en altas frecuencias debe ser menor de 3g (rms)	Mensual	Predictivo	
		3	S	N	N	S	N	S					Limpieza trimestral con agua y desengrasante de radiador.	Trimestral	Mecánico	

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

5.1.3. Hoja de decisión para la bomba horizontal HPS

Tabla 3-5: Hoja de decisión RCM2 Bomba HPS

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3						
1	A	1	S	N	N	S	N	S				Limpieza de filtros en la succión	Mensual	Mecánico	
		2	S	N	N	S	N	S				Cambiar válvula PCV por otra reacondicionada en taller	Anual	Instrumentación.	
		3	S	N	N	S	N	S				Mantenimiento de filtros (strainers) y plan de limpieza API	Trimestral	Mecánico	
		4	S	N	N	S	N	S				Liberar tensiones en soportes de bombas, hasta obtener un valor menor a 0.28 inch/s. (rms)	A condición	Predictivo	
		5	S	N	N	S	N	S				Calibración en display (<1%) y pruebas de transmisor de presión de descarga	Semestral	Instrumentación.	

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

5.1.4. Hoja de decisión para el arrancador suave

Tabla 4-5: Hoja de decisión RCM2 Arrancador suave.

HOJA DE DECISION RCM II	SISTEMA: UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL HPS										SISTEMA N°: ATP-BPO	FECHA:	HOJA N° 1		
	SUBSISTEMA: ARRANCADOR SUAVE										SUB SISTEMA N°: ATP-BPO-SBPO	FACILITADOR: Castillo V.	DE 1		
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	ACCIÓN A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Equipo discontinuado. reemplazo con un VSD de 1000 KVA		
		2	S	N	N	S	N	N	N				Equipo discontinuado. reemplazo con un VSD de 1000 KVA		
		3	S	N	N	S	N	S					Limpieza con líquido para contactos, reajuste de conexiones en borneras.	Trimestral	

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

5.2. Propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para unidad HPS.

Respecto a los resultados de los modos de falla de cada uno de los equipos que componen la unidad de bombeo horizontal HPS, se discutieron sus históricos de los años 2014 y 2015, su implicación en pérdidas de producción y los costos más representativos de reparación, planteadas las hojas de información se realizaron las hojas de decisión con las tareas propuestas por cada modo de falla, con estos antecedentes se va a proceder a desarrollar las hojas de trabajo que contienen los planes de mantenimiento propuestos para cada uno de los equipos, presentado en las tablas 5-5 a 9-5.

Tabla 5-1: Hoja de trabajo Motor eléctrico.

HOJA DE TRABAJO RCM	Instructivo Operación de Unidades HPS (MODEL: HJ3050N)	Facilitador Vinicio Castillo	Fecha 15-11-2016	Hoja 1 de 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS				
Referencia	Detalle	Frecuencia	A realizar por:	
Motor eléctrico	Análisis de vibraciones en rodamientos, valor de aceleración en altas frecuencias debe ser menor de 3g (rms)	Mensual	Predictivo	
Motor eléctrico	Pruebas con equipo MCEMAX analizador de circuitos de motores : 1) Índice de polarización > 5 ; 2) Balance de resistencia < 3% ; Balance de inductancia < 8%; Resistencia a tierra > 7.5 Mohm	Anual	Eléctrico	
Motor eléctrico	Revisar retenedores, cambio de graseros.	Mensual	Eléctrico	
Motor eléctrico	Verificación de alineación motor - bomba, menor a 0.03 mm en vertical y horizontal	Anual	Predictivo	
Motor eléctrico	Análisis de vibraciones en rodamientos, valor de demodulación en altas frecuencias debe ser menor de 1.5 g (rms)	Trimestral	Predictivo	
Motor eléctrico	Lubricar 50 gr de grasa POLIUREA	Mensual	Eléctrico	
Motor eléctrico	Monitoreo de parámetros eléctricos, corriente, voltaje; temperatura.	Mensual	Predictivo	
Motor eléctrico	Calibración en display (<1%) y pruebas de RTD's.	Semestral	Instrumentación.	

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

Tabla 6-5: Hoja de trabajo Cámara de empuje.

HOJA DE TRABAJO RCM	Instructivo Operación de Unidades HPS (MODEL: HJ3050N)	Facilitador Vinicio Castillo	Fecha 15-11-2016	Hoja 1 de 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS				
Referencia	Detalle	Frecuencia	A realizar por:	
Cámara de empuje	Análisis de vibraciones en rodamientos, valor de aceleración en altas frecuencias debe ser menor de 3g (rms)	Mensual	Predictivo	
Cámara de empuje	Cambio bajo condición ante la presencia de fuga de aceite	A condición	Mecánico	
Cámara de empuje	Ajuste de acoples y de requerir reemplazo de mangueras.	Trimestral	Mecánico	
Cámara de empuje	Verificación de alineación motor - bomba, menor a 0.03 mm en vertical y horizontal	Semestral	Predictivo.	
Cámara de empuje	Calibración en display (<1%) y pruebas de RTD's.	Trimestral	Instrumentación	
Cámara de empuje	Análisis de vibraciones en rodamientos, valor de demodulación en altas frecuencias debe ser menor de 1.5 g (rms)	Mensual	Predictivo	
Cámara de empuje	Análisis de vibraciones en rodamientos, valor de aceleración en altas frecuencias debe ser menor de 3g (rms)	Mensual	Predictivo	
Cámara de empuje	Análisis de vibraciones en rodamientos, valor de aceleración en altas frecuencias debe ser menor de 3g (rms)	Mensual	Predictivo	
Cámara de empuje	Limpieza trimestral con agua y desengrasante de radiador.	Trimestral	Mecánico	

