

**MODELO PARA EL MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO
BASADO EN LA METODOLOGÍA DE PMO PARA LOS EQUIPOS DE UNA
ESTACIÓN DE UN CAMPO DE PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS.**

**JHON GERARDO AMEZQUITA AMEZQUITA
JIM GONZALO GARCIA POVEDA
JUAN DAVID LESMES GOMEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2014**

**MODELO PARA EL MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO
BASADO EN LA METODOLOGÍA DE PMO PARA LOS EQUIPOS DE UNA
ESTACIÓN DE UN CAMPO DE PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS.**

**JHON GERARDO AMEZQUITA AMEZQUITA
JIM GONZALO GARCIA POVEDA
JUAN DAVID LESMES GOMEZ**

**Monografía de Grado Presentada como requisito para optar el título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**Director
EDGAR DUVAN MORENO
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2014**

AGRADECIMIENTOS

A Edgar Duvan Moreno por su colaboración como director de proyecto.

DEDICATORIA

En primera instancia a Dios por brindarme la oportunidad de realizar esta
formación.

A mis padres quienes con sus principios y valores han
contribuido en mí formación profesional integral.

A mi novia, amigos y compañeros que han estado
brindándome constantemente su
apoyo y confianza.

JHON GERARDO

A mis padres quienes con su amor, dedicación y sabiduría promovieron en mí,
esta ineludible necesidad de descubrir y conocer.

A mi esposa, impulso vital, compañera permanente en esta aventura, quien me
sorprendió con ese simple y poderoso sentimiento: el amor.

A mis hijos por su invaluable afecto, por la alegría diaria, por la magia y el sentido
que dan a mi existencia.

A mi familia y amigos por el apoyo constante y desinteresado.

JIM G

Primero a Dios.

A mi padre Rubén Darío, quien siempre estuvo orgulloso de los logros de sus
hijos. A mi madre Leonor, a mis hermanos Javier Augusto y María Edelmira, a mi
sobrino Javier Alejandro. A mi familia y amigos, por su compañía y estimación.

JUAN DAVID

TABLA DE CONTENIDO

	INTRODUCCIÓN	17
1	MARCO CONCEPTUAL	17
1.1	CAMPO GUANDO	20
1.1.1	DESCRIPCIÓN	20
1.1.2	RESEÑA HISTÓRICA	20
1.1.3	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	22
1.1.4	CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO	24
	CONTRATO DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE	
1.2	CAMPO GUANDO	25
1.3	PROCESOS DE PRODUCCIÓN	27
1.3.1	SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE CRUDO	29
1.3.2	FACILIDADES DE PRODUCCIÓN CAMPO GUANDO	29
1.3.2.1	Manejo de crudo	31
	SISTEMA DE INYECCIÓN DE AGUA Y MANEJO DE AGUA	
1.3.3	DE PRODUCCIÓN	31
1.3.3.1	Captación	32
1.3.3.2	Transferencia	32
1.3.3.3	Inyección	32
1.3.3.4	Manejo Agua De Producción	33
	RECUPERACIÓN Y MANEJO DE GAS	
1.3.4	RECUPERACIÓN Y MANEJO DE GAS	33
1.3.4.1	Gas De Producción	33
1.3.4.2	Gas Separadores Y Tratadores Electrostáticos	35
1.3.4.3	Gas Bota De Gas Y Cobertura	35
1.3.4.4	Gasoducto Flandes - Guando	35
1.3.5	FILOSOFÍA DE CONTROL	35
	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CRUDO EN EL	
1.3.6	CAMPO GUANDO	36
	Proceso De Crudo En Islas Y Distribución De Troncales	
1.3.7	Para La Producción General	39
1.3.7.1	Proceso de crudo en terraza 6. Estación de producción	41
1.3.7.2	Proceso de crudo en isla 6.	42
	Proceso de crudo en terraza 4. Estación de almacenamiento	
1.3.7.3	y despacho	44
	PROCESO DE CRUDO EN LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN	
1.3.7.4	CHICORAL	47
1.4	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	48
1.5	OBJETIVOS	49

1.5.1	OBJETIVOS GENERALES:	49
1.5.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	49
	MARCO TEORICO	50
1.6	METODOLOGIAS DE GESTION DE MANTENIMIENTO	50
	RCM: Reliability centered maintenance (mantenimiento centrado en confiabilidad).	50
1.6.1		50
1.6.2	TPM: MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL	53
1.6.2.1	PILARES DEL TPM	54
1.6.3	PMO	55
1.6.3.1	Que es un sistema PMO	56
1.6.3.2	Ventajas del sistema PMO	59
1.6.3.3	Metodología del PMO	61
1.6.3.4	Implementando un programa de PMO exitoso	63
	Vendiendo Mantenimiento como un Proceso no como un Departamento	63
1.6.3.4.1	PLANEACIÓN DEL PROCESO DE PMO	69
1.7	DIRECCIONAMIENTO DE PMO	69
1.8	EVALUACIÓN DE CRITICIDAD	69
1.9	DISEÑO DE FORMATOS	70
1.10	LISTA DE EQUIPOS PARA EJERCICIO	71
1.11	DESARROLLO DE PROCESO DE PMO	72
1.11.1	RECOPIACIÓN DE TAREAS	72
1.11.2	ANÁLISIS DE CAUSAS DE FALLA (FCA)	74
1.11.3	RACIONALIZACIÓN Y REVISIÓN DEL FCA	78
1.11.4	ANÁLISIS FUNCIONAL	79
1.11.5	EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS	79
1.11.6	DEFINICIÓN DE LA POLITICA DE MANTENIMIENTO	79
1.11.7	AGRUPACIÓN Y REVISIÓN	86
1.11.8	APROBACIÓN E IMPLEMENTACIÓN	88
1.11.9	PROGRAMA DINÁMICO	88
1.11.10	ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO	88
	CONCLUSIONES	90
	BIBLIOGRAFIA	91
	ANEXOS	92

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Panorámica Campo Guando	20
Ilustración 2: Estaciones de Proceso Campo Guando.....	22
Ilustración 3: Algunos Hallazgos Arqueológicos Encontrados en Campo Guando	23
Ilustración 4: Ubicación Geográfica Campo Guando	24
Ilustración 5: Diagrama Proceso Crudo.....	38
Ilustración 6: Líneas de crudo de Campo Guando	39
Ilustración 7: Diagrama Estación Tratamiento de Crudo TERRAZA 6.....	41
Ilustración 8: Diagrama Estación Tratamiento de Crudo ISLA 6.....	43
Ilustración 9: Diagrama Estación Almacenamiento y Bombeo de Crudo.....	45
Ilustración 10: Diagrama Estación de transferencia de custodia de crudo.....	47
Ilustración 11: Flujograma del RCM.....	52
Ilustración 12: Ciclo reactivo del mantenimiento.....	57
Ilustración 13: Enfoque confiabilidad humana.....	64
Ilustración 14: Tareas resultantes de un taller PMO.	68
Ilustración 15: Mejora de la disponibilidad luego de implementar PMO.	68
Ilustración 16: Árbol de Decisión Optimización de Tareas.....	82

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Características de Yacimiento de Campo Guando	25
Tabla 2: Porcentajes de Participación Contrato Asociación Boquerón	27
Tabla 3: Distribución de pozos y Producción Campo Guando	30
Tabla 4: Distribución de UVR de campo Guando	34
Tabla 5: Planeación proceso PMO	70
Tabla 6: Sistema levantamiento.....	71
Tabla 7: Ejemplo de listado de equipos.....	71
Tabla 8: Recopilación de Tareas	74
Tabla 9: Análisis de causa de falla	75
Tabla 10: Consolidado de modos de falla	78
Tabla 11: Plantilla de PMO, Paso 5	81
Tabla 12: Descripción contenido de símbolos.....	83
Tabla 13: Documentación política nueva política.....	85
Tabla 14: Plan de Mantenimiento Optimizado.....	86
Tabla 15: Plantilla análisis costo-beneficio.	89
Tabla 16: Tabla final costo-beneficio.	89
Tabla 17: Racionalización y revisión del FCA.	93
Tabla 18: Evaluación de consecuencias.	97
Tabla 19: Definición de la política de mantenimiento.....	101
Tabla 20: Costo beneficio antes de PMO.....	107
Tabla 21: Costo beneficio después de PMO.	112
Tabla 22: Tabla final Costo beneficio.....	115

ANEXOS

ANEXOS.....	92
ANEXO A. PASO 3 RACIONALIZACION Y REVISION DEL FCA.....	93
ANEXO B. PASO 5 EVALUACION DE CONSECUENCIAS.....	97
ANEXO C. DEFINICION DE LA POLITICA DE MANTENIMIENTO.....	101
ANEXO D. COSTO BENEFICIO.....	107

RESUMEN

TITULO: MODELO PARA EL MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA DE PMO PARA LOS EQUIPOS DE UNA ESTACIÓN DE UN CAMPO DE PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS.¹

AUTOR (ES): JHON GERARDO AMEZQUITA AMEZQUITA, JIM GONZALO GARCIA POVEDA, JUAN DAVID LESMES GOMEZ.

PALABRAS CLAVES: ESTRATEGIA, PLANEACION, MANTENIMIENTO, PMO (OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO PLANEADO), HIDROCARBUROS.

DESCRIPCION:

El presente trabajo contiene el planteamiento de la estrategia de mantenimiento para equipos mecánicos de superficie de sistemas de levantamiento de crudo tipo PCP (bombas de cavidades progresivas) de un campo de producción de hidrocarburos.

La estrategia se basa en la metodología PMO (Optimización del Mantenimiento Planeado), contiene una serie de rutinas de mantenimiento preventivo y predictivo óptimas desde el punto de vista costo beneficio, se pretende disminuir la rata de falla de equipos, incrementando la confiabilidad y disponibilidad del proceso de extracción de crudo acorde a las expectativas de producción de la organización.

Las rutinas de mantenimiento planteadas se espera sean las justamente necesarias, para garantizar el correcto funcionamiento del proceso, extendiendo el ciclo de vida de los activos, disminuyendo los costos de mano de obra y los riesgos de falla asociados a un estado de sobre mantenimiento.

La estrategia definida es una prueba piloto para la formulación del PMO en campo Guando, se desarrolla la fase inicial con el fin de establecer beneficios de implementar la metodología; y lograr el compromiso de la organización para su posterior implementación.

La elección de los equipos obedece a la importancia y criticidad de estos equipos en el logro de uno de los principales objetivos del campo: la extracción continua, estable e ininterrumpida de crudo.

¹ Monografía

Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Edgar Duvan Moreno. Ingeniero Electrónico.

SUMMARY

TITLE: PROPOSAL OF A MAINTENANCE STRATEGY FOR OIL PRODUCTION FIELD BASED METHODOLOGY PMO (PLANNED MAINTENANCE OPTIMIZATION) ¹.

AUTHOR (S): JHON GERARDO AMEZQUITA AMEZQUITA, JIM GONZALO GARCIA POVEDA, JUAN DAVID LESMES GOMEZ

KEY WORDS: STRATEGY PLANNING, MAINTENANCE, PMO, HYDROCARBONS.

DESCRIPTION:

This paper contains the approach of a maintenance strategy for mechanical surface equipment of rising crude PCP (progressive cavity pumps) systems of a field type of hydrocarbon production.

The strategy is based on the PMO (Planned Maintenance Optimization) methodology, it contains a series of preventive and predictive maintenance routines optimal at the cost-benefit point of view, and it is to reduce the rate of equipment failures, increasing reliability and availability of the oil extraction process according to production expectations of the organization.

The maintenance routines raised are expected to be the just necessary to ensure the proper functioning of the process, extending the life cycle of the assets (equipment), reducing the costs of labor and risk of failure associated with a state of over-maintenance.

The defined strategy is a pilot for the formulation of the PMO in Guando field test; the initial phase is developed in order to establish benefits of implementing the methodology, and gain the commitment of the organization for further implementation. The choice of equipment is due to the importance and criticality of them in achieving one of the main objectives of the field: the continuous, stable and uninterrupted oil extraction.

¹ Monografy

School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization.
Director: Edgar Duvan Moreno, Electronic Engineer

INTRODUCCIÓN

La planeación de las actividades efectivas de mantenimiento en un campo de producción de hidrocarburos, es un reto desde el punto de vista técnico y económico, que involucra diversos factores administrativos, logísticos, técnicos y organizacionales, que impactan positiva o negativamente la gestión de mantenimiento y la misma rentabilidad del negocio.

Se espera que dicha planeación garantice en primer lugar, niveles óptimos de disponibilidad y confiabilidad de sistemas, equipos e instalaciones; acorde a las expectativas y requerimientos de producción impuestas por el negocio. Estas expectativas de producción no son estáticas y evolucionan constantemente en el tiempo, conforme a la influencia de diversos factores como lo son: las condiciones del mercado, el precio del barril, las reservas disponibles, nuevos desarrollos, etc. es por ello que esta planeación debe estar acorde a estas expectativas de producción y además debe ser adaptable a nuevas condiciones.

En segunda instancia esta planeación debe llevar cada activo a alcanzar o superar su expectativa media de vida, con costos totales de operación y mantenimiento óptimos durante dicho ciclo de vida; Esta optimización incluso puede conllevar a evaluar el cambio del equipo por otro más confiable y/o el rediseño del proceso, lo que garantice la optimización de los costos de operación y mantenimiento. En la gestión y optimización de los costos totales de mantenimiento se deben evaluar los diferentes conceptos involucrados como lo son los costos de horas hombre, los costos de repuesto, materiales e insumos, los costos de reposición de equipos, los costos de contratación de servicios externos, y obviamente contrastar todos estos rubros con los costos por limitación o pérdida de producción del proceso entre otros, producto de la degradación de los sistemas y equipos.

Es responsabilidad del grupo de ingeniería de mantenimiento proponer una estrategia que satisfaga las necesidades mencionadas anteriormente, empleando los recursos, personal y tecnologías disponibles en cada organización de manera eficiente; también es deber de este grupo proyectar la inclusión de nuevos recursos, personal o tecnologías que posibiliten el incremento en confiabilidad y la reducción de costos en la gestión de mantenimiento.

Esta tarea conlleva sin embargo otros elementos limitantes como son las deficiencias en el diseño de los procesos y sistemas, la complejidad de los procesos, la interacción con terceros (contratistas y servicios externos).

Deficiencias en el diseño de los procesos y sistemas: Los campos de producción de hidrocarburos generalmente se conciben en fases de ingeniería conceptual y de detalle que centran su análisis en el proceso, y tratan en menor o ninguna medida la gestión de mantenimiento. Esto posibilita que en las fases de construcción, arranque y operación de dichas facilidades se presenten grandes problemas en mantenimiento. De igual manera la existencia de ingenierías conceptuales y detalles poco elaborados y con inadecuada especificación de equipos y procesos posibilita la aparición de alta tasa de fallas y defectos en los equipos.

Complejidad de los procesos: los campos de producción de hidrocarburos presentan variados procesos como lo son:

- La extracción, producción, despacho y/o transporte de crudo.
- La generación, transmisión y/o distribución de energía eléctrica.
- La producción, compresión, inyección y quema de gas de producción.
- La producción, captación, tratamiento, inyección de agua para recuperación secundaria de crudo. Entre otros

Dichos procesos involucran un enorme volumen de equipos, tecnologías, profesionales de diferentes disciplinas en muchas ocasiones de diferentes compañías, los cuales deben ser coordinados y dirigidos para interactuar en una adecuada gestión de mantenimiento.

En el presente trabajo de grado se pretende proponer una “estrategia de mantenimiento basada en la metodología PMO”, en la cual se consideren los aspectos de mayor relevancia en la cual sean tomados en cuenta los aspectos de optimización anteriormente técnica aplicara el modelo propuesto a los planes de mantenimiento de los equipos de superficie del sistema de levantamiento PCP presentes en campo Guando.

Debido a todos los factores anteriormente mencionados es pertinente formular una estrategia de mantenimiento que contribuya al aumento de utilidades del negocio basado en una adecuada utilización de los recursos, incremento en la vida de los activos y optimización de horas del talento humano y otros recursos involucrados en mantenimiento.