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

Tabla 7-5: Hoja de trabajo Bomba HPS

HOJA DE TRABAJO RCM	Instructivo Operación de Unidades HPS (MODEL: HJ3050N)	Facilitador Vinicio Castillo	Fecha 15-11-2016	Hoja 1 de 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS				
Referencia	Detalle	Frecuencia	A realizar por:	
Bomba HPS	Limpieza de filtros en la succión	Mensual	Mecánico	
Bomba HPS	Cambiar válvula PCV por otra reacondicionada en taller	Anual	Instrumentación.	
Bomba HPS	Mantenimiento de strainers y plan de limpieza API	Trimestral	Mecánico	
Bomba HPS	Liberar tensiones en soportes de bombas, hasta obtener un valor menor a 0.28 inch/s. (rms)	A condición	Predictivo	
Bomba HPS	Calibración en display (<1%) y pruebas de transmisor de presión de descarga	Semestral	Instrumentación.	

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

Tabla 8-5: Hoja de trabajo Bomba HPS

HOJA DE TRABAJO RCM	Instructivo Operación de Unidades HPS (MODEL: HJ3050N)	Facilitador Vinicio Castillo	Fecha 15-11-2016	Hoja 1 de 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS				
Referencia	Detalle	Frecuencia	A realizar por:	
Bomba HPS	Limpieza de filtros en la succión	Mensual	Mecánico	
Bomba HPS	Cambiar válvula PCV por otra reacondicionada en taller	Anual	Instrumentación.	
Bomba HPS	Mantenimiento de strainers y plan de limpieza API	Trimestral	Mecánico	
Bomba HPS	Liberar tensiones en soportes de bombas, hasta obtener un valor menor a 0.28 inch/s. (rms)	A condición	Predictivo	
Bomba HPS	Calibración en display (<1%) y pruebas de transmisor de presión de descarga	Semestral	Instrumentación.	
Arrancador	Equipo discontinuado. reemplazo con un VSD de 1000 KVA			
Arrancador	Equipo discontinuado. reemplazo con un VSD de 1000 KVA			
Arrancador	Limpieza con líquido para contactos, reajuste de conexiones en borneras.	Trimestral		

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

Tabla 9-5: Hoja de trabajo unidad HPS tareas de Operación

HOJA DE TRABAJO RCM	Instructivo Operación de Unidades HPS (MODEL: HJ3050N)	Facilitador Vinicio Castillo	Fecha 15-11-2016	Hoja 1 de 1
VERIFICACIONES DURANTE EL FUNCIONAMIENTO				
Motor eléctrico	Verificar valores en VSD Voltaje, amperaje, Frecuencia, temperatura de motor.	Cada Hora	Operador	
Cámara de empuje	Verificar Niveles y temperatura en VSD	Cada Hora	Operador	
Bomba HPS	Verificar que no exista fugas	Cada turno	Operador	
Bomba HPS	Verificar Totalizador y contrastar con niveles de tanque	Cada Hora	Operador	
Instrumentación	Verificar valores de Instrumentación electrónica Vs instrumentación analógica	Cada turno	Operador	
Caudal de Agua	Verificar caudal de crudo	Cada turno	Operador	
Enfriador de Aceite	Verificar nivel de aceite en reservorio, elementos sueltos, fugas	Cada turno	Operador	

Realizado por: Vinicio Castillo. 2016

CONCLUSIONES:

Se obtuvo la base teórica, conceptos y definiciones para lograr el desarrollo de la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad de la unidad de bombeo horizontal HPS, de igual manera que de la tasa de fallos.

Se estableció la metodología que con su aplicación se logró realizar la propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad, incorporando para el mismo el análisis del contexto operacional y el análisis de los eventos de falla históricos de los años 2014 y 2015, fuente de información muy importante para plantear tareas de mantenimiento y evitar los eventos de falla imprevistos que afectan al sistema especialmente a la producción.

Se confirma la hipótesis que al aplicar la técnica de RCM al sistema Power Oil de la estación Atacapi, mejorara notablemente el tiempo medio entre fallas y en consecuencia el número de fallas disminuye, esta reducción del número de fallas del sistema implica directamente una reducción de las pérdidas de producción de petróleo, reducción de costos de mantenimiento asociados con tiempo de horas hombre y costos de materiales y repuestos.

Con la aplicación de RCM se pasaría de tener un tiempo medio entre fallas de 29 a 69 días, al analizar esta afirmación en porcentaje se obtiene una reducción de la tasa de fallas del 57,95 %. Del histórico se evidencia que se perdieron 6216 BLS en dos años, lo que implica que con la aplicación de RCM se puede evitar la pérdida de al menos 3602 BLS.

El beneficio económico para la empresa al reducir la tasa de fallos se calcula en 131.302,43 USD. (Utilidad neta por barril de petróleo de 36,45 USD)

Es de suma importancia el análisis histórico de los modos de falla de los equipos, permite valorar en su real contexto operacional, que eventos son los que más negativamente están influyendo en el sistema, valorándolos desde varios puntos de vista como repetividad y afectación a la producción, y con la ayuda del RCM direccionar los recursos más eficientemente.

Con RCM no se pretende cambiar la estructura del trabajo, ni añadir tareas que no sean factibles de cumplir, simplemente se puede evidenciar cuales son los modos de falla y los equipos que mayor afectación tienen para poder tomar acciones proactivas para afianzar que el activo continúe cumpliendo su función.

RECOMENDACIONES

Al departamento de Mantenimiento la aplicación inmediata previa la capacitación a los técnicos por el Ingeniero de Confiabilidad quien cumplirá las funciones de facilitador.