La propuesta plasmada en el presente trabajo es una prueba piloto para la formulación del PMO en la estrategia de mantenimiento de campo Guando, por lo cual solo se desarrollara la fase inicial para establecer bondades y beneficios de la metodología; en ella solo se abarcan los equipos mecánicos de superficie de los sistemas de extracción de crudo PCP (cavidades progresivas); en fases posteriores a la actual y una vez se haya logrado el compromiso de la organización se extenderá a los demás sistemas críticos del campo.

La elección de los equipos mecánicos de superficie de los sistemas de extracción de crudo PCP (cavidades progresivas) obedece a la importancia y criticidad de estos equipos en el logro de uno de los principales objetivos del campo: la extracción continua, estable e ininterrumpida de crudo.

1 MARCO CONCEPTUAL

1.1 CAMPO GUANDO

1.1.1 DESCRIPCIÓN

Campo Guando es un campo de producción de petróleo ubicado en el municipio de Melgar en el departamento de Tolima, cuenta con 21 islas con pozos de producción de crudo y gas, así como con 8 estaciones de proceso denominadas terrazas, en las cuales se llevan a cabo los siguientes procesos:

Ilustración 1: Panorámica Campo Guando



Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

Proceso de Crudo: Extracción, tratamiento, almacenamiento, bombeo, transporte (60 km de oleoducto) y medición de crudo.

Proceso de Agua: Tratamiento de agua de producción procedente de pozos; captación, transferencia y tratamiento de agua del río Sumapaz; mezcla, almacenamiento e inyección de agua a la formación como proceso secundario de recuperación de crudo.

Proceso de Gas: Recuperación y tratamiento de gas de producción procedente de pozos; compra gas externo (gasoducto de 40 km); compresión de gas para consumo de equipos de generación eléctrica y desoxigenación del agua de inyección.

Proceso Eléctrico: Centro de generación central de 18 MW de capacidad Máxima (4 turbinas y dos generadores) operado con gas combustible y opcional con diesel; el gas es producido en el campo y actualmente también es operado con gas de compra externa; de igual forma se cuenta con 20 generadores locales de hasta 350 kW como respaldo al sistema de generación principal; La transmisión eléctrica para alimentación de subestaciones en islas y estaciones se realiza a través de 25 km de redes de media tensión 34.5 kV.

Proceso de Control: El campo es operado con sistema SCADA para el control y monitoreo de todos los procesos.

Ilustración 2: Estaciones de Proceso Campo Guando



Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

1.1.2 RESEÑA HISTÓRICA

El nombre **Guando** es un vocablo de origen indígena, utilizado por las tribus Pijaos y Panches, cuyo significado es “*espanto*”, el cual era representado por un muerto cargado por cuatro personas en “andas” (camilla en tela), y quienes lo conduce a su lugar final de descanso. Este vocablo surgió como nombre para el Campo en el inicio de los trabajos de exploración y ha permanecido durante todo su desarrollo.

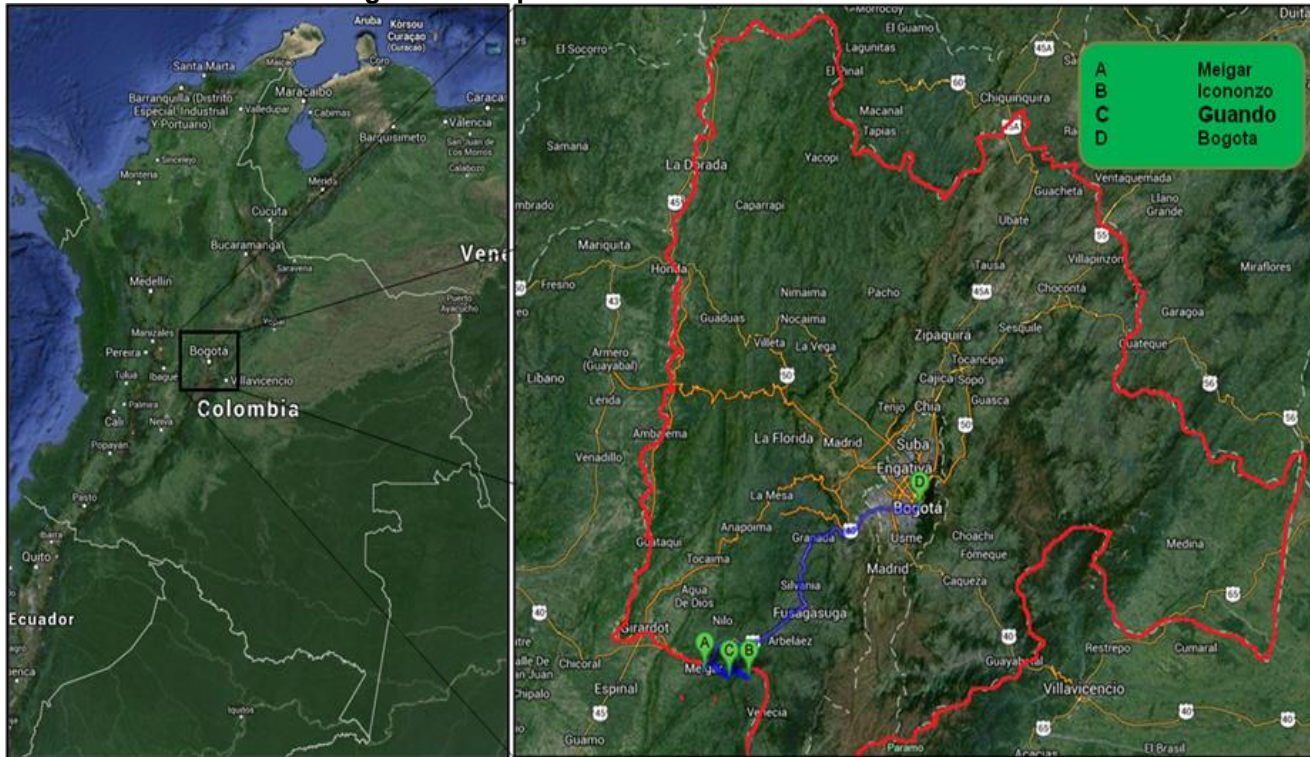
Ilustración 3: Algunos Hallazgos Arqueológicos Encontrados en Campo Guando



Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

1.1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Ilustración 4: Ubicación Geográfica Campo Guando



Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

El proyecto de campo Guando corresponde al desarrollo y exploración del bloque Boquerón, localizado en la vereda Águila Media, parte sur oriental del municipio de Melgar, en el departamento del Tolima. A una distancia de 121 Km aproximadamente de Bogotá y 12 km del casco urbano de Melgar sobre la vía de Melgar hacia Icononzo.

Geográficamente la región se encuentra ubicada en la cuenca superior del valle del Rio Magdalena, y abarca un área de 60 kilómetros cuadrados, a una altitud media de 1000 m.s.n.m.

Las características ambientales más sobresalientes son: elevación promedio de 1000 m.s.n.m., temperatura ambiente de 19°C, humedad relativa 73%, precipitación pluvial 230 mm/mes.

1.1.4 CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO

El yacimiento se encuentra sobre una estructura monoclinal, limitado al este por la falla de Boquerón, y cruzando hasta el oeste limitado por fallas subordinadas; el yacimiento está conformado por areniscas (arenas de grano fino a grueso) de la formación Guadalupe, las areniscas se encuentran altamente bioturbadas, y su edad geológica corresponde a la era del cretáceo superior. Su origen se debe a los depósitos marinos y a las depositaciones del ambiente transicional, esta acumulación es una estructura subtruncada por la falla del Boquerón.

Tabla 1: Características de Yacimiento de Campo Guando

Características	
FORMACIÓN	Guadalupe (Cretaceous)
YACIMIENTO	Black Oil
PROFUNDIDAD PROMEDIA	3500 Ft
POROSIDAD	15-20%
PERMEABILIDAD	1 a 1000 md
SWC (saturación de agua intersticial)	8-20%
ESPESOR NETO	1300 Ft
GRAVEDAD API PROMEDIO	25-30°API
VISCOSIDAD DEL PETRÓLEO	7 cp @ P sat = 100 psi
GOR PROMEDIO DEL CAMPO	132 scf/Stb
MECANISMO DE PRODUCCIÓN PRIMARIA	Soporte acuífero gas en solución e inyección de agua

Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

El estrato productor se localiza en la formación Guadalupe. Los pozos atraviesan las formaciones Villeta, Guaduas y Guadalupe. La formación posee dos regiones distintas: las arenas inferiores y las superiores, las dos regiones tienen un espesor combinado de aproximadamente 1300 ft, el estrato productor se encuentra contenido en las arenas inferiores, posee una profundidad media de 3500 pies, una presión del orden de 300 psi, un espesor promedio de 750 pies, con una porosidad del 15 al 20% y con variaciones en permeabilidad de 1 a 1000 md.

ROCA GENERADORA: el grupo Villeta es considerado la roca generadora en la subcuenca de Girardot. Las rocas son inmaduras (temperatura menor de 435°C) y predominio de Kerogeno tipo II.

ROCA ALMACENADORA: las areniscas inferiores (dura) son consideradas el principal yacimiento del Campo Guando, la formación arenisca dura (arenisca inferior) está constituida fundamentalmente por areniscas cuarzosas con algún contenido de feldespato (0-5%), de grano muy fino a fino. Normalmente, contiene interestratificaciones delgadas de lodolitas y shales negros rico en materias orgánica. En segundo lugar las formaciones arenisca superior (labor y tierna). El espesor promedio de la arenisca inferior es de 213 metros y para las areniscas superiores de 152 metros.

El estrato productor tiene crudo de temperatura entre 77°F y 90°F, presenta capa de gas con presión a la profundidad del contacto gas-aceite de 701 psi. Presenta un acuífero inactivo con contenido de cloruros menor de 100 ppm.

El yacimiento se caracteriza por una presión de formación extremadamente baja (107 psi @ 1810 ft TVDSS Profundidad Vertical Verdadera bajo el Nivel del Mar), característica con consecuencias negativas en la productividad, reservas y factor de recobro primario (11%) del yacimiento.

Por esta razón desde la etapa inicial de desarrollo del yacimiento, se planteó la implementación del sistema de inyección de agua, combinado con técnicas de completamiento y sistemas de levantamiento adecuados, con el fin de garantizar beneficios técnicos y económicos del proyecto y factores de recobro más altos. Los pozos son estimulados con el método de fracturamiento hidráulico con el fin de mejorar la permeabilidad del yacimiento.

Del análisis desarrollado y tras la evaluación de diferentes alternativas, se diseñó un esquema de inyección periférica, combinado con inyección por patrones de siete puntos invertidos, utilizando completamientos con inyección selectiva en cada pozo. De igual manera se establecieron espaciamiento entre pozos de 250 metros; Con este sistema de recuperación secundaria el factor de recobro del campo se incremento a 35% dentro del tiempo de vigencia del Contrato de Asociación (hasta 2023).

1.2 CONTRATO DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE CAMPO GUANDO

El contrato de asociación “boquerón”, fue aprobado por el ministerio de minas y energía el 25 de septiembre de 1995; por un periodo exploratorio que iba desde el 1 de octubre de 1995 al 30 de septiembre del 2002, y un periodo de explotación que va hasta octubre del año 2023. El contrato definió los siguientes porcentajes de participación en la asociación:

Tabla 2: Porcentajes de Participación Contrato Asociación Boquerón

Porcentajes de Participación en el Contrato de Asociación Boquerón				
Compañía	ETAPAS			
	EXPLORACIÓN	DESARROLLO		EXPLOTACIÓN
	EXPEX	CAPEX	OPEX	OPEX
ECOPETROL	0%	50%	50%	75%
SOCIO OPERADOR: LASMO OIL (1995 -1998) PETROBRAS (1998 - 2013) PERENCO (2013 - 2023)	60%	30%	30%	15%
NEXEN	40%	20%	20%	10%

Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

En el año de 1995 la compañía colombiana de petróleos ECOPETROL firmo el “*Contrato de Asociación Boquerón*” para la exploración y desarrollo del bloque geológico en el que se encuentra ubicado Campo Guando, con la compañía LASMO OIL COLOMBIA LIMITED como socio principal, y como compañía asociada la firma NEXEN.

Durante el periodo comprendido entre 1996 y 1998 LASMO OIL operador del bloque, proceso 138 Km de sísmica, y adquirió 204 Km mas. A partir de este trabajo se realizaron los primeros estudios geológicos necesarios para la planeación y posterior desarrollo del campo; El yacimiento fue modelado tridimensionalmente y con simulación numérica, estando el primer modelo disponible pocos meses después del descubrimiento del campo.

En septiembre de 1998 la compañía brasilera de petróleos PETROBRAS materializa su intención de penetrar y participar en los proyectos petroleros del país, adquiriendo los derechos de la compañía LASMO OIL; En esta transacción se adquirieron todos los activos de producción y exploración, entre ellos se incluyeron los derechos como socio del “*Contrato de Asociación Boquerón*” y operador de campo Guando.

En Enero del año 2000 se perforó exitosamente el pozo exploratorio Guando 001, el GUA-001 fue completado en febrero del año 2000 y durante las pruebas iniciales se logro obtener una producción diaria de 333 barriles de petróleo por día (BOPD).

En Enero del año 2002, la asociación PETROBRAS-NEXEN presento oficialmente la comercialización del Campo Guando, la cual fue aprobada por ECOPETROL en junio del mismo año.

Desde este entonces y hasta finales del año 2013 el bloque fue administrado por PETROBRAS junto con NEXEN y ECOPETROL.

A mediados del año 2013 la compañía PETROBRAS desarrolla una campaña intensiva para concentrar su operación en los nuevos y gigantes bloques hallados costa afuera de Brasil, por lo que inicio un proceso de desinversión en los

proyectos externos a Brasil, es por ello que realiza la venta de la mayor parte de sus activos en Colombia, a la compañía Anglo-Francesa PERENCO COLOMBIAN LIMITED.

1.3 PROCESOS DE PRODUCCIÓN

1.3.1 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE CRUDO

Los sistemas de levantamiento utilizados en el campo son en su gran mayoría tipo PCP (Bombeo por cavidades Progresivas), ESP (Bombeo Electro Sumergible), y en menor medida reciprocantes (rotaflex: 4st, hidráulicos VSH2); la selección de este tipo de equipos corresponde en mayor medida a la profundidad del yacimiento, al volumen de producción, a la relación Gas Aceite GOR, a la presencia de arena, entre otros.

1.3.2 FACILIDADES DE PRODUCCIÓN CAMPO GUANDO

Actualmente el campo cuenta con 21 islas de producción de crudo, 3 de las cuales fueron abandonadas y/o acondicionadas para otros servicios y 18 productivas, las isla están diseñadas para permitir la agrupación de varios pozos tanto productores, como inyectores que trabajan en un arreglo multipozo. Cada isla se construyo con todas las facilidades para la extracción y envío del crudo y gas a las estaciones de tratamiento.

En total existen 111 pozos productores, cuya producción es extraída por levantamiento artificial por medio de bombas de cavidad progresiva (PCP), bombas electrosumergibles y de un sistema de levantamiento artificial rotaflex. Y 49 pozos inyectores, de los cuales 2 pozos son duales (productor-inyector), actualmente.

Tabla 3: Distribución de pozos y Producción Campo Guando

POZOS	CANTIDAD
Pozos Productores de Petróleo	111 (121 Cerrado Temporalmente)
Pozos Inyectores de agua	35
Pozos Productores - Inyectores	2
PRODUCCIÓN	
Producción Máxima (25/07/2006) (bopd)	35,526
Producción Actual (bopd)	15171
Producción Acumulada (mmbo)	84
Producción de gas actual (KPCD)	1854
Inyección de agua (bwpd)	99023

Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

El crudo es enviado normalmente a las estaciones a través de las líneas de producción general de 6" y durante las pruebas de pozos se emplea una línea de 3".

La producción de crudo es enviada a la terraza 6, estación de proceso (CPF), la cual está diseñada de forma modular y autónoma de tal manera, que permita realizar ensanches de acuerdo a la producción del campo y de ésta manera, crecer progresivamente sin perturbar la operación normal de las facilidades existentes.

El crudo una vez separado y tratado es envía a la terraza 4 para almacenamiento, medición y fiscalización; una vez es fiscalizado es bombeado a través del oleoducto Guando – Chicoral con una longitud de 60 Km. En la estación de Chicoral se realiza la transferencia de custodia y es despachado al Oleoducto del Alto Magdalena (OAM) Para su exportación.

1.3.2.1 Manejo De Crudo

El fluido producido de los pozos es enviado mediante líneas de producción (diámetro 6") a un múltiple de entrada general (presión de operación 40-60 Psig).

El múltiple distribuye la producción a cinco separadores trifásicos de producción general (presión de operación 40 Psig), los cuales separan el fluido en tres corrientes (crudo, agua y gas), seguidamente el crudo es enviado a los tratadores electroestáticos (presión de operación 30 Psig), donde se calienta hasta una temperatura de 120°F, y donde se le retira el resto de agua para que el crudo salga con un BSW hasta el 0.5%, para luego ser enviados a una bota de gas (presión de operación atmosférica) y luego a los tanques de almacenamiento para su fiscalización y posterior despacho al oleoducto.

1.3.3 SISTEMA DE INYECCIÓN DE AGUA Y MANEJO DE AGUA DE PRODUCCIÓN

El sistema de inyección de agua consiste en la captación del agua del río Sumapaz, un tratamiento primario de remoción de sólidos, transporte, un tratamiento secundario (micro filtración) y finalmente su distribución a los pozos inyectoros.

El sistema entró en operación el 02 de febrero del 2003 iniciando la inyección de agua en el pozo G7 ubicado en la isla 2. Actualmente se tiene una capacidad de inyección de 102.000 Bls.

Las facilidades construidas para este sistema comprenden tres grandes estaciones, las cuales son:

1.3.3.1 Captación

En esta estación se capta el agua del río Sumapaz, se pasa a través de unos presedimentadores y clarificador para remover la mayor cantidad de sólidos suspendidos en el agua y así poder enviarla a la estación de transferencia. Capacidad de tratamiento 60000 BWPD.

1.3.3.2 Transferencia

Esta estación recibe el agua de la estación de captación, pasa por dos hidrociclones, los cuales tienen una capacidad de tratamiento de 30000 BWPD cada uno, luego pasa por los filtros de arena con una capacidad de tratamiento de 15000 BWPD cada uno, para luego almacenarse en los dos tanques de 10000 Bls. El agua después de estar almacenada en los tanques es bombeada a través del acueducto (línea de 12" y 9.8 Km) hasta la estación de inyección, capacidad de tratamiento de agua 60000 BWPD.

1.3.3.3 Inyección

El agua que llega de la estación de transferencia se almacena en un tanque de 10000 Bls, el cual sirve como cabeza de succión a las bombas del sistema de micro filtración, el cual filtra el agua hasta llevarla a una concentración de sólidos de 10 PPM, esta agua pasa por un sistema de desoxigenación, el cual utiliza gas del campo recuperado para realizar dicho tratamiento. El agua luego de ser tratada es almacenada en los tanques de 10000 bls, estos tanques sirven como pulmón para las bombas booster que alimentan a las bombas principales de inyección, la capacidad de tratamiento de agua es de 70000 Bls, ya que se incluye el agua de producción que ya viene tratada.

La inyección a los pozos se realiza a través de tres troncales, las cuales llevan el agua hasta las diferentes localizaciones en las cuales se encuentran los pozos inyectoros. La presión de operación de este sistema se encuentra entre 2600 –2800 Psig.

1.3.3.4 Manejo Agua De Producción

La producción de agua es llevada a dos tanques desnatadores con capacidades de 2500 Bls y 5000 Bls c/u, este equipo separa parte de los sólidos suspendidos en el agua y parte del aceite que se encuentra mezclado con el agua. Seguidamente la corriente de agua pasa a unos filtros de cáscara de nuez, la cual retira la mayor cantidad de aceite y sólidos presentes en el agua, posteriormente dicha corriente es pasada por unos filtros de cartucho, los cuales remueven cualquier partícula de aceite que se encuentre y es enviada a los tanques del sistema de inyección de agua del campo Guando.

1.3.4 RECUPERACIÓN Y MANEJO DE GAS

Las fuentes de suministro de gas al cabezal de recolección se agrupan en cuatro sistemas claramente identificables:

- Gas de anulares suministrado a través de unidades recuperadoras de vapores
- Gas de los separadores y tratadores electrostáticos
- Gas de la bota desgasificadora y gas de cobertura
- Gas suministrado por el gasoducto Flandes – Guando

Dado que las fuentes de suministro operan con presiones ligeramente diferentes, se ha dispuesto de un transmisor de presión en el cabezal que permite, a través de sendos controladores de presión con válvula de control ubicados en las fuentes de suministro (gas anulares y gas de cobertura), regular el gas entregado al cabezal para las fuentes (gas vasijas y gasoducto), los equipos disponen de válvulas de control en sus respectivas líneas de salida de gas.

A continuación analizaremos cada uno de estos sistemas

1.3.4.1 Gas De Producción

El gas producido en los anulares de los pozos, el cual se encuentra a una presión de 5 Psig es comprimido por las unidades recuperadoras de vapor (URV) a una presión de 50 Psig. Estas unidades se encuentran distribuidas en el campo, tal como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 4: Distribución de UVR de campo Guando

UBICACION	CANTIDAD
ISLA 1	5
ISLA 8	2
ISLA 11	3
ISLA 12	2
ISLA 13	1

Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

El gas luego de ser comprimido es transportado hasta la estación de inyección donde se distribuye para alimentar las torres desoxigenadoras, moto generadores, consumo de isla 6 para separadores y tratadores, moto compresores en terraza 5, los cuales permiten el suministro de gas para la autogeneración.

El flujo hacia los compresores se divide en dos corrientes: Gas combustible para los motores de los generadores, y el gas para comprimir.

El flujo total de gas que se puede comprimir en cada uno de estos equipos es de 3.5 MMSCFD. El gas comprimido es usado prioritariamente para el sistema de generación, donde se cuenta con 4 turbogeneradores y estos trabajan a alta presión. Este proceso consta de una planta deshidratadora con capacidad de 6 MMSCFD y una presión de operación de 1100 Psig. Una válvula Joule Thompson, la cual disminuye la presión hasta 280 Psig, permitiendo retirar condensados en el scrubber,

adicionalmente la corriente de gas es pasada por un intercambiador para incrementar la temperatura hasta los 110 °F. Este proceso se realiza para garantizar condiciones óptimas del gas de suministro para el sistema de generación.

1.3.4.2 Gas Separadores Y Tratadores Electrostáticos

El gas que producen estos equipos llega al scrubber de alta en donde es recuperado el gas por dos unidades compresoras UVR para luego ser direccionado a la succión de compresores, el gas restante es quemado en la Tea de la estación

1.3.4.3 Gas Bota De Gas Y Cobertura

El gas que se produce en estos equipos se conduce hasta la tea de baja de la estación, donde se quema

1.3.4.4 Gasoducto Flandes - Guando

El gasoducto DE 40 KM se encuentra actualmente suministrando cerca del 50% de la demanda de gas de las turbinas. El requerimiento diario es de aproximadamente 1700 KPCD de gas importado. También es un respaldo al gas de campo, en el evento de no contar con los equipos de compresión de la Terraza 5.

1.3.5 FILOSOFÍA DE CONTROL

En campo Guando se manejan dos Software de supervisión, RsView o llamado ahora Factory Talk de Rockwell y Delta V de Emersson, el primero maneja todo el sistema de inyección de agua, facilidades de producción, información de cabeza de pozos en islas y el sistema Eléctrico de todo el campo además el sistema de aprovechamiento de gas así:

El sistema cuenta con variada instrumentación de campo en las estaciones, la mayoría con protocolo Hart y Modbus, cada estación cuenta con un cabeza de control, que para estos casos son PLC's Controllogix del modelo 5550 en adelante, que procesan toda información generada en cada estación y a la vez con otros PLC's de la misma familia o en su defecto SLC 5/03, y estos se comunican con el PLC principal por medio de una red de control llamada ControlNet , a su vez por requerimientos de proceso algunas etapas requieren de HMI (Panelviews) para que los operadores interactúen de forma directa con los equipos y por otra red ControlNet se comunican e intercambian información los PLC's principales de cada estación, con la ventaja de que cada red ControlNet tiene redundancia de canal; todo esto en el sistema de inyección, en pozos ocurre algo similar, cada isla posee un Controlador SLC 5/03 que recopila información de superficie de pozo, variadores, medidores de gas, agua y operación de recuperadoras; los cuales intercambian esta información vía celular o radio al cuarto de control. En las facilidades de producción cada vasija (separador, tratador) cuenta con un Controlador y Panelview, y algunos se comunican por una red ControlNet y los últimos instalados por red Ethernet. Toda esta información recopilada e intercambiada por los PLC's se lleva por una Red Ethernet (en la mayoría de los casos el medio de transmisión es fibra óptica) a 2 servidores con aplicaciones RsView, una para facilidades de producción y pozos y otro para Inyección y Gas , cada uno cuenta con un PC para históricos, y dos PC's para aplicaciones de clientes, además de un PC de Ingeniería, para realizar modificaciones, mantenimientos o actualizaciones de las aplicaciones, para comunicación y programación de los Controladores. Los sistemas de supervisión están configurados no solo para monitoreo sino para operación de equipos e interacción con los procesos de forma remota.

El segundo sistema delta V es utilizado para el monitoreo y operación de almacenamiento de crudo, bombeo y control del oleoducto para transferencia y custodia, la comunicación es en 4 a 20 miliamperios, Hart, con instrumentación y

con cada punto del oleoducto vía radio y comunicación celular, donde el control lo ejercen Módulos ROC de la marca Fisher.

Este sistema posee una estación principal Proplus y una remota “Operador” comunicada mediante fibra óptica, además de un PC que interactúa para comunicación con el oleoducto y para intercambio de alguna información de monitoreo y control con el RSView

La otra red de Control es de las turbinas con software propio de supervisión de Solar Turbines el TTVIEWER, utiliza Red ControlNet sobre cable coaxial y fibra óptica.

En un futuro muy cercano es tener vía web monitoreo de los procesos.

1.3.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CRUDO EN EL CAMPO GUANDO

El Campo Guando utiliza como método de levantamiento el sistema de PCP y en menor medida, el sistema ESP y una ROTAFLEX. Los pozos están ubicados en localizaciones llamadas Islas de pozos, en éstas existen pozos Productores e Inyectores y con completamiento dual (Productor - Inyector).

El crudo producido fluye desde los pozos por líneas independientes hasta los manifolds de cada isla, en donde se mezclan para fluir conjuntamente por líneas troncales. Los manifolds de las islas cuentan con cabezales de producción general (para flujo común de varios pozos) y de prueba (para permitir el flujo de pozos en forma independiente). Cuentan además con facilidades para inyección de químico, lo que permite la iniciación temprana del tratamiento del crudo.

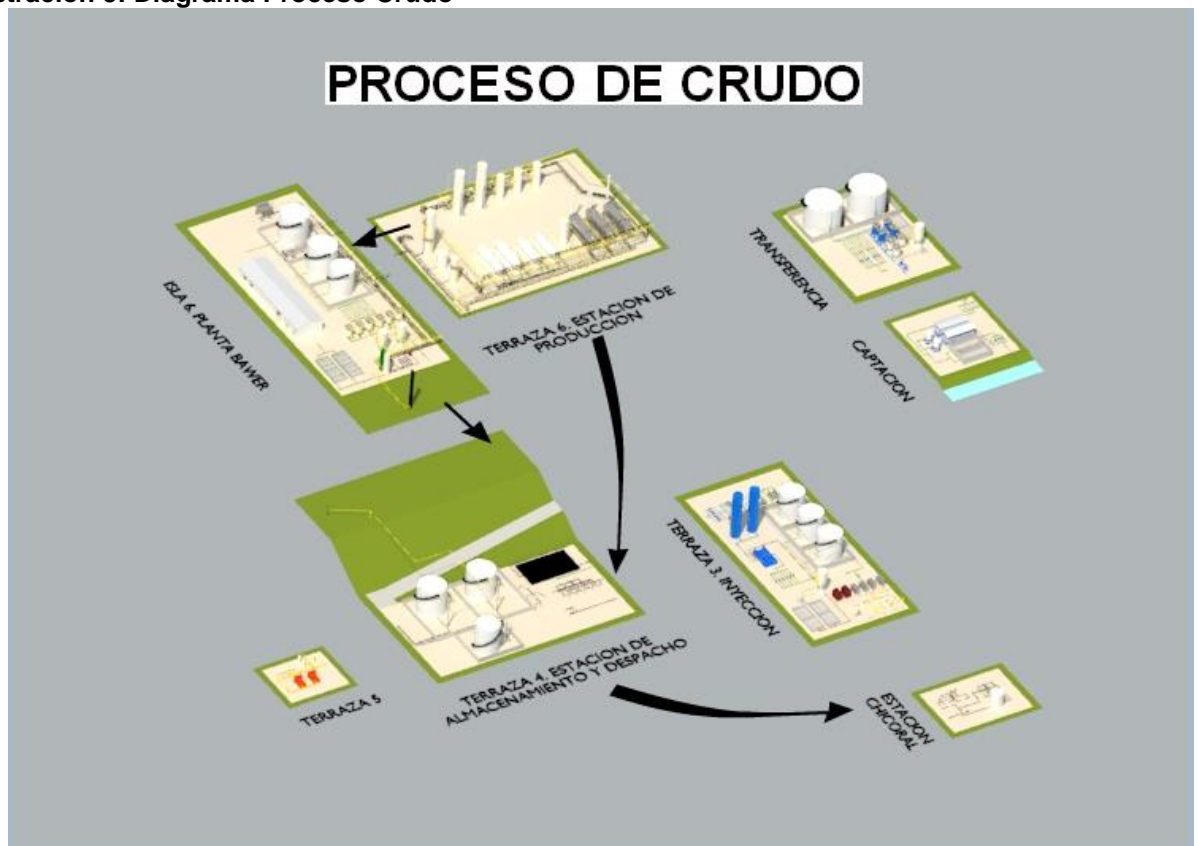
El crudo producido llega a la estación de producción Terraza 6, a través de las líneas de flujo y entra a un múltiple que permite direccionarlo hacia los separadores Trifásicos de Prueba y/o de Producción General donde se separan

las fases. El crudo que sale de los separadores fluye hacia los tratadores electrostáticos, para optimizar la separación de la interfase líquida.

El crudo proveniente de los tratadores va a los tanques de almacenamiento. Si está fuera de las especificaciones de calidad podrá ser direccionado al tanque de rechazo.

El crudo almacenado en los tanques TK-1006-001A/B/C es fiscalizado y luego transportado por el oleoducto Guando - Chicoral hasta la estación de transferencia de custodia al OAM.