Asignación de recursos para la compra urgente de repuestos, así como la adquisición de un motor eléctrico de 800 hp, una cámara de empuje y un enfriador, para mantenerlo disponible en el campo Libertador ya que estos equipos son los que tienen menor confiabilidad dentro del sistema.

De acuerdo a los resultados y discusión de los modos de fallo expuestos en el capítulo 4, y en función de las restricciones presupuestarias actuales, priorizar la implementación de los planes de mantenimiento propuestos, iniciando por los equipos que mayor afectación a la producción tienen sus eventos de falla.

Impulsar las actividades de mantenimiento relacionadas a confiabilidad, respecto al uso de equipos de alta tecnología, como son el analizador de motores eléctricos, analizador de vibraciones, así como la cooperación interdepartamental para realizar las paradas programadas para mantenimiento anual donde se pueden resolver varios de los inconvenientes reportados por esta área.

Considerar un plan de capacitación el cual se presenta en la Tabla 1-5, la capacitación es muy necesaria para obtener la colaboración de técnicos y supervisores de tal manera de conseguir los objetivos planteados.

Tabla 1-5: Plan de capacitación RCM B57 Libertador año 2016

Plan de capacitación para departamento de Mantenimiento B57 Libertador año 2016											
ITEM	Detalle	HORAS	Personal	14-01-17	15-01-17	21-01-17	22-01-17	28-01-17	29-01-17	04-02-17	05-02-17
1	Conocimiento general de RCM su historia, sus beneficios y su aplicación dentro del B57-Libertador	2	TECNICOS, SUPERVISOR (MECÁNICOS)	GRUPO 1							
		2	TECNICOS, SUPERVISOR (MECÁNICOS)					GRUPO 2			
2	Análisis y difusión del plan general de RCM para los equipos del sistema Power oil de la estación Atacapi como un plan Piloto	2	TECNICOS, SUPERVISOR (MECÁNICOS)		GRUPO1						
		2	TECNICOS, SUPERVISOR (MECÁNICOS)						GRUPO 2		

Nota: requiere revisión después de 3 meses de aplicación

Tabla 1-5: continúa...

Plan de capacitación para departamento de Mantenimiento B57 Libertador año 2016

ITEM	Detalle	HORAS	Personal	14-01-17	15-01-17	21-01-17	22-01-17	28-01-17	29-01-17	04-02-17	05-02-17
3	Análisis y difusión de las hojas de información y decisión, así como las tareas asignadas a cada área Motor eléctrico y Cámara de empuje, Instrumentación.	2	TECNICOS, SUPERVISOR (ELÉCTRICOS)			GRUPO 1					
		2	TECNICOS, SUPERVISOR (ELÉCTRICOS)							GRUPO 2	
4	Análisis y difusión de las hojas de información y decisión, así como las tareas asignadas a cada área bomba HPS y Arrancador, Instrumentación.	2	TECNICOS, SUPERVISOR (ELÉCTRICOS)				GRUPO 1				
		2	TECNICOS, SUPERVISOR (ELÉCTRICOS)								GRUPO 2

Nota: requiere revisión después de 3 meses de aplicación

Realizado por: Castillo, Vinicio, 2016.

BIBLIOGRAFÍA

COLOMA, P. (2006). Análisis técnico- comparativo los sistemas de bombeo de inyección BHT y a las unidades (bombas) de desplazamiento positivo BDP, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL. FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA. ESCUELA DE TECNOLOGÍA DE PETRÓLEOS. Tesis de Grado. Quito, Ecuador.
2015-08-16

ECUADOR. SECRETARIA DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR. (2015). Informe de rendición de cuentas 2014. PPXX
<http://www.hidrocarburos.gob.ec>
2015-06-18

ESPAÑA. NT. UNE-EN 13306. (2002). Terminología del mantenimiento. Terminología del mantenimiento. Madrid, España. pp. 8-19.

GRAN BRETAÑA. NT. BS 60812. (2006). Analysis techniques for system reliability Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA. Londres - Gran Bretaña. BS NT 60812. pp. 7-50.

IBM. Software “Máximo para Oil&Gas”.
<http://www-03.ibm.com/software/products/es/maximo-for-oil-and-gas>
2016-08-27

MOUBRAY, J. (2004, Enero). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Gran Bretaña. pp 1-416

OREDA, Offshore Reliability Data (OREDA)
<http://www.oreda.com/about-us/>
2016-10-01

PLACENCIA, S. (2014). FMECA para el Análisis de Riesgo. Riobamba, Ecuador. pp 1-46

Prueba t de student para muestras relacionadas

<https://www.youtube.com/watch?v=2B5pOMMmo7M>

2016-10-28

SEXTO, L.F. (2015). Auditoria para evaluar la gestión de mantenimiento en la empresa. Italia. pp 2-41

SEXTO, L.F. (2015). Ingeniería de la fiabilidad. Italia. pp 2-61

SUIZA. NT. ISO 14224 Petroleum, petrochemical and natural gas industries. Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. SUIZA NT 14224. pp. 4-170.

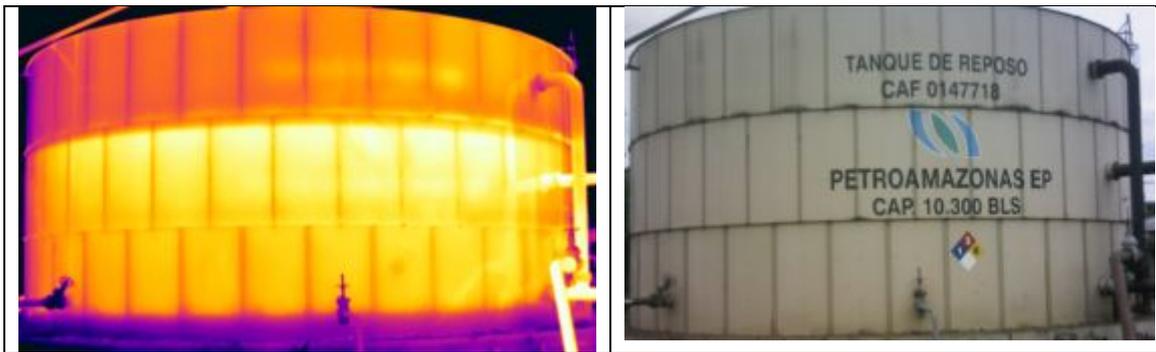
USA. NT. SAE J1012, S. (2002, Enero). Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie. Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). USA. pp 1-57

ANEXOS

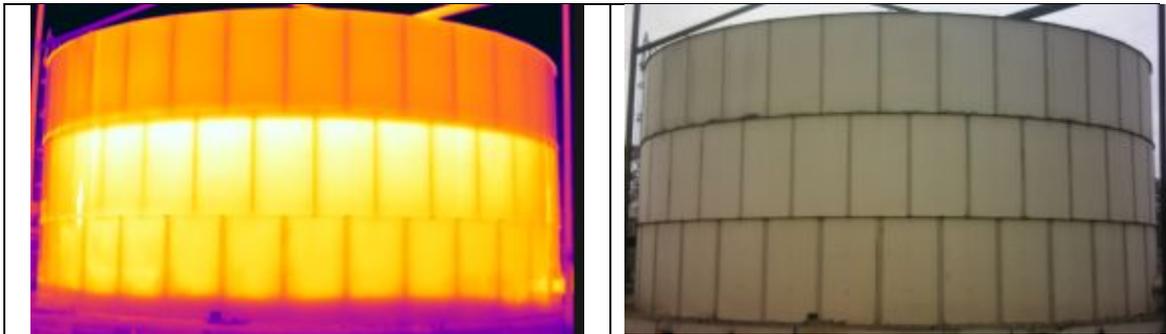
Anexo A: Reporte de termografía Tanque T-0648

REPORTE N°	UBICACIÓN	PERMISO DE TRABAJO	ORDEN DE TRABAJO			
LB-084-TER-2016	ESTACIÓN ATACAPI	NA	OT-160776205			
	TANQUE DE REPOSO T-0648					
ANÁLISIS REALIZADOS	VIBRACIONES	<input type="checkbox"/>	ANÁLISIS ACEITE	<input type="checkbox"/>	ULTRASONIDO	<input type="checkbox"/>
	TERMOGRAFÍA	<input checked="" type="checkbox"/>	ACEITE DIELECTRICO	<input type="checkbox"/>	CORRIENTES	<input type="checkbox"/>

VISTA FRONTAL



VISTA POSTERIOR.



RESULTADOS

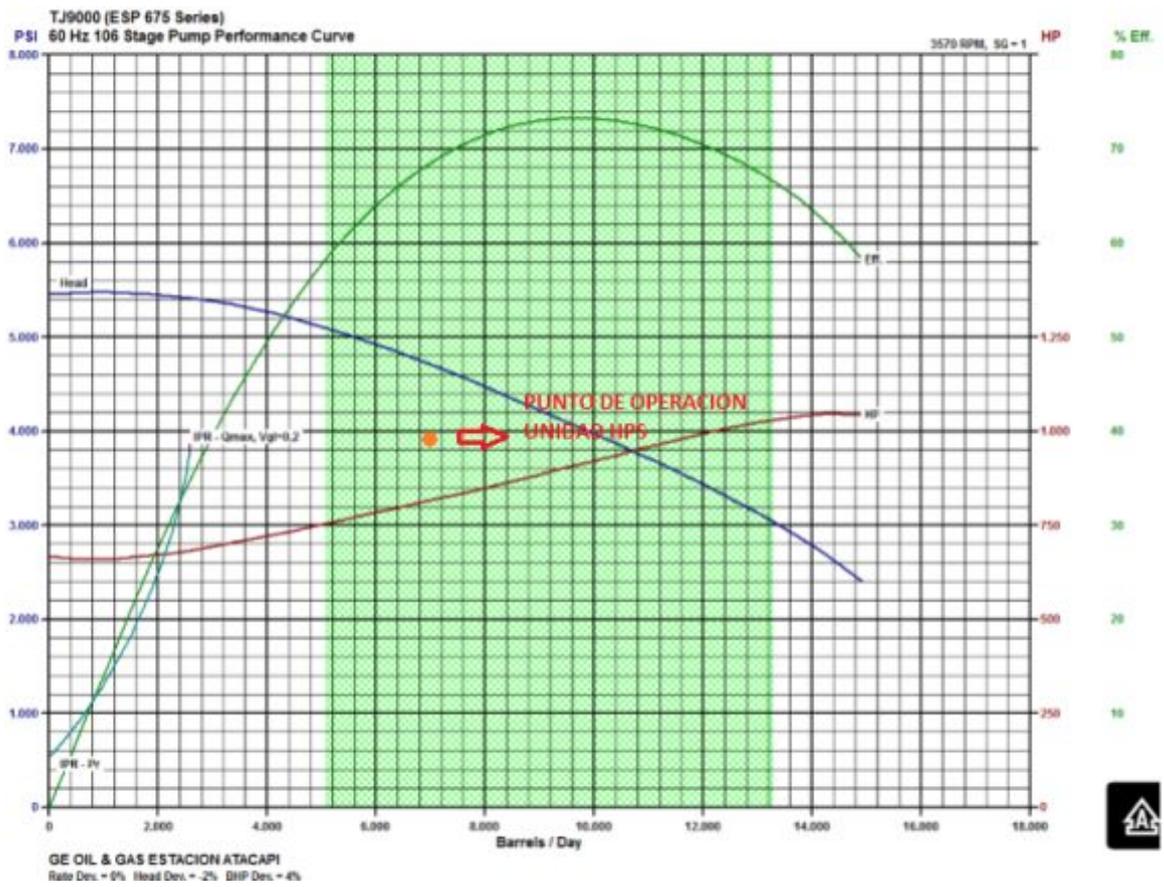
- **Tanque de reposo (empernado):** se observa presencia de sedimentos alrededor del tanque con una altura promedio aproximada de 4 pies.