Ilustración 5: Diagrama Proceso Crudo



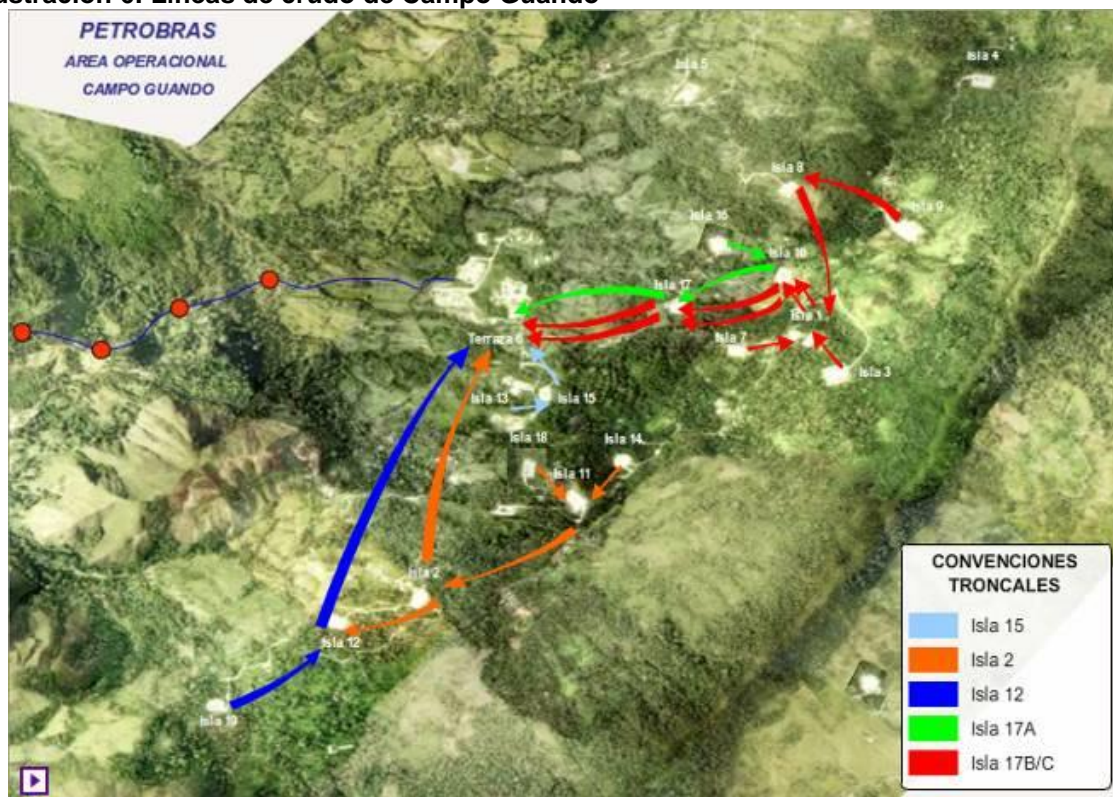
Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

1.3.7 Proceso De Crudo En Islas Y Distribución De Troncales Para La Producción General

Campo Guando maneja en la actualidad 111 pozos productores de crudo ubicados estratégicamente en 16 islas.

El crudo fluye desde los pozos por líneas independientes hasta el manifold de cada isla, en donde se mezclan para fluir conjuntamente por líneas troncales. Los manifolds de las islas cuentan con cabezales de producción general (para flujo común de varios pozos) y cabezales de prueba (para permitir el flujo de pozos en forma independiente). Las islas además cuentan con facilidades para inyección química lo que permite la iniciación temprana del tratamiento del crudo.

Ilustración 6: Líneas de crudo de Campo Guando



Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

La producción general de campo Guando llega al manifold principal ubicado en estación de producción (terraza 6) a través de seis troncales (troncales de isla 2, 12, 15, 17A, 17B y 17C), cada una de estas se distribuye actualmente de la siguiente manera:

ZONA SUR

- **TRONCAL ISLA 15:** Isla 15 recibe el crudo proveniente de los pozos productores de isla 13, de aquí la producción general es enviada por la troncal de isla 15 hasta la estación de producción.
- **TROCAL ISLA 2:** Los pozos productores de crudo de islas 14 y isla 18 llegan por líneas de flujo generales de 6" de diámetro a isla 11, de isla 11 la producción es direccionada a isla 2, aquí en isla 2 es distribuida la corriente por la troncal de isla 2 a terraza 6 y direccionada parte de ésta a isla 12.
- **TROCAL ISLA 12:** Isla 19 envía toda la producción general a isla 12, isla 12 recibe también parte de la producción de los pozos que llegan a isla 2, para finalmente ser direccionados por la troncal de isla 12 a la estación de producción.

ZONA NORTE

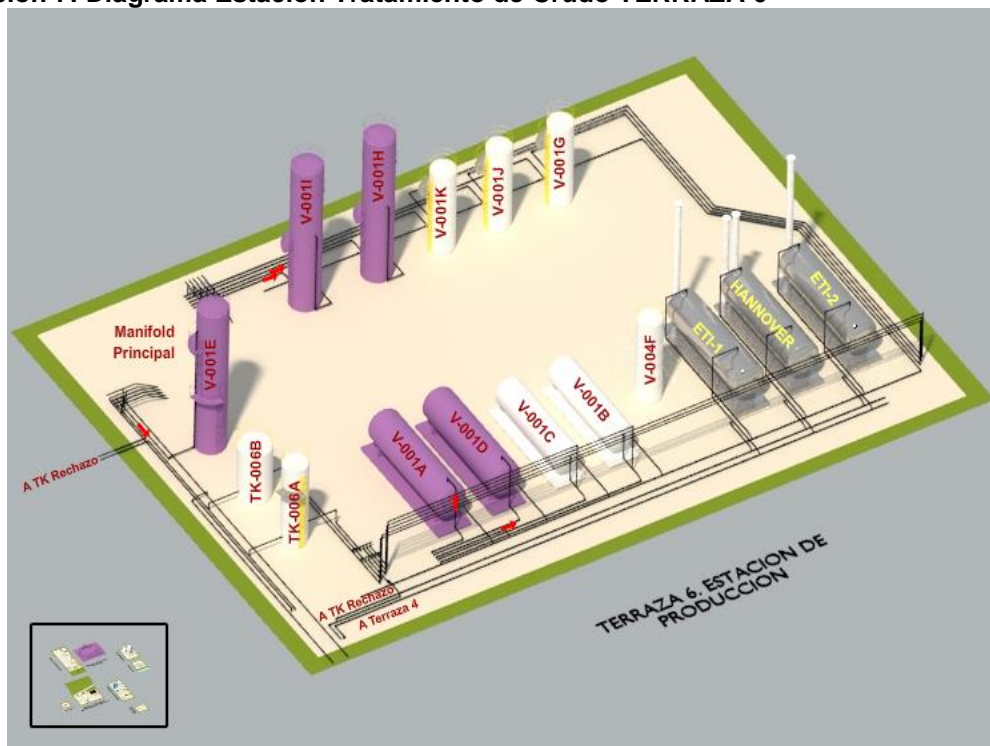
- **TRONCAL ISLA 17A:** El crudo producido en isla 16 es enviado a isla 10, la producción de isla 10 y 16 es direccionada a isla 17 donde se mezclan con los pozos productores de esta isla para ser transportados por la troncal de de isla 17A hasta terraza 6.

- **TRONCALES 17B y 17C:** Isla 9 envía la producción de crudo a isla 8, isla 1 recibe toda la producción que llega de isla 8, 3 y 7, de aquí es distribuida la producción por dos troncales generales para finalmente llegar al manifold principal de la estación de producción de campo Guando.

1.3.7.1 Proceso de crudo en terraza 6. Estación de producción

La estación de producción (terrazza 6) maneja en la actualidad aproximadamente 70500 BFPD (producción de 111 pozos GUANDO), los fluidos producidos llegan al manifold principal ubicado en esta estación, donde se le inyecta rompedor de emulsión con el fin de mejorar la separación de las fases agua-crudo.

Ilustración 7: Diagrama Estación Tratamiento de Crudo TERRAZA 6



Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

El manifold principal permite distribuir la producción general a cinco separadores, la distribuye a tres separadores trifásicos verticales (Separadores de general V-

001I, V-001H y V-001E) y a dos separadores trifásicos horizontales (Separadores de general V-001A y V-001D).

El manifold principal recibe también los pozos alineados desde el manifold de las islas para direccionarlos a cinco separadores de prueba, los direcciona a tres separadores trifásicos verticales (Separadores de prueba V-001K, V-001J y V-001G) y dos separadores trifásicos horizontales (Separadores de prueba V-001C y V-001B).

Una vez separado el crudo, el agua y el gas, 23500 BOPD es enviado a tres tratadores térmicos electrostáticos (ETI 1, HANNOVER Y ETI 2) para completar la remoción de agua en el crudo al valor especificado de máximo 0.5%BSW. El crudo que sale de los tratadores térmicos electrostáticos fluye hacia los tanques de almacenamiento ubicados en terraza 4, en donde es fiscalizado y luego transportado por el oleoducto Guando - Chicoral hasta la estación de la estación de medición.

La estación de producción (terrazza 6) cuenta con la facilidad para realizar pruebas contra tanque para la calibración del micromotion alineando la descarga de crudo del separador de prueba por línea de 3" al tanque asignado (TK-1006-006A/B), el crudo almacenado luego es transferido con la bomba de variador a tanques de almacenamiento en terraza 4.

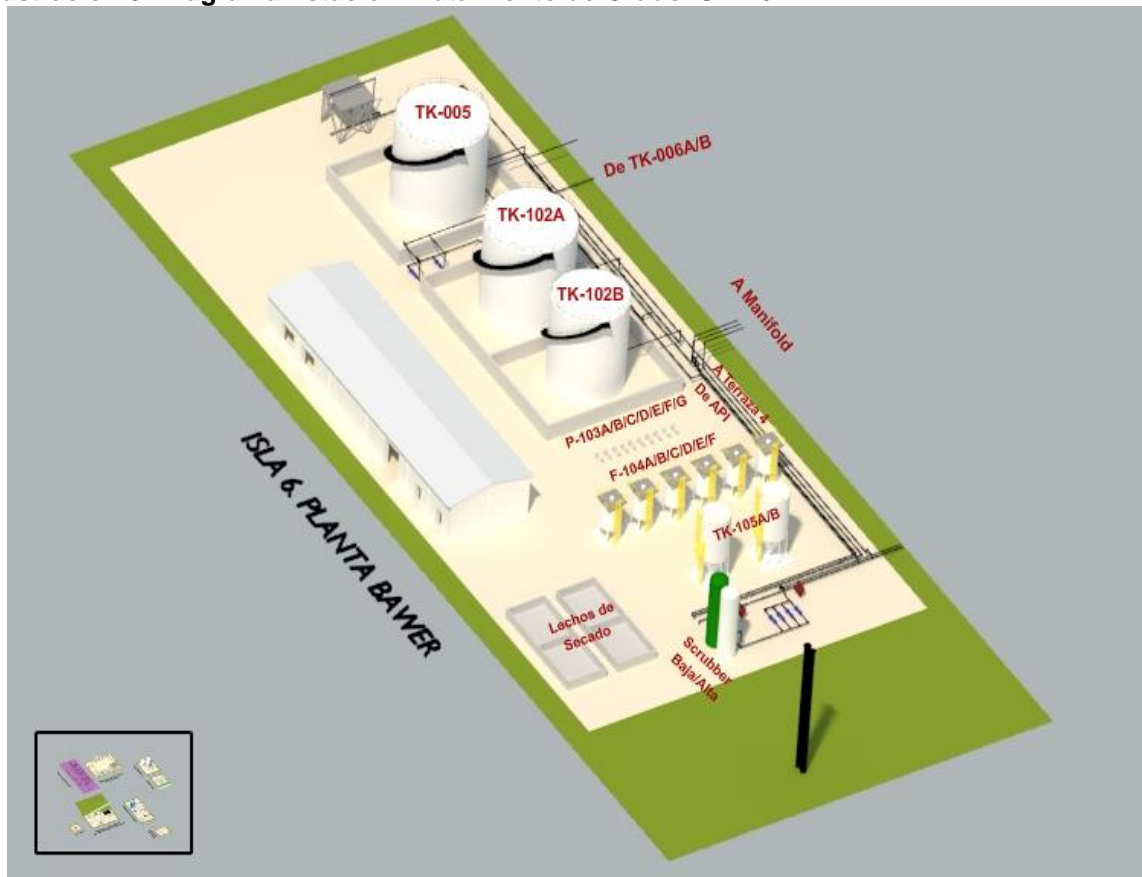
Si se presenta una ruptura en la línea que comunica los tratadores térmicos electrostáticos con los tanques de almacenamiento o el crudo que sale está fuera de especificaciones de calidad, éste podrá ser direccionado por el by-pass de los tratadores al tanque de rechazo (TK-1006-005) para su posterior tratamiento químico.

1.3.7.2 Proceso de crudo en isla 6.

Al tanque de rechazo (TK-1006-005) llegan normalmente fluidos producto de la recuperación del crudo sobrenadante contenido en los tanques desnatadores TK-1002-102A/B de la Planta Bawer, el tanque de rechazo recibe también a través de la línea de recirculación, el crudo descargado por los carrotanques y por el camión de vacío utilizando las bombas de rechazo.

Si el crudo en el tanque de rechazo (TK-1006-005) después de su proceso cumple con las especificaciones mínimas de calidad establecida para su venta, campo Guando tiene la facilidad de direccionar el crudo con la bomba de variador a los tanques de almacenamiento en terraza 4 para su posterior fiscalización y despacho.

Ilustración 8: Diagrama Estación Tratamiento de Crudo ISLA 6



Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

Para crudo almacenado en el tanque de rechazo fuera de los parámetros mínimos de calidad existe la opción de enviarlo con la bomba de variador al manifold principal en terraza 6 para reincorporarlo de nuevo al proceso de separación y tratamiento.

En el cargadero de campo Guando, el crudo limpio almacenado en carrotanques es descargado operando la bomba de variador para transferirlos directamente a los tanques de almacenamiento en terraza 4.

El desnate de crudo del tanque separador API en terraza 4 y los condensados de los scrubbers de terraza 5 fluye por líneas de 3" hasta isla 6 donde pueden ser direccionados al manifold de la estación de producción en (terrazza 6) ó enviarlos al tanque de rechazo (TK-1006-005); de igual forma los condensados de los scrubbers tanto de alta como de baja, son bombeados por línea de 3" al manifold principal de la estación de producción.

Hoy en día campo Guando tiene también la disposición para transferir por el by-pass de los tratadores, crudo limpio con la bomba de variador a carrotanques en el cargadero de campo Guando para su posterior consumo en los servicios de pozos (flushing, workover, estimulación, fracturamiento, cañoneo, etc).

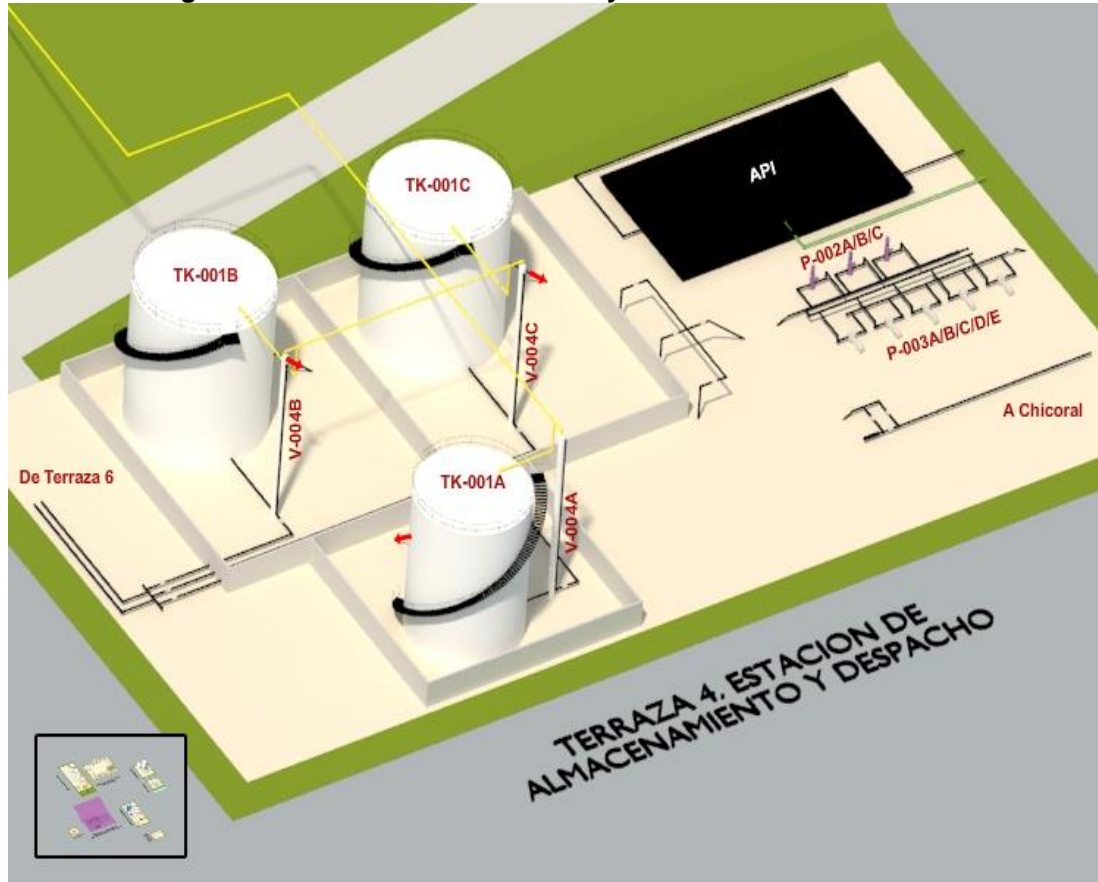
1.3.7.3 Proceso de crudo en terraza 4. Estación de almacenamiento y despacho

Cumplido el proceso de separación y tratamiento, el crudo es direccionado por línea de 10" a los tanques TK.1002-001A/B/C pasando primero por la bota de gas donde es retirado el poco gas disuelto. Luego de su periodo de recibo, el crudo es dejado en reposo por un periodo de 4 a 5 hrs, es drenado y finalmente fiscalizado.

Ya, con los parámetros mínimos de calidad establecidos para la venta el crudo es tomado de los tanques por las bombas Booster o de alimentación P-002A/B/C a una presión que varía de "0 a 10 psi" dependiendo de la altura en la que se

encuentre el nivel de crudo en el tanque; éste entra y es descargado a una presión de 70 psi.

Ilustración 9: Diagrama Estación Almacenamiento y Bombeo de Crudo



Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

El crudo descargado por las bombas Booster ahora es tomado por las bombas Main o de exportación P-003A/B/C/D/E para elevar la presión entre 500 y 900 psi y así poder romper la presión que lleva el OAM.

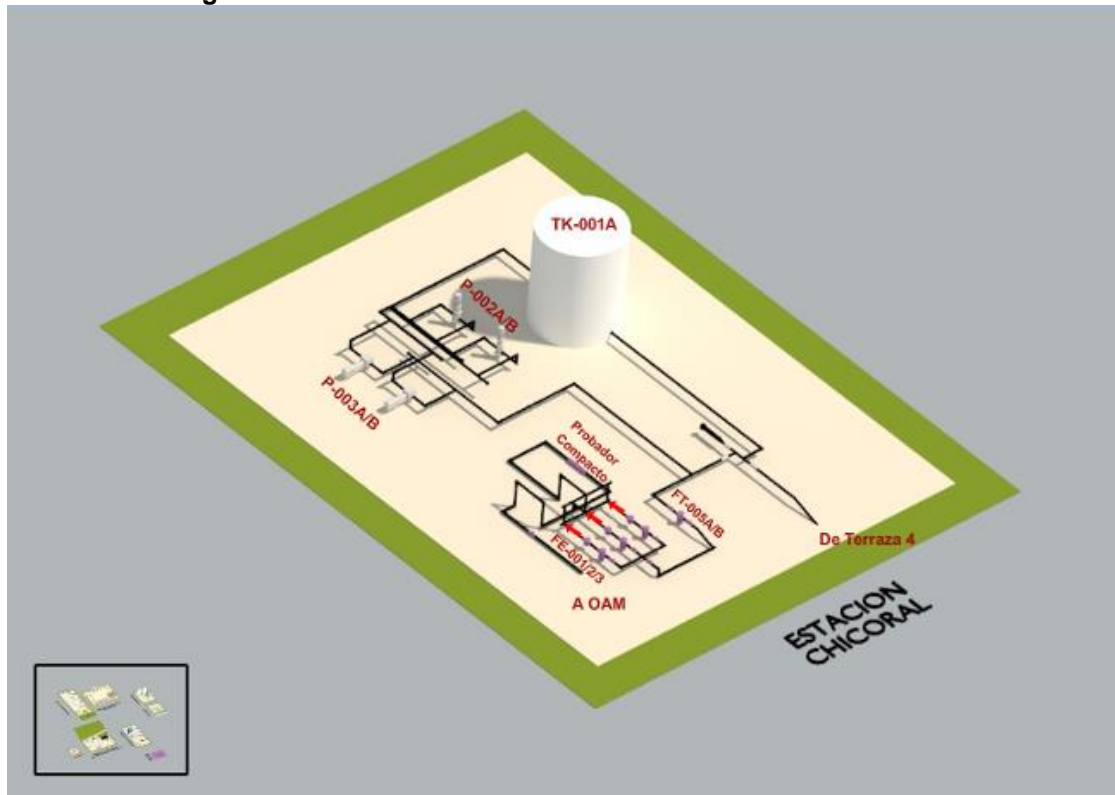
El crudo bombeado a un caudal de aproximado de 1000 Bls/hr es transportado por el oleoducto Guando-Chicoral con aproximadamente 59.16 kilómetros de longitud y un diámetro de 10" a la estación de medición, el oleoducto cuenta con 8 válvulas de control en caso de algún evento que se presente se cierran inmediatamente.

El sumidero recibe el crudo separado en el API mediante una flauta y es bombeado por bombas verticales, por una línea de 3" hacia el tanque de almacenamiento que está en posición de recibo a una presión de 70 psi.

1.3.7.4 PROCESO DE CRUDO EN LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN CHICORAL

El crudo entregado por la línea de Transferencia Guando-Chicoral, entra a la estación pasando por el filtro alineado (FT-004A/B) para retener los sólidos presentes en el crudo, evitando que lleguen al medidor ocasionando obstrucción y daño al equipo, la medición de crudo se realiza con fines de custodia antes de ser entregado al oleoducto del alto magdalena, mediante el uso de medidores de flujo (FT-6A/B/C) de tipo desplazamiento positivo Smith Meter, con corrección por temperatura, densidad y presión, realizada en asocio con el computador de flujo Omni.

Ilustración 10: Diagrama Estación de transferencia de custodia de crudo



Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

La unidad de medición / LACT cuenta tres brazos, los cuales trabajan de forma alterna a un caudal aproximado de 550Bbls/hr, un computador de flujo, sistema

automático de toma de muestras y un densitómetro para control de la calidad del producto entregado.

La unidad LACT cuenta con un probador compacto disponible en la estación Chicoral es de tipo unidireccional de pistón de 12" de diámetro; Este probador es utilizado para determinar el factor de corrección de los medidores FT – 6A/B/C, funcionando en asocio con computador de flujo al cual transmite señales de presión y temperatura del fluido.

La estación de Chicoral tiene la disponibilidad de almacenar provisionalmente crudo en el tanque (TK-001A) en caso de no poder ser transferido al OAM. Para despachar el crudo almacenado en el tanque se cuenta con dos bombas Booster (P-002A/B) y dos bombas Main (P-003A/B) para direccionarlo a la unidad LACT para su posterior medición y transferencia al oleoducto del Alto Magdalena (OAM).

Todos los drenajes procedentes de la tubería, filtros, bombas y contadores se depositan en las cajas sumidero. Los drenajes de los diques de las diferentes áreas son conducidos al API.

1.4 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Con los constantes cambios que se presentan a nivel mundial existe la necesidad de tomar decisiones con las cuales se logre el mejoramiento continuo en los procesos productivos, es allí donde se pretende realizar y profundizar en un modelo de PMO que mejore las actividades de mantenimiento efectuadas a los activos utilizados para la producción de hidrocarburos.

Siendo la producción de crudo la razón de ser del negocio, se pretende proponer con esta monografía el incremento de los valores de confiabilidad y disponibilidad de los equipos de superficie PCP, por ende evitar pérdidas de producción asociadas a mantenimiento correctivo de estos equipos

Adicional a lo anterior existe una motivación muy importante en la realización de esta monografía porque se pretende aplicar la guía elaborada a los equipos de superficie del sistema de levantamiento PCP con mayor presencia en Campo Guando.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVOS GENERALES:

Proponer un modelo de mejoramiento de planes de mantenimiento para los equipos de producción de hidrocarburos de Campo Guando empleando la metodología PMO “Planned Maintenance Optimization”

1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar un modelo de mejoramiento para planes de mantenimiento de equipos, según la metodología PMO.
- Elaborar la guía PMO para el mejoramiento de los planes de mantenimiento.
- Aplicar la guía elaborada para la optimización del mantenimiento planeado a los equipos de superficie de las PCP marca Weatherford de Campo Guando.
- Realizar un paralelo de costos entre la estrategia de mantenimiento actual y la estrategia de mantenimiento propuesta bajo la metodología de PMO para los equipos de superficie PCP marca Weatherford.

MARCO TEORICO

1.6 METODOLOGIAS DE GESTION DE MANTENIMIENTO

1.6.1 RCM¹: Reliability centered maintenance (mantenimiento centrado en confiabilidad).

Es una metodología desarrollada por Nowlan and Heap para el desarrollo de planes de mantenimiento para la industria aeronáutica en la fase de diseño.

Es un enfoque sistemático para analizar los requerimientos de mantenimiento de una planta o equipo.

RCM es un enfoque basado en las funciones y consecuencias:

Reconoce que el mantenimiento esta mas relacionado con lo que el activo hace y las consecuencias de las fallas que con lo que físicamente el activo es.

RCM se originó en las industrias aeronáuticas y nucleares a fines de los años 60. Una definición general puede ser: “estrategia de mantenimiento global de un sistema usando métodos de análisis estructurados que permiten asegurar la confiabilidad inherente a tal sistema”.²

RCM es una herramienta que permite optimizar las acciones de mantenimiento programadas. Los criterios a tomar en cuenta son:

¹ DUARTE HOLGUÍN, Juan Carlos. Diplomado en Gestión y Control de Mantenimiento: PMO-Optimización del Mantenimiento Planeado. Bogotá: ACIEM, 2007.

² PASCUAL, Rodrigo. Gestión moderna del mantenimiento. Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2002.

- La seguridad.
- La disponibilidad.
- El costo de mantenimiento.
- Calidad de la producción.

Los objetivos del RCM son:

- Definir y justificar las acciones de mantenimiento programado a implementar.
- Redefinir las acciones de mantenimiento programado.
- Asegurar y aumentar la eficiencia del equipo en materia de seguridad de funcionamiento.
- Emitir recomendaciones técnicas respecto de los equipos.

La aplicación del RCM implica:

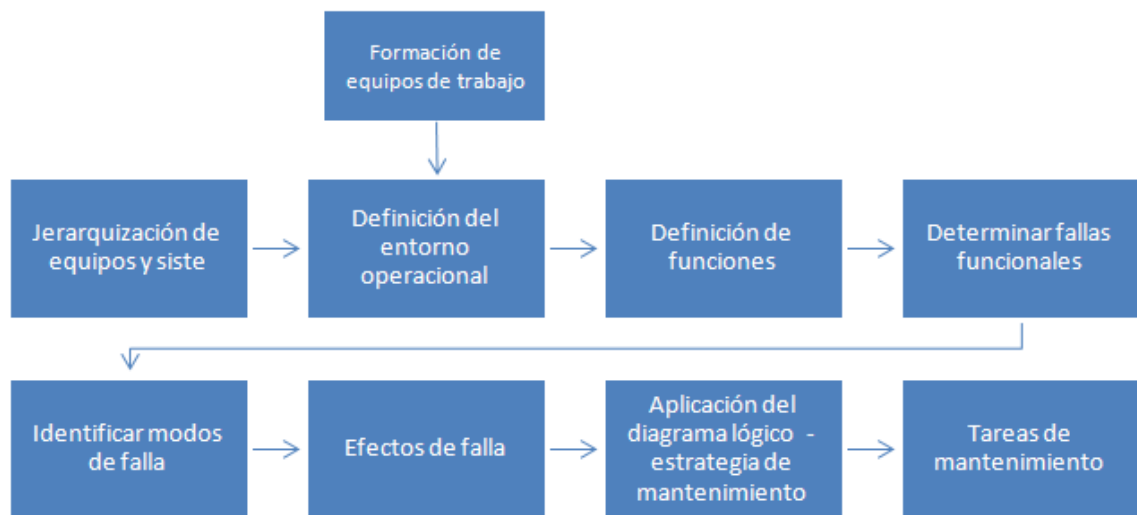
- Mejor conocimiento sobre el sistema.
- Responsabilidad del personal.
- Mayor cohesión entre los servicios de la empresa.
- Toma de acciones por la seguridad de los equipos y las personas.
- Validación de las modificaciones en el tiempo.

El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso analítico y sistemático basado en el entendimiento de la función de los sistemas y las fallas funcionales. El corazón de este proceso es una metodología de análisis sistemático de los modos y efectos de falla (AMEF), que pudieran ocurrir en un equipo específico, evaluados en su contexto operacional. De este análisis se desprenden las posibles causas y mecanismos de fallas, y en consecuencia pueden inferirse las

actividades preventivas, predictivas, detectivas y/o correctivas requeridas para evitar las fallas y/o mitigar sus consecuencias.³

La figura 1 muestra un flujograma del RCM en el que se señalan las diferentes etapas que se cubren en este tipo de estudio.

Ilustración 11: Flujograma del RCM



Fuente: YAÑEZ, Medardo et al. Confiabilidad integral. Venezuela: 2007.

El proceso de RCM incita a responder las siguientes siete preguntas sobre el bien o sistema bajo revisión:⁴

- ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Que ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
- ¿De qué modo afecta cada falla?

³ YAÑEZ, Medardo et al. Confiabilidad integral. Venezuela: 2007.

⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Segunda edición. Industrial press inc.

- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

El resultado de cada análisis de RCM de un equipo es una lista de responsabilidades de mantenimiento que permiten amentar la disponibilidad, confiabilidad y rendimiento operativo del equipo, con un alto nivel de eficiencia de costos.

1.6.2 TPM: MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

Las industrias japonesas, después de la Segunda Guerra Mundial, determinan que para competir eficazmente en el mercado mundial, tenían que mejorar la calidad de sus productos, así, importaron, técnicas de manufactura y administración de los Estados Unidos y los adaptaron a sus circunstancias.

El TPM se orienta a crear un sistema corporativo que maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo un sistema que previene las pérdidas en todas las operaciones de la empresa. Esto incluye “cero accidentes, cero defectos y cero fallos” en todo el ciclo de vida del sistema productivo. Se aplica en todos los sectores, incluyendo producción, desarrollo. Y departamentos administrativos. Se apoya en la participación de todos los integrantes de la empresa, desde la alta dirección hasta los niveles operativos. La obtención de cero pérdidas se logra a través del trabajo de pequeños equipos.⁵

El TPM en resumen desde su concepto incluye las siguientes 5 metas:

- Maximizar la eficacia del equipo.

⁵ GIRALDO, Sebastián. Mantenimiento productivo total. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2013.

- Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo para toda la vida del equipo.
- Involucrar a todos los departamentos que planean, diseñan, usan, o mantienen equipo.
- Activamente involucrar a todos los empleados, desde la alta dirección hasta los trabajadores de piso.
- Promover el TPM a través de motivación con actividades autónomas de pequeños grupos.

La palabra “Total” tiene 3 significados relacionados con 3 características de TPM:

- Eficacia total: perseguir la eficiencia económica.
- PM total: establecer un plan de mantenimiento para la vida del equipo, incluyendo prevención del mantenimiento (técnicas de monitoreo para diagnosticar las condiciones del equipo, identificando signos de deterioro y la inminente falla) y mantenimiento preventivo.
- Participación total: mantenimiento autónomo por operadores y actividades de grupos pequeños en cada nivel.

TPM tiene un triple objetivo: Cero averías en producción, cero defectos de calidad y cero accidentes, cuando esto se ha logrado, el periodo de operación mejora, los costos se reducen, el inventario puede ser minimizado y en consecuencia la productividad se incrementa.