RECOMENDACIONES

- Planificar limpieza y evacuación de sedimentos en el tanque de reposo.
- Realizar limpieza y evacuación de sedimentos en las líneas y pulmones que direccionan al sistema Power Oil.
- Realizar limpieza periódica de las unidades HPS con agentes químicos trimestralmente.

Elaborado: Miguel Collahuazo/Luis Topón	Solicitado por: Sistema de Gestión Máximo
---	---

Anexo B: Curva caudal vs presión bomba HPS TJ 9000



Anexo C: base de datos OREDA Motor eléctrico

Taxonomy no 2.2		Item Electric Equipment Electric motors								
Population 143	Installations 11	Aggregated time in service (10 ⁶ hours)					No of demands 2440			
		Calendar time * 3.4249		Operational time † 2.6212						
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 10 ⁶ hours)					Active rep. hrs		Manhours	
		Lower	Mean	Upper	SD	n / τ	Mean	Max	Mean	Max
Critical	57*	3.14	25.11	64.55	20.14	16.64	13	73	24	211
	57†	5.05	31.27	76.09	23.06	21.75				
Breakdown	4*	4E-4	2.06	9.15	3.61	1.17	12	15*	68	211*
	4†	7E-4	2.25	9.85	3.85	1.53				
Fail to start on demand	13*	0.56	5.24	13.97	4.44	3.80	7.2	16*	9.6	24
	13†	0.74	6.73	17.79	5.64	4.96				
Low output	11*	3E-3	8.48	37.05	14.45	3.21	16	48	22	48
	11†	1E-3	9.34	42.23	16.78	4.20				
Noise	1*	-	0.33	1.45	0.57	0.29	-	-	60	60*
	1†	-	0.51	2.62	1.14	0.36				
Overheating	2*	5E-3	0.75	2.61	0.97	0.56	3.0	4.0*	3.0	4.0*
	2†	0.10	0.82	2.11	0.66	0.76				
Parameter deviation	3*	0.02	1.43	4.64	1.69	0.86	2.5	4.0*	3.0	4.0*
	3†	0.01	1.88	6.46	2.38	1.14				
Spurious stop	13*	0.77	4.32	10.24	3.05	3.80	16	65	23	129
	13†	0.63	5.62	15.44	4.90	4.96				
Structural deficiency	8*	-	1.55	7.74	3.30	2.34	19	73*	36	146*
	8†	1E-3	1.99	8.52	3.29	3.05				
Vibration	2*	0.02	0.59	1.82	0.63	0.56	-	-	24	24*
	2†	2E-3	0.79	3.11	1.16	0.76				
Degraded	31*	1.63	13.78	35.80	11.22	9.05	9.9	114	15	114
	31†	2.33	16.23	40.61	12.50	11.83				
External leakage - Utility medium	5*	0.04	3.13	9.94	3.58	1.46	2.6	5.0*	3.1	5.0*
	5†	0.03	4.22	14.28	5.25	1.91				
Fail to start on demand	1*	-	0.94	4.58	1.91	0.29	114	114*	114	114*
	1†	-	1.01	4.94	2.07	0.36				
Fail to stop on demand	1*	-	0.94	4.58	1.91	0.29	-	-	-	-
	1†	-	1.01	4.94	2.07	0.36				
Low output	1*	-	0.69	3.38	1.41	0.29	3.5	3.5*	7.0	7.0*
	1†	-	0.78	3.72	1.53	0.36				
Parameter deviation	6*	0.02	3.97	14.81	5.47	1.75	5.4	17*	9.3	34*
	6†	0.02	5.09	19.59	7.22	2.29				
Structural deficiency	12*	-	1.96	10.90	5.60	3.50	7.5	14	7.8	14
	12†	-	2.41	12.95	5.99	4.58				
Vibration	3*	5E-3	0.77	2.69	0.99	0.86	5.5	6.0*	7.3	12*
	3†	0.02	0.97	3.02	1.08	1.14				
Other	2*	-	1.94	9.36	3.87	0.56	-	-	72	112*
	2†	-	2.07	10.21	4.31	0.76				
Incipient	37*	1.70	16.05	42.81	13.63	10.80	5.2	50	6.8	100
	37†	2.53	19.32	49.27	15.31	14.12				
Abnormal instrument reading	14*	0.08	4.27	13.30	4.72	4.09	7.3	50	11	100
	14†	0.07	5.10	16.24	5.85	5.34				
Comments										

(cont.)