1.6.2.1 PILARES DEL TPM

Una implementación exitosa de TPM requiere el apoyo de 8 pilares fundamentales como soporte a la estructura, estos pilares son:

1. Mantenimiento autónomo
2. Mantenimiento planificado
3. Mejora enfocadas
4. Educación y entrenamiento.
5. Control inicial de equipos y productos
6. Mantenimiento de la Calidad
7. Seguridad y medio ambiente
8. Gestión administrativa

1.6.3 PMO

El sistema de Optimización de mantenimiento preventivo (PMO, sigla en inglés de Planned maintenance optimization) es una metodología que se ha desarrollado para revisar en detalle los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación. Un sistema PMO, facilita el diseño de un marco de trabajo racional y rentable, cuando se cuenta con los registros históricos de Mantenimiento preventivo (PM) y la planta se mantiene bajo control. A partir de ahí, se alcanzan fácilmente grandes mejoras con la adecuada asignación de recursos, y el personal de mantenimiento puede enfocar sus esfuerzos en los defectos de diseño de la planta, o en sus limitaciones operativas específicas.⁶

⁶ **GARCIA PALENCIA, Oliverio. El Sistema PMO: Optimización Real del Mantenimiento Preventivo. VII Congreso Internacional de Mantenimiento ACIEM, 2005.**

El objetivo de esta técnica, que se puede implementar en aquellas organizaciones que tienen amplia experiencia en mantenimiento preventivo, es la optimización real del mantenimiento industrial, aplicando sistemas basados en el estado mecánico de la maquinaria y en su historial de fallas, utilizando los análisis estadísticos como una poderosa herramienta de soporte total a la toma de decisiones gerenciales.

El desempeño histórico de las fallas de los equipos se puede determinar por medio del Análisis estadístico, basado en la distribución de Weibull. Partiendo de los registros de fallas se proyecta la influencia de las actividades de Mantenimiento preventivo sobre algunos índices de gestión de los equipos, tales como confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y eficiencia global de equipos.

1.6.3.1 Que es un sistema PMO

El sistema PMO (Optimización de Mantenimiento Planeado), es un método diseñado para revisar los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación. La teoría básica del PMO parte del análisis del ciclo reactivo del mantenimiento mostrado en la Figura 2, adaptado de Steve Turner.

Ilustración 12: Ciclo reactivo del mantenimiento.



Fuente: TURNER, Steve. MBA. OMCS. (2002). PM Optimization Programs. Maintenance Analysis for Results

El problema radica en que las personas encargadas del mantenimiento no tienen los recursos suficientes para conservar el buen funcionamiento de la planta y no enfocan sus esfuerzos en mejorar la confiabilidad; en este caso se utilizan los pocos recursos dirigidos al mantenimiento preventivo en las interrupciones de la planta.

El mantenimiento preventivo limitado da lugar a un inevitable ciclo de paradas, la productividad se pierde gracias a la mentalidad de realizar mantenimiento provisional. Estas reparaciones generan más trabajo adicional para corregir las fallas, o en el peor de los casos la falla ocurre antes de ser corregida, a menudo se reduce el personal pero no las paradas, mientras la moral del resto del personal

decae, los estándares preestablecidos bajan estrepitosamente y el atraso del departamento no se puede evitar.

Para salir del círculo vicioso del mantenimiento reactivo se ha desarrollado el sistema PMO, un método revolucionario para mejorar la eficiencia de los programas y las estrategias de mantenimiento.

El PMO comienza analizando el programa existente de mantenimiento en la empresa, trabajando con equipos funcionales de toda la planta, identificando aquellos elementos del programa actual que son útiles y los que son inadecuados. El equipo establece que fallas críticas, dentro del historial de fallas, se pueden prevenir con actividades de mantenimiento proactivo.

Luego de realizados los análisis de Confiabilidad, el equipo puede escoger el método de mantenimiento más eficaz, de acuerdo con las necesidades y los demás factores de seguridad ambiental y normativa de la organización. El PMO se basa en la experiencia del personal de planta y su conocimiento técnico. Esto crea un alto grado de sentido de pertenencia y responsabilidad del talento humano, para hacer eficientemente el trabajo de mantenimiento.

El diagrama de decisiones del RCM comúnmente se aplica al análisis de los equipos, esto es de suma importancia cuando se tiene una base de datos de los modos de fallas que ocurren en la planta, incluso los que estén relacionados con las funciones que no son importantes, o los que no tienen relación con el mantenimiento preventivo directo. El PMO reconoce la importancia de las funciones del activo, pero un análisis funcional detallado no es necesariamente crítico para un buen resultado.

El proceso de optimización del mantenimiento preventivo, facilita el diseño de un marco de trabajo racional y rentable, cuando se tiene un sistema de

mantenimiento preventivo consolidado y la planta cuenta con sus registros de control. Esto implica una buena experiencia en hacer mantenimiento planeado. A partir de ahí, se pueden alcanzar grandes mejoras con la adecuada asignación de recursos; y el personal de mantenimiento puede enfocar sus capacidades en los problemas mayores de diseño, operación y mantenimiento de la planta.

1.6.3.2 Ventajas del sistema PMO

El sistema PMO es fundamental para implementar efectivamente la ingeniería de la confiabilidad, y para la adecuada eliminación de defectos de los activos fijos, teniendo en cuenta que:

- Se reconocen y resuelven los problemas con la información exacta.
- Se logra un efectivo uso de los recursos.
- Se mejora la productividad de los operarios y del personal de mantenimiento.
- El sistema se adapta a las situaciones y los objetivos específicos de cada cliente.
- La optimización del mantenimiento preventivo motiva al personal.

Al presentarse una falla o un grupo de ellas, se puede llevar un registro estadístico que permite extrapolar las posibilidades de las causas y su origen. Con este tipo de control, se pueden identificar las posibles fallas repetitivas que presentan los equipos y al mismo tiempo prever los cambios en los activos fijos, con nuevas actividades de mantenimiento preventivo, o cuando se hacen modificaciones importantes en los sistemas.

Mientras que el PMO utiliza el historial de fallas existente como una entrada en la revisión de las actividades del mantenimiento preventivo, reconoce que en la gran mayoría de las empresas, la información contenida en sistemas CMMS, tiende a

ser inexacta e incompleta, y busca corregirla. La fuerza fundamental de un programa de PMO es que todas las acciones de mantenimiento tienen valor agregado, y que el sistema motiva mejoras en muchos otros aspectos del manejo de los activos físicos de la empresa, aparte de los análisis básicos de mantenimiento.

El análisis de confiabilidad con base en el historial de fallas de los equipos, permite determinar el comportamiento real durante su vida útil, con el fin de:

- Diseñar las políticas de mantenimiento a utilizar en el futuro.
- Determinar las frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo.
- Optimizar el uso los recursos físicos y del talento humano.
- Calcular intervalos óptimos de sustitución económica de equipos.
- Minimizar los costos del departamento.

Los beneficios reales que se evidencian con el sistema PMO, como soporte de los proyectos de confiabilidad operacional son:

- Eliminación de fallas y paradas imprevistas.
- Utilización adecuada de los recursos disponibles.
- Incremento en la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y eficiencia global de los equipos.

Los indicadores de confiabilidad ayudan a la gerencia y al personal de planta a entender los requerimientos del negocio, a medir el desempeño real de los equipos e identificar las oportunidades de mejoramiento.

1.6.3.3 Metodología del PMO

Los nueve pasos para la implementación del PMO adaptados de la recomendación de Steve Turner para el PMO2000TM, son los siguientes:

- Paso 1: Recopilación de tareas
- Paso 2: Análisis de los modos de falla
- Paso 3: Racionalización y revisión del FMA
- Paso 4: Análisis Funcional
- Paso 5: Evaluación de las consecuencias
- Paso 6: Definición de la política de mantenimiento
- Paso 7: Revisión y agrupación
- Paso 8: Aprobación e Implementación de los programas
- Paso 9: Programa dinámico

Se debe anotar que un proceso de PMO, deberá basarse en la criticidad o ranking de los sistemas de la planta. Dicha criticidad se puede obtener revisando la jerarquización de equipos o su priorización en la programación de trabajos y subdividiendo o filtrando la información por sistemas y/o equipos para su análisis. Una vez se identifica y mide la criticidad de los sistemas, el proyecto se enfoca en el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización. Los sistemas críticos tienden a ser los que impactan la organización de la siguiente manera:

- Presentan riesgos altos para la seguridad y el medio ambiente.
- Presentan un impacto significativo en términos de costos y producción de la planta.
- Consumen mano de obra en exceso para ser operados y mantenidos.

Una vez se ha realizado el estudio de criticidad, esta es la base para determinar la prioridad en la que se analizaran los sistemas y el rigor de cada uno de los análisis.

A continuación se presenta una breve descripción del significado de cada uno de los pasos de la optimización del mantenimiento planeado:

Paso 1. Recopilación de tareas: Es una recopilación de todas las tareas o actividades de mantenimiento (formal o informal) que se les están realizando a los activos.

Paso 2. Análisis de modos de falla (FMA): Extraer de las bases de datos el listado de modos de falla que están siendo abordados con las tareas o actividades de mantenimiento de los mantenimientos preventivos.

Paso 3. Racionalización y revisión del FMA: Se revisan, se identifican y agregan los modos de falla faltantes que están afectando al activo.

Paso 4. Análisis funcional: En este paso se listan las funciones que se pierden con cada falla.

Paso 5. Evaluación de las consecuencias: Se realiza una evaluación de cada modo de falla para determinar si las fallas son ocultas o evidentes. Para aquellas que se identifiquen como evidentes se debe realizar un análisis de impacto en seguridad, medio ambiente, producción y mantenimiento.

Fallas evidentes: Fallas que pueden ser detectadas por el operador.

Fallas ocultas: Fallas que no pueden ser detectadas por el operador bajo circunstancias normales.

Paso 6. Definición de la política de mantenimiento: En este paso cada modo de falla es analizado y se establecen las nuevas tareas y estrategias de mantenimiento. El enfoque de este paso debe ir a la generación de tareas realizadas bajo el monitoreo por condición, minimizando el mantenimiento intrusivo.

Paso 7. Revisión y agrupación: Se realiza una agrupación de tareas por especialidad y su frecuencia para definir los medios más eficientes y efectivos para encaminar la política de mantenimiento a los objetivos de mantenimiento y producción.

Paso 8. Aprobación e Implementación de los programas: A este nivel de la metodología se realiza la presentación de los resultados de análisis a los directivos y se definen los recursos para dar inicio a la implementación de la nueva estrategia de mantenimiento.

Paso 9. Programa Dinámico: En este paso se debe realizar el aseguramiento de que el programa o estrategia de mantenimiento que se ha revisado se completa a tiempo, revisar las fallas de los equipos y adoptar las herramientas de ingeniería de confiabilidad apropiadas para acelerar la tasa de mejoramiento.

1.6.3.4 Implementando un programa de PMO exitoso⁷

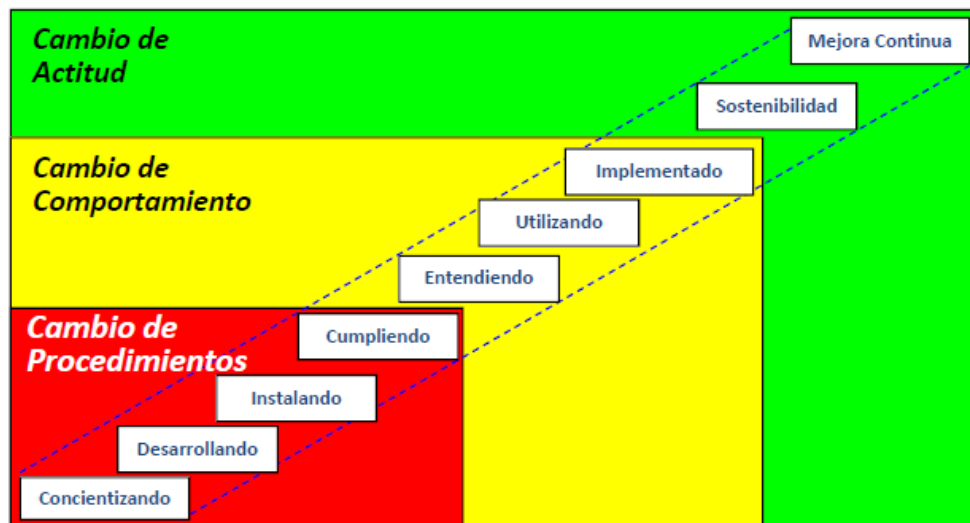
1.6.3.4.1 Vendiendo Mantenimiento como un Proceso no como un Departamento

⁷ <http://confiabilidad.net/articulos/pmo-optimizacion-de-mantenimiento/> Consultado en noviembre 15 de 2013

Los programas de cambio no son fáciles de implementar en las organizaciones y menos cuando estas ya han iniciado el círculo vicioso de mantenimiento.

En la mayoría de los casos es necesario un cambio fundamental en el comportamiento y la motivación a todos los niveles de la organización. Esto significa que el comportamiento y las prioridades de toma de decisiones de los coordinadores también deben ser modificados. Por encima de todo debe haber un compromiso a largo plazo y es posible que se presenten pérdidas a corto plazo, sin embargo estas valdrán la pena, ya que el retorno a la inversión se generará en el futuro próximo.

Ilustración 13: Enfoque confiabilidad humana.



Fuente: VALDERRAMA, Pilar. OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO PLANEADO. 2010.

Los aspectos más importantes de la buena gestión de un programa de PMO para lograr la rotura del círculo vicioso, se describen en los siguientes párrafos:

Se deben escoger proyectos que no se enfocan sólo en un aspecto.

Es necesaria una combinación de proyectos para obtener resultados en:

- Incremento de la disponibilidad
- Reducción de los requerimientos de horas hombre

En muchos casos significa que se deben afrontar aquellos problemas de confiabilidad del proceso, cuello de botella, e igualmente analizar componentes que requieren mantenimiento intensivo y son prolíferos en la planta.

Las razones para emprender proyectos que generan productividad laboral en cambio de disponibilidad de la maquinaria son:

- Los supervisores serán los primeros en colaborar con el programa si ven que existe beneficio en invertir su trabajo.
- El retorno en la productividad laboral es incremental (se puede reinvertir para obtener más productividad) mientras las mejoras en disponibilidad son finitas.

Recolección de información del antes y el después

La toma de datos acerca de la confiabilidad de la planta trae muchos beneficios. Los dos más importantes son:

- Direcccionar el análisis hacia el área de oportunidad.
- Proveer las bases para los equipos de trabajo en los proyectos y así demostrar el valor del trabajo realizado.

Crear equipos multifuncionales desde el taller

PMO no es un proceso de perfección estadística, ni de trabajo de oficina, es un proceso empírico que se basa en el mantenimiento preventivo y en análisis

racional de las tareas. PMO considera que el involucramiento del personal es bastante constructivo y crea sentido de pertenencia y compromiso importante para lograr cambios. No involucrar al personal que ejecutará los cambios creará barreras en la implementación de los mismos.

Integración de los sistemas de administración de información de operaciones y mantenimiento

Para lograr que la redistribución de la carga de trabajo sea efectiva, es importante que sí existen varios sistemas de programación de mantenimiento, la información venga de una sola base de datos o del mismo origen. En la mayoría de organizaciones no se presenta este caso, ya que el departamento de operaciones maneja un sistema separado del sistema que manejan los especialistas de mantenimiento.

Implementar los resultados lo más pronto posible

Existe una tendencia a celebrar el éxito de un proyecto cuando se ha terminado con el análisis, se inician nuevos proyectos y la implementación de los resultados queda olvidada y se realiza pobremente. Esto es bastante malo, ya que se han usado recursos escasos y se han desperdiciado. Sin una implementación exitosa, el trabajo invertido en el análisis generará costos sin retorno y no cumplirá con las expectativas del personal. El personal culpara a la dirección y será muy difícil obtener la participación de la gente en proyectos futuros.

Estructuras disfuncionales de la organización

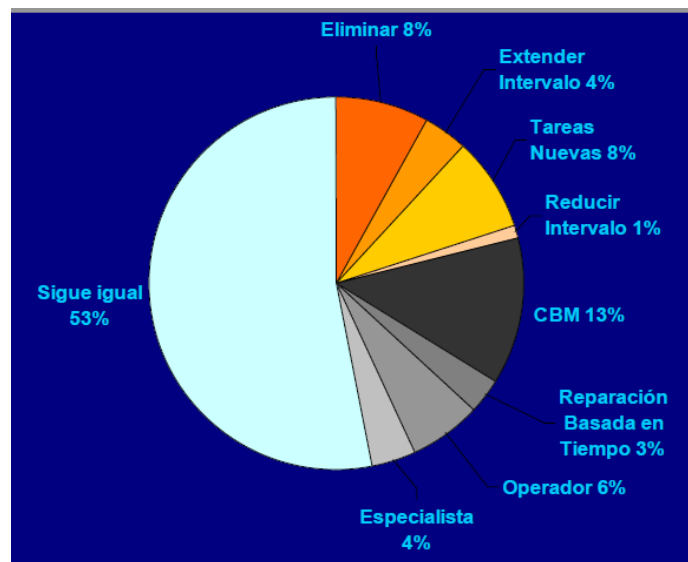
La estructura organizacional de las industrias intensivas en capital se puede describir como departamental, es decir, mantenimiento y operaciones cuentan con

presupuestos, indicadores de gestión y estructuras administrativas separadas. Existen ventajas en las estructuras departamentales, sin embargo, dichas estructuras por lo general pierden eficiencia así:

- Conflicto entre las metas y/u objetivos de cada departamento, lo cual lleva a las directivas a tomar decisiones que no son congruentes con las metas globales del negocio. Las más comunes son las metas a corto plazo de producción que por lo general chocan con los objetivos de mantenimiento de reducir sus costos.
- Duplicación de esfuerzos por parte de los departamentos en alcanzar las mismas metas independientemente. La programación de mantenimiento preventivo de los mecánicos, los electricistas y de los operadores caen en este vicio, ya que cada equipo de trabajo revisa la misma máquina por los mismos modos de falla.
- Excesiva burocracia a todos los niveles en el proceso de toma de decisiones y aprobación. Esto se debe a que los jefes de los diferentes departamentos o áreas tienen diferentes objetivos.
- Demarcación excesiva en la definición de roles y responsabilidades. La facilidad de tomar decisiones se complica debido a las tradiciones de la organización, lo cual previene el uso eficiente de los recursos
- Proliferación de sistemas de información y bases de datos independientes. En el escenario más común, operaciones y mantenimiento manejan la información sobre sus actividades independientemente del sistema de administración de información de mantenimiento (CMMS).

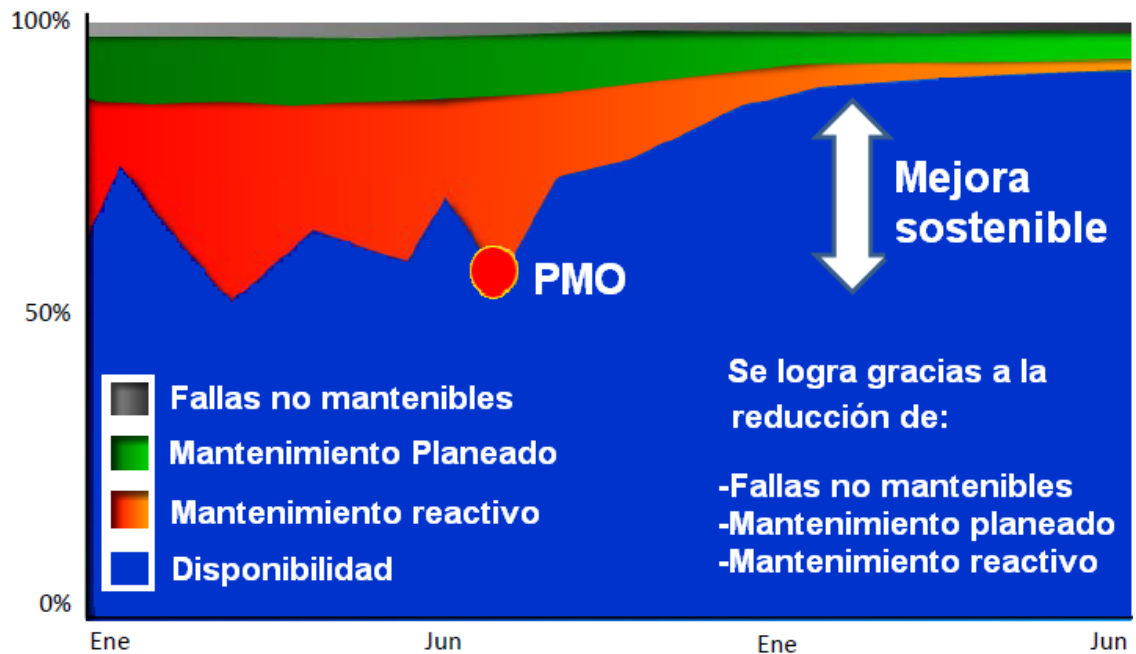
El proceso de eliminación de fallas es visto como una responsabilidad de ingeniería, en donde los problemas son generados por muchos factores y deben ser resueltos por equipos de trabajo multidisciplinarios. Muchos de estos factores son obvios y pueden ser resueltos por parte de los técnicos, quienes gracias a la práctica y la experiencia pueden resolver problemas con consecuencias secundarias.

Ilustración 14: Tareas resultantes de un taller PMO.



Fuente: VALDERRAMA, Pilar. OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO PLANEADO. 2010.

Ilustración 15: Mejora de la disponibilidad luego de implementar PMO.



Fuente: VALDERRAMA, Pilar. OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO PLANEADO. 2010.

PLANEACIÓN DEL PROCESO DE PMO

1.7 DIRECCIONAMIENTO DE PMO

Para el excelente desarrollo durante todo el proceso de la metodología es preciso que la dirección de la organización apoye el proceso dedicando los recursos necesarios y que se establezcan los objetivos del análisis de PMO, estos objetivos pueden estar alineados con el mejoramiento de la disponibilidad, optimización de costos de mantenimiento, optimización de repuestos, estimación de recurso de mantenimiento, etc.⁸

También es muy importante antes de iniciar los talleres de PMO realizar charlas al personal para que se ambiente sobre la metodología.

1.8 EVALUACIÓN DE CRITICIDAD

⁸ ACIEM, DUARTE HOLGUÍN, Juan Carlos. Memorias Curso PMO. Bogotá: Sep-2013.P43.

Existen dos aspectos muy importantes que se deben tener presente antes de iniciar con la realización de la metodología, uno es si el alcance del ejercicio se extiende para varios equipos de características diferentes y si su criticidad actual no corresponde a la evidenciada en el sistema de administración de mantenimiento se recomienda realizar un proceso para poder identificar el orden en el cual se aplicará la metodología. Este proceso consiste en el diligenciamiento de la Tabla N° 5. Planeación proceso PMO.

Para el diligenciamiento de la columna de “CRITICIDAD EVALUADA” es fundamental realizar reuniones con un equipo interdisciplinario en donde se evalúa el impacto que desde varios puntos de vista tiene el activo. Generalmente se evalúan la afectación en la producción, la seguridad de las personas y el medio ambiente.

Cabe destacar que esta criticidad evaluada se recomienda realizar solo para poder definir el orden de los activos a los cuales se les aplica la metodología, lo anterior es porque un análisis de criticidad es más estructurado y muchas veces dependiendo del sector industrial al que pertenece la Empresa se acogen una serie de normas.

Tabla 5: Planeación proceso PMO

PLANEACIÓN DEL PROCESO PMO							
FAMILIA	EQUIPO	TAG	SISTEMA	ESTACION O PLANTA	CRITICIDAD ACTUAL	CRITICIDAD EVALUADA	ORDEN

Fuente: Autores de la monografía

1.9 DISEÑO DE FORMATOS

Antes de iniciar a aplicar la metodología de PMO es fundamental definir cuál es el objetivo del ejercicio para de acuerdo a ello diseñar los formatos con la información necesaria para realizar los informes definitivos y tomar las decisiones

1.10 LISTA DE EQUIPOS PARA EJERCICIO

En Campo Guando existen cuatro sistemas de levantamiento PCP, ESP, Rotaflex y VSH2, de los cuales el más representativo de acuerdo a la cantidad de equipos son los cabezales Weatherford objeto de este estudio.

Tabla 6: Sistema levantamiento

SISTEMA DE LEVANTAMIENTO	FABRICANTE	CANTIDADES	PORCENTAJE
PCP	Weatherford	70	61%
	Kudu	18	16%
ESP	Schlumberger	24	21%
Rotaflex	Weatherford	1	1%
VSH2	Weatherford	2	2%

Fuente: Autores de la monografía

A continuación se relaciona una tabla con un listado de algunos cabezales Weatherford la cual contiene información como la familia a la que pertenece el equipo, la criticidad del activo, el nombre del equipo, el tag que identifica el equipo, el sistema al cual pertenece, la estación o planta donde se encuentra ubicado y el código Sap con el cual se identifica en el sistema de administración de mantenimiento.

Tabla 7: Ejemplo de listado de equipos

LISTADO DE EQUIPOS	
FAMILIA : Cavidad Progresiva	CRITICIDAD: A

EQUIPO	TAG	SISTEMA	ESTACION O PLANTA	CÓDIGO SAP
Cabezal Weatherford	Gua-074	Extracción Crudo	Isla 12	10001786
Cabezal Weatherford	Gua-137	Extracción Crudo	Isla 16	10001901
Cabezal Weatherford	Gua-019	Extracción Crudo	Isla 12	10001191
Cabezal Weatherford	Gua-061	Extracción Crudo	Isla 19	10001810
Cabezal Weatherford	Gua-037	Extracción Crudo	Isla 07	10001818
Cabezal Weatherford	Gua-102	Extracción Crudo	Isla 10	10001172
Cabezal Weatherford	Gua-020	Extracción Crudo	Isla 03	10001069
Cabezal Weatherford	Gua-018	Extracción Crudo	Isla 02	10001070
Cabezal Weatherford	Gua-033	Extracción Crudo	Isla 08	10001188
Cabezal Weatherford	Gua-080	Extracción Crudo	Isla 09	10001844
Cabezal Weatherford	Gua-129	Extracción Crudo	Isla 16	10000069
Cabezal Weatherford	Gua-049	Extracción Crudo	Isla 10	10001184
Cabezal Weatherford	Gua-076	Extracción Crudo	Isla 19	10001072

Fuente: Autores de la monografía

1.11 DESARROLLO DE PROCESO DE PMO

1.11.1 RECOPIACIÓN DE TAREAS

Para el desarrollo de este primer paso es fundamental tener presente cuales son las fuentes de información formales e informales de las actividades que se les realiza a los activos físicos en estudio.

Para el caso de Campo Guando se tiene las siguientes fuentes de información:

- *Sistema de Información Sap*: Se extrae toda la información referente a las estrategias de mantenimiento con las que cuenta el sistema de levantamiento de los cabezales Weatherford.
- *Técnicos de Mantenimiento*: Se debe consultar con los mantenedores de estos cabezales para identificar cuales tareas adicionales a las establecidas en los planes de mantenimiento se les realiza cuando se hace su intervención.
- *Operadores de Equipos*: Son las actividades que los operadores le efectúan a los cabezales, como lo son la toma de datos operacionales, inspecciones y toda aquella relacionada con el fin de mantener el equipo en funcionamiento.
- *Manual de Equipos*: Es importante identificar con el fabricante del equipo cuales son las recomendaciones o actividades que se le deben realizar para mantener el activo en condiciones optimas de funcionamiento.
- *Rondas de Monitoreo por Condición*: Son aquellas que el personal de CBM le realiza a los equipos.

Como resultado de la recopilación de la información se tiene la Tabla N° 8 Recopilación de Tareas, donde la primera columna “Tarea Actual” corresponde a los actividades realizadas al activo, en la siguiente columna se presenta la frecuencia en la que se debe realizar la actividad y por último se establece el responsable de la tarea, para este caso se tiene presente los códigos de los técnicos tal como se tiene en el sistema de administración de mantenimiento.

Tabla 8: Recopilación de Tareas

PASO 1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN		
TAREA ACTUAL	FRECUENCIA	RESPONSABLE
Verificar alineación y tensión de correa sincrónica (Tensión entre 11 y 17 lbs).	12 Meses	MCAB
Retirar Tornillo Magnético y verificar que no contenga residuos metálicos, si los hay reportar al grupo CBM para tomar lecturas después de mto	12 Meses	MCAB
Cambiar Aceite	12 Meses	MCAB
Realizar pruebas de Ultrasonido con personal de CBM	03 Meses	CBM
Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	12 Meses	MCAB
Verificar fugas en stuffing box	12 Meses	MCAB
Revisar estado de la manguera de goteo.	12 Meses	MCAB
Limpiar/ Inspección Visor de Aceite	12 Meses	MCAB
Revisar estado de retenedores superior e inferior	12 Meses	MCAB
Verificar Ajustar prensaestopas	12 Meses	MCAB
Cambiar bujes de bronce, estopas y retenedores	Taller	MCAB
Revisar estado de correas y poleas	12 Meses	MCAB
Verificar estado de guardas de correas.	12 Meses	MCAB
Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	12 Meses	MCAB
Medir Vibraciones a Cabezal	03 Meses	CBM
Termografía	03 Meses	CBM

Fuente: Autores de la monografía

1.11.2 ANÁLISIS DE CAUSAS DE FALLA (FCA)

Antes de realizar un análisis sobre las tareas de mantenimiento y sus causas de falla vamos a adicionar dos columnas más a la plantilla, una es el "COMPONENTE" en ella vamos a colocar el componente o elemento el cual se ve

afectado directamente con la intervención de la tarea de mantenimiento y otra columna con “TIPO MTTO” el cual establece su clasificación de acuerdo a la tarea de mantenimiento que se le realice al activo, por ejemplo el MPV corresponde a un mantenimiento preventivo, MPD se relaciona con un mantenimiento predictivo, MCV se asocia las actividades correctivas, MPR son aquellas actividades de tipo proactivo, INSP son las inspecciones y DOP son asociadas a los datos operacionales.

Después de la adición de estas dos columnas se procede a colocar una con el modo de falla.

Para la identificación de este modo de falla se recomienda realizar charlas y ejercicios previos al taller de PMO con el fin de dar a conocer a todo el personal las características que identifican un modo de falla.

Es importante que el líder del taller de PMO tenga presente que pueden a ver varias actividades de intervención al activo que prevengan el mismo modo de falla, por consiguiente la redacción de este modo de falla debe ser igual para todas estas actividades.