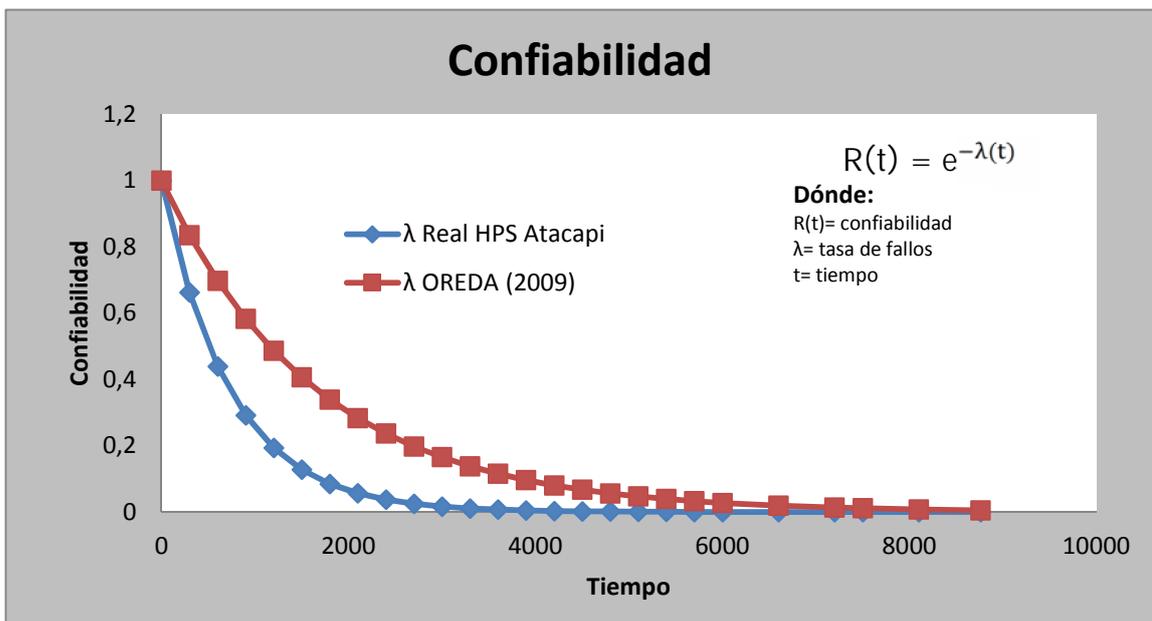
Taxonomy no 2.2		Item Electric Equipment Electric motors								
Population	Installations	Aggregated time in service (10 ⁶ hours)					No of demands			
143	11	Calendar time *		Operational time †			2440			
		3.4249		2.6212						
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 10 ⁶ hours)					Active rep. hrs		Manhours	
		Lower	Mean	Upper	SD	n / t	Mean	Max	Mean	Max
External leakage - Utility medium	1*	-	0.75	3.67	1.54	0.29	15	15*	15	15*
	1†	-	1.20	5.05	2.45	0.30				
Minor in-service problems	11*	0.03	3.20	10.65	3.90	3.21	4.7	18*	5.2	18*
	11†	0.12	3.98	12.11	4.18	4.20				
Parameter deviation	2*	-	1.52	7.52	3.19	0.58	1.0	1.0*	1.0	1.0*
	2†	-	1.71	8.53	3.64	0.75				
Vibration	1*	-	0.69	3.38	1.41	0.29	1.5	1.5*	1.5	1.5*
	1†	-	0.78	3.72	1.53	0.38				
Other	5*	0.01	2.80	10.28	3.80	1.45	1.4	2.0*	1.6	3.0*
	5†	0.01	3.70	14.32	5.29	1.91				
Unknown	3*	4E-3	2.25	9.08	3.42	0.88	4.5	12*	4.7	12*
	3†	4E-3	2.53	10.22	3.85	1.14				
Unknown	3*	4E-3	2.25	9.08	3.42	0.88	1.3	4.0*	2.0	4.0*
	3†	4E-3	2.53	10.22	3.85	1.14				
Overheating	1*	-	0.69	3.38	1.41	0.29				
	1†	-	0.78	3.72	1.53	0.38				
Unknown	2*	6E-3	1.38	5.24	1.93	0.58	2.0	4.0*	4.0	4.0*
	2†	0.01	1.54	5.61	2.07	0.76				
All modes	128*	8.74	58.72	145.69	44.66	37.37	9.4	114	16	211
	128†	14.32	72.85	168.66	49.61	48.83				
Comments On demand probability for consequence class: Critical and failure mode: Fail to start on demand = 1.6 10 ⁻³										

Anexo D: base de datos OREDA Bomba que maneja petróleo crudo.

Taxonomy no 1.3.1.4		Item Machinery Pumps Centrifugal Crude oil handling								
Population 5	Installations 2	Aggregated time in service (10 ⁶ hours)					No of demands			
		Calendar time * 0.1052		Operational time † 0.0676			Active rep. hrs		Manhours	
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 10 ⁶ hours).					Mean	Max	Mean	Max
		Lower	Mean	Upper	SD	n /c				
Critical	4*	0.33	38.00	126.92	46.54	38.01	-	-	115	231*
	4†	0.28	55.18	199.42	73.69	45.66				
Spurious stop	1*	0.04	9.50	36.48	13.43	9.50	-	-	4.0	4.0*
	1†	0.90	12.37	35.40	11.65	11.42				
Vibration	3*	0.38	28.50	91.12	32.90	28.51	-	-	152	231*
	3†	0.24	40.91	144.56	53.39	34.25				
Degraded	27*	118.50	256.54	437.26	98.65	256.56	16	45*	41	210
	27†	69.15	338.18	774.82	226.52	308.22				
Erratic output	6*	0.35	57.00	199.35	73.58	57.01	-	-	12	24*
	6†	0.39	83.71	309.09	114.16	68.49				
External leakage - Process medium	1*	0.48	9.50	28.46	9.50	9.50	22	22*	66	66*
	1†	0.08	10.65	36.52	13.45	11.42				
External leakage - Utility medium	5*	18.72	47.51	86.99	21.25	47.51	11	20*	36	83*
	5†	16.69	59.24	123.10	33.63	57.08				
Internal leakage	5*	18.72	47.51	86.99	21.25	47.51	21	45*	33	90*
	5†	22.49	57.08	104.51	25.53	57.08				
Low output	3*	7.79	28.51	59.82	16.46	28.51	12	12*	20	24*
	3†	9.14	33.94	71.57	19.77	34.25				
Vibration	6*	8.97	57.01	139.60	42.47	57.01	12	12*	93	210*
	6†	4.17	78.23	232.76	77.58	68.49				
Other	1*	0.04	9.50	36.48	13.43	9.50	-	-	8.0	8.0*
	1†	0.90	12.37	35.40	11.65	11.42				
Incipient	26*	128.19	247.06	397.41	82.94	247.05	9.1	27	14	30
	26†	205.86	294.64	396.45	58.21	296.80				
Abnormal instrument reading	7*	31.21	66.51	112.50	25.14	66.51	9.3	11*	12	30*
	7†	16.53	86.74	202.37	69.79	79.91				
External leakage - Utility medium	1*	0.04	9.50	36.48	13.43	9.50	-	-	8.0	8.0*
	1†	0.90	12.37	35.40	11.65	11.42				
Minor in-service problems	17*	17.12	161.56	430.73	137.10	161.54	8.9	27	14	27
	17†	46.67	181.10	387.54	108.26	194.06				
Other	1*	0.48	9.50	28.46	9.50	9.50	12	12*	24	24*
	1†	0.08	10.65	36.52	13.45	11.42				
All modes	57*	429.25	541.62	664.77	71.74	541.62	11	45	34	231
	57†	333.26	681.75	1130.67	246.14	650.68				
Comments										

Anexo E: Proyección de confiabilidad según modelo exponencial.

COMPARACIÓN DE CONFIABILIDAD CON TASA DE FALLOS REAL VS OREDA 2009 PARA UNIDAD HPS ESTACION ATACAPI POWER OIL		
Tiempo (t)	OREDA (2009)	Real HPS Atacapi
	0.000600349	0,001427
0	1	1
300	0.835182763	0,651746237
600	0.697530248	0,424773157
900	0.58256524	0,276844307
1200	0.486548447	0,180432235
1500	0.406356876	0,11759603
1800	0.339382259	0,07664277
2100	0.283446213	0,049951637
2400	0.236729391	0,032555791
2700	0.197712307	0,021218115
3000	0.165125911	0,013828826
3300	0.137910315	0,009012886
3600	0.115180318	0,005874114
3900	0.096196616	0,003828432
4200	0.080341755	0,002495166
4500	0.067100049	0,001626215
4800	0.056040805	0,00105988
5100	0.046804314	0,000690773
5400	0.039090156	0,000450208
5700	0.032647425	0,000293422
6000	0.027266566	0,000191236
6600	0.019019255	8,12E-05
7200	0.013266506	3,45E-05
7500	0.011079957	2,25E-05
8100	0.007728605	9,55E-06
8760	0.005200205	3,72E-06



Anexo F: Modos de falla según ISO 14224-2006.

CAMARA DE EMPUJE PARA BOMBA MULTITETAPA			
TAG	PCF-XXX	SISTEMA	BRA
MODELO	88 A,G3	MARCA	SLB, BAKER, GE.
FAILURE CLASS	PUCEWI	TIPO DE ACEITE	ISO VG 68
CAMARA DE EMPUJE (THRUST CHAMBER)			
			
FUENTE: http://sherwenhoss.com/images/pump/400-chamber.jpg			
Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema Máximo Oil&Gas			Problem. Code
No se activa al momento de encender (incapacidad para activar la bomba)			FTS
No se detiene al momento de apagar (incapacidad para detener bomba o proceso)			STP
Falsa parada (interrupción inesperada de la bomba)			SPS
Daños graves (rigidez de movimiento, roturas, explosión, etc)			BRD
Energía de salida alta (Presión/flujo de la energía de salida por encima de lo especificado)			HIO
Energía de salida baja (Presión/flujo de la energía de salida por debajo de lo especificado)			LOO
Salida errática (Presión/flujo oscilante o inestable)			ERO
Fuga externa del producto de procesamiento (ej. agua de formación)			ELP
Fuga externa del producto útil del equipo (ej. Aceite lubricante, refrigerante, grasa, etc)			ELU
Fuga interna (ej. Producto de procesamiento (agua) en el aceite lubricante)			INL
Vibración (vibración excesiva) mayor a 0.28 inch/s. (rms)			VIB
Ruido (Ruido excesivo)			NOI
Sobrecalentamiento (temperatura excesiva) mayor a 90 °C			OHE
Desviación de parámetros (parámetros monitoreados que excede el nivel de tolerancias)			PDE
Lectura anormal del instrumento (Falsa alarma, lectura errónea)			AIR
Deficiencia estructural (ej. Roturas en el soporte o suspensión)			STD
Problemas menores durante el funcionamiento (partes sueltas, decoloración, suciedad, etc)			SER
Otros (se debe especificar en la celda comentarios y detallar en la OT de Máximo)			OTH
Desconocido (sin información disponible) (no se recomienda)			UNK

Fuente: B 57 Confiabilidad

BOMBAS HORIZONTALES MULTIETAPA

TAG	PCF-0115	SISTEMA	BRA
MODELO	HCNXXX, GNXXX	MARCA	SLB,G&E, CENTRILIFT
FAILURE CLASS	PUCEWI	NUMERO DE ETAPAS	XX

MODELO: BOMBA MULTIETAPA TIPICA



FUENTE: http://assets.cmp.bh.mxmcloud.com/...902e/HPump_1.jpg

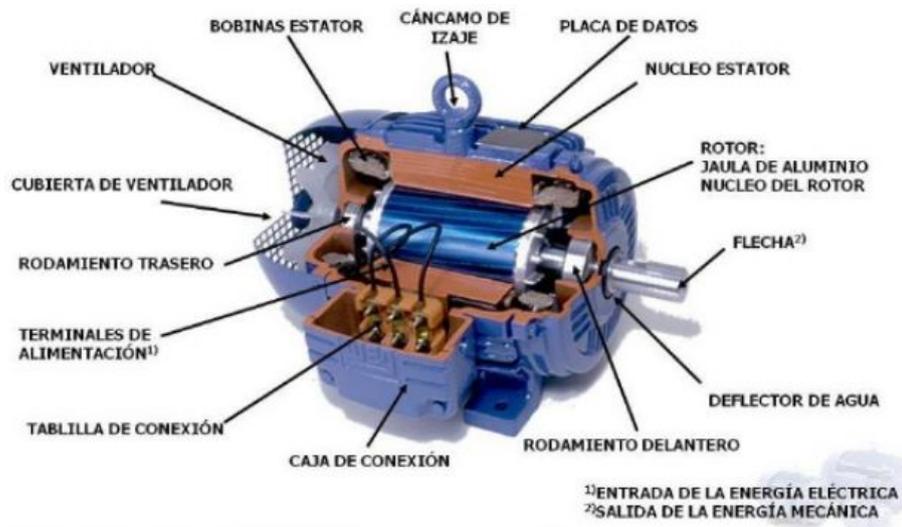
Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema Máximo Oil&Gas	Problem. Code
No se activa al momento de encender (incapacidad para activar la bomba)	FTS
No se detiene al momento de apagar (incapacidad para detener bomba o proceso)	STP
Falsa parada (interrupción inesperada de la bomba)	SPS
Daños graves (rigidez de movimiento, roturas, explosión, etc)	BRD
Energía de salida alta (Presión/flujo de la energía de salida por encima de lo especificado)	HIO
Energía de salida baja (Presión/flujo de la energía de salida por debajo de lo especificado)	LOO
Salida errática (Presión/flujo oscilante o inestable)	ERO
Fuga externa del producto de procesamiento (ej. agua de formación)	ELP
Fuga externa del producto útil del equipo (ej. Aceite lubricante, refrigerante, grasa, etc)	ELU
Fuga interna (ej. Producto de procesamiento (agua) en el aceite lubricante)	INL
Vibración (vibración excesiva) mayor a 0.28 inch/s. (rms)	VIB
Ruido (Ruido excesivo)	NOI
Sobrecalentamiento (temperatura excesiva) mayor a 90 °C	OHE
Desviación de parámetros (parámetros monitoreados que excede el nivel de tolerancias)	PDE
Lectura anormal del instrumento (Falsa alarma, lectura errónea)	AIR
Deficiencia estructural (ej. Roturas en el soporte o suspensión)	STD
Problemas menores durante el funcionamiento (partes sueltas, decoloración, suciedad, etc)	SER
Otros (se debe especificar en la celda comentarios y detallar en la OT de Máximo)	OTH
Desconocido (sin información disponible) (no se recomienda)	UNK

Fuente: B 57 Confiabilidad

MOTOR ELECTRICO DE CORRIENTE ALTERNA

TAG	MEL-XXXX	SISTEMA	BRA
FRAME	445TS	VELOCIDAD DE GIRO	3750 rpm
FAILURE CLASS	EMACWI	POTENCIA (hp)	

MODELO: MOTOR TRIFASICO



FUENTE: <http://www.wegmotorsales.com>

Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema Máximo Oil&Gas	Problem. Code
No se activa al momento de encender (incapacidad para activar el motor)	FTS
No se detiene al momento de apagar (incapacidad para detener el motor o proceso)	STP
Falsa parada (interrupción inesperada del motor)	SPS
Opera sin activar (Arranque no deseado)	OWD
Daños graves (rigidez de movimiento, roturas, explosión, etc)	BRD
Energía de salida alta (energía de salida por encima de lo especificado)	HIO
Energía de salida baja (Velocidad baja o a energía de salida por debajo de lo especificado)	LOO
Salida errática (oscilante)	ERO
Fuga externa del producto útil del equipo (ej. Aceite lubricante, refrigerante, grasa, etc)	ELU
Vibración (vibración excesiva) mayor a 0.28 inch/s. (rms)	VIB
Ruido (Ruido excesivo)	NOI
Sobrecalentamiento (temperatura excesiva) mayor a 100 °C	OHE
Desviación de parámetros (parámetros monitoreados que excede el nivel de tolerancias)	PDE
Lectura anormal del instrumento (Falsa alarma, lectura errónea)	AIR
Deficiencia estructural (ej. Roturas, desgaste, fracturas, etc.)	STD
Problemas menores durante el funcionamiento (partes sueltas, decoloración, suciedad, etc)	SER
Otros (se debe especificar en la celda comentarios y detallar en la OT de Máximo)	OTH
Desconocido (sin información disponible) (no se recomienda)	UNK

Fuente: B 57 Confiabilidad

ARRANCADOR SUAVE PARA MOTORES SUPERIORES A 200 HP.

MODELO	ARRANCADOR	MARCA	BENSHAW, OTROS
FAILURE CLASS	STSOME	POTENCIA (KVA)	500-1000

MODELO: ARRANCADOR SUAVE



FUENTE: Equipos de campo B 57 Libertador

Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema Máximo Oil&Gas	Problem. Code
Pérdida de redundancia	LOR
Fuente de poder	PWRSP
Otros (se debe especificar en la celda comentarios y detallar en la OT de Máximo)	OTH
Desconocido (sin información disponible) (no se recomienda)	UNK

Fuente: B 57 Confiabilidad