Tabla 9: Análisis de causa de falla

PASO 2. ANÁLISIS DE CAUSAS DE FALLA					
TAREA ACTUAL	FRECUENCIA	RESPONSABLE	COMPONENTE	TIPO MTTO	MODO DE FALLA
Verificar alineación y tensión de correa sincrónica (Tensión entre 11 y 17 lbs).	12 Meses	MCAB	Transmisión	MPV	Daño eje motor

Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	12 Meses	MCAB	Motor	MPV	Daño eje motor
Limpiar/ Inspección Visor de Aceite	12 Meses	MCAB	Visor Aceite	MPV	Daño en Rodamientos
Retirar Tornillo Magnético y verificar que no contenga residuos metálicos, si los hay reportar al grupo CBM para tomar lecturas después de mtto	12 Meses	MCAB	Tornillo Magnético	MPV	Daño en Rodamientos
Termografía	03 Meses	CBM	Cabezal	MPD	Daño en Rodamientos
Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	12 Meses	MCAB	Motor	MPV	Daño estructural motor-cabezal
Verificar fugas en stuffing box	12 Meses	MCAB	Stuffing Box	MPV	Fuga de Crudo
Revisar estado de la manguera de goteo.	12 Meses	MCAB	Manguera de Goteo	MPV	Fuga de Crudo
Limpiar/ Inspección Visor de Aceite	12 Meses	MCAB	Visor Aceite	MPV	Sobrecalentamiento Cabezal
Revisar estado de retenedores superior e inferior	12 Meses	MCAB	Cabezal	MPV	Sobrecalentamiento Cabezal
Cambiar Aceite	12 Meses	MCAB	Cabezal	MPV	Daño en Rodamientos
Realizar pruebas de Ultrasonido con personal de CBM	03 Meses	CBM	Cabezal	MPD	Daño en Rodamientos
Medir Vibraciones a Cabezal	03 Meses	CBM	Cabezal	MPD	Daño en Rodamientos
Cambiar Aceite	12 Meses	MCAB	Cabezal	MPV	Sobrecalentamiento Cabezal
Verificar Ajustar	12 Meses	MCAB	Prensaesto	MPV	Falla en

prensaestopas			pas		Felpas
Revisar estado de correas y poleas	12 Meses	MCAB	Transmisión	MPV	Pérdida de Transmisión
Medir Vibraciones a Cabezal	03 Meses	CBM	Motor	MPD	Pérdida de Transmisión
Verificar estado de guardas de correas.	12 Meses	MCAB	Motor	MPV	Daño en Guarda
Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	12 Meses	MCAB	Motor	MPV	Daño Rodamientos de Motor
Termografía	03 Meses	CBM	Motor	MPD	Daño Rodamientos de Motor
Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	12 Meses	MCAB	Motor	MPV	Pérdida de Aislamiento
Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	12 Meses	MCAB	Motor	MPV	Pérdida de Transmisión
Medir Vibraciones a Cabezal	03 Meses	CBM	Cabezal	MPD	Holgura Mecánica
Termografía	03 Meses	CBM	Motor	MPD	Pérdida de Transmisión
Termografía	03 Meses	CBM	Motor	MPD	Recalentamiento de Motor
Medir Vibraciones a Cabezal	03 Meses	CBM	Motor	MPD	Recalentamiento de Motor
Termografía	03 Meses	CBM	Motor	MPD	Sobrecarga
Verificar alineación y tensión de correa sincrónica (Tensión entre 11 y 17 lbs).	12 Meses	MCAB	Transmisión	MPV	Pérdida de Transmisión
Medir Vibraciones a Cabezal	03 Meses	CBM	Cabezal	MPD	Soltura Mecánica

Verificar fugas en stuffing box	12 Meses	MCAB	Stuffing Box	MPV	Daño Bujes
Verificar fugas en stuffing box	Diario	OPER	Stuffing Box	INSP	Daño Bujes

Fuente: Autores de la monografía

1.11.3 RACIONALIZACIÓN Y REVISIÓN DEL FCA

Luego de realizar el análisis de los modos de falla que se cubren con las intervenciones actuales, se verifica cuales otros modos de fallas están presentes y no han sido tenidos en cuenta hasta el momento en el ejercicio. Estos nuevos modos de falla generalmente se pueden identificar de un histórico de fallas y de los manuales de los equipos.

Se organiza la plantilla con los modos de falla únicos, es decir se organizan los modos de falla de forma ascendente o descendente dependiendo como el líder de PMO lo desee.

En el Anexo A. Paso 3. Racionalización y Revisión del FCA, se presenta el listado de modos de falla organizados.

A nivel de información en la siguiente tabla se presenta un consolidado de modos de falla:

Tabla 10: Consolidado de modos de falla

MODO DE FALLA	CANTIDAD
Daño Bujes	3
Daño eje motor	2
Daño en Guarda	1
Daño en Rodamientos	8
Daño estructural motor-cabezal	1
Daño Retenedores	1
Daño Rodamientos de Cabezal	1
Daño Rodamientos de Motor	5
Falla en Felpas	2
Fuga de Crudo	2
Holgura Mecánica	2
Pérdida de Aislamiento	4

Pérdida de Transmisión	7
Recalentamiento de Motor	3
Ruptura de Barras en Rotor	1
Sobrecalentamiento Cabezal	4
Sobrecarga	1
Soltura Mecánica	2

Fuente: Autores de la monografía

Antes de continuar con el siguiente paso es importante para el desarrollo de este ejercicio identificar y clasificar el modo de falla de acuerdo a su tipo, es decir si el modo de falla se presenta de forma aleatoria o con tiempo.

Un modo de falla es aleatorio cuando se presenta sin ningún aviso, mientras que un modo de falla por tiempo se evidencia mediante algún síntoma tal como desgaste. Esta información es requerida en el paso 6 donde se define la política de mantenimiento mediante un árbol de decisión.

1.11.4 ANÁLISIS FUNCIONAL

En este paso se analiza cuales son las funciones que se pierden con la presencia de un modo de falla, se recomienda para equipos con criticidad A y que estén relacionados con la integridad de los equipos y la integridad de la planta.

Para el caso en estudio no realizaremos este paso.

1.11.5 EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS

Se inicia con los modos de falla ya identificados y organizados en el paso número 3, en este paso vamos a evaluar dos aspectos muy importantes uno es si el modo de falla es evidente u oculto y el otro es cuál sería su consecuencia si el modo de falla se presenta inesperadamente.

Para el desarrollo de los dos aspectos anteriores es muy importante la participación de un equipo interdisciplinario en donde se obtengan diferentes puntos de vista.

En primera instancia vamos a evaluar si la presencia del modo de falla es oculta o evidente, entendiéndose como oculta aquella que ocurre y el operador no se da cuenta en circunstancias normales. El modo de falla evidente es aquel que se puede identificar o detectar por medio de un sistema de monitoreo, inspecciones, intervenciones a los equipos, etc.

Una vez clasificado el modo de falla en oculto u evidente se prosigue con la evaluación de su consecuencia, para este ejercicio vamos a clasificar su consecuencia en tres grupos: el primero son los aspectos relacionados con seguridad industrial, medio ambiente y salud ocupacional (SMS), el segundo está asociado pérdidas de producción (PROD) y por último lo agrupamos en ninguna (NI).

A continuación definiremos esta clasificación:

- *Seguridad industrial, medio ambiente y salud ocupacional (SMS)*: La presencia de la falla en el equipo me afecta directamente la seguridad de las personas, el medio ambiente. Ejemplo: Fuga en el stuffing box del cabezal, esa fuga tiene como resultado contaminación en el medio ambiente y puede afectar la seguridad de las personas cuando alguna de ellas pase por allí y se resbale.
- *Pérdidas de producción (PROD)*: La ocurrencia de la falla afecta directamente la producción o esencia del negocio. Ejemplo: Daño en el bobinado del motor eléctrico del cabezal, esto que se pare la producción.
- *Ninguna (NI)*: Cuya presencia de falla no me afecta a SMS ni a PROD.

La clasificación anterior es dada por los autores de la monografía pero en la literatura actual pueden existir otras relacionadas con el riesgo, pérdida operacional y la reparación del activo.⁹

⁹ACIEM, DUARTE HOLGUÍN, Juan Carlos. Memorias Curso PMO. Bogotá: Sep-2013.P56.

La evaluación de consecuencias se debe consignar en la siguiente plantilla donde tiene el modo de falla, la tarea actual, el tipo de mantenimiento, la frecuencia de intervención del equipo, el puesto de trabajo responsable de ejecutar la actividad, el tipo de modo de falla, la evaluación de la falla en evidente u oculta y la consecuencia asociada a la ocurrencia de la falla.

Tabla 11: Plantilla de PMO, Paso 5

PASO 5. EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS							
MODO DE FALLA	TAREA ANTIGUA	TIPO MTT O	FRECUENCIA	RESPONSABLE	TIPO MDF	EVALUACIÓN MDF	CONSECUENCIA

Fuente: Autores de la monografía

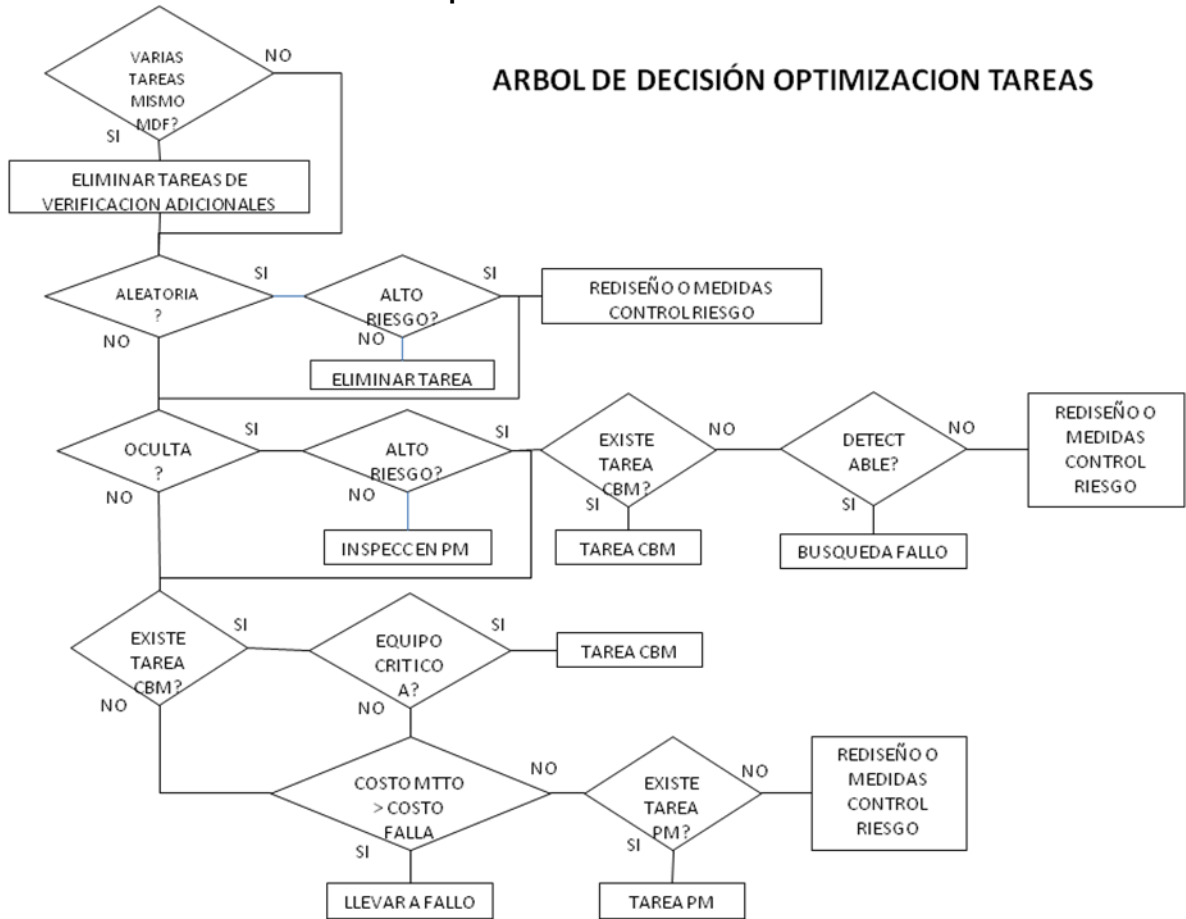
En el Anexo B Paso 5. Evaluación de Consecuencias; se presenta la anterior plantilla diligenciada.

1.11.6 DEFINICIÓN DE LA POLITICA DE MANTENIMIENTO

En este paso se analiza cada modo de falla y se define las nuevas estrategias y tareas de mantenimiento del equipo, el enfoque que le daremos en esta definición está dado a la utilización de los tipos de técnicas basadas en condición.

Para el caso en estudio vamos a definir la política de mantenimiento utilizando un árbol de decisión como se muestra en la Figura 16, cabe recordar que dentro la literatura de PMO existen varias secuencias de selección para la definición de la política de mantenimiento.

Ilustración 16: Árbol de Decisión Optimización de Tareas







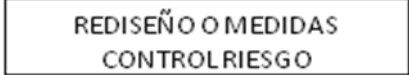




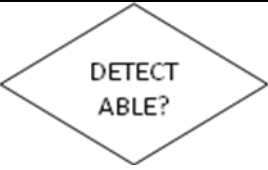







Fuente: Autores de la monografía

El árbol de decisión inicia con el interrogante si existen varias tareas de intervención del equipo con el mismo modo de falla, si es correcto se eliminan las tareas iguales y se deja una sola y las tareas adicionales.

En el siguiente cuadro se hace una descripción del significado del contenido de cada uno de los símbolos:

Tabla 12: Descripción contenido de símbolos.

CONTENIDO DEL SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	<p>¿Varias tareas con el mismo modo de fallo? En el rombo se pregunta si existen varias tareas o intervención al equipo de tal forma que se atienda el mismo modo de falla.</p>
	<p>Se elimina las actividades de verificación adicionales.</p>
	<p>¿La falla es aleatoria?</p>
	<p>¿La falla es oculta?</p>
	<p>¿Existe tarea de mantenimiento basado en condición?</p>
	<p>¿Existe un alto riesgo? En este rombo se establece si la falla tiene consecuencia en SMS, PROD o NI.</p>
	<p>Se verifica si para la falla existe algún control para minimizar su consecuencia o definitivamente se debe realizar un rediseño o aplicar la reingeniería.</p>
	<p>Actividad dada a la eliminación de la tarea.</p>
	<p>Realizar inspección cuando se programe el mantenimiento preventivo.</p>

	¿Si la falla es detectable?
	Ejecutar una tarea de mantenimiento basado en condición.
	Realizar búsqueda de fallo mediante una prueba funcional.
	¿El equipo es tiene criticidad A?
	¿Los costos del mantenimiento son mayores a los costos de la falla?
	Llevar el equipo a falla.
	¿Existe una tarea de mantenimiento preventivo?
	Ejecutar una tarea de mantenimiento preventivo.

Fuente: Autores de la monografía

De acuerdo a la definición de la política de mantenimiento producto del análisis del anterior árbol se estable una serie de acciones que deben ser documentadas en la siguiente tabla:

Tabla 13: Documentación política nueva política

DOCUMENTACIÓN DE LA NUEVA POLITICA DE MANTENIMIENTO											
Modo de Falla	Tarea Antig	Política Sobre la Tarea	Tarea Nueva	Tiempo Estimado	Frecuencia Nueva	Responsable Nuevo	Logística	Materiales / Insumos	Herramienta Especial	Rediseño /Propuesta	Instrucción/Proced

Fuente: Autores de la monografía

Para mejor comprensión de la información que debe documentarse en el anterior cuadro se debe tener presente lo siguiente:

- *Modo de Falla:* Es la falla que debe ser atacada con la nueva tarea de mantenimiento.
- *Tarea Antigua:* Tarea antigua de intervención del equipo.
- *Política sobre la tarea:* De acuerdo al árbol se decide la acción a efectuar con la tarea.
- *Tarea Nueva:* Se describe la actividad nueva de intervención del activo.
- *Tiempo Estimado:* Se estima el tiempo de ejecución de la tarea nueva.
- *Frecuencia Nueva:* Se establece la frecuencia nueva de ejecución de la tarea nueva.
- *Responsable Nuevo:* Personal responsable de la ejecución de la tarea nueva.
- *Logística:* Mencionar la logística necesaria para la realización de la tarea. Ejemplo: requerimiento de vehículos, permiso especial de intervención de equipo, etc.
- *Materiales / Insumos:* Son los materiales e insumos requeridos para la ejecución de la labor.
- *Herramienta Especial:* Herramienta especial que debe ser requerida para la ejecución de la nueva tarea.

- *Rediseño/Propuesta*: Se menciona la posibilidad de realizar una acción de mejora.
- *Instructivo / Procedimiento*: Si es requerido efectuar un procedimiento o instructivo para la ejecución de la nueva tarea.

En el Anexo C. Definición de Política de Mantenimiento, se detalla el formato diligenciado.

1.11.7 AGRUPACIÓN Y REVISIÓN

Luego de definir la política de mantenimiento basándose en el árbol de decisión se procede a establecer con el grupo interdisciplinario la frecuencia y el responsable de la ejecución de la actividad de mantenimiento, también se estima su tiempo de intervención.

Tabla 14: Plan de Mantenimiento Optimizado.

PLAN OPTIMIZADO			
TAREA NUEVA	FRECUENCIA NUEVA	RESPONSABLE NUEVO	TIEMPO (H)
Cambiar Aceite (Recuerde las Buenas prácticas de lubricación)	12 meses	MCAB	2
Detener pozo desde variador	12 meses	MCAB	
Bloqueado y etiquetado del VDF	12 meses	MCAB	
Retirar Tornillo Magnético y verificar que no contenga residuos metálicos. Si los hay reportar al grupo CBM y Supervisor de mantenimiento para tomar decisión de cambio o seguimiento del Cabezal.	12 meses	MCAB	0,5
Realizar Drenaje de Aceite	12 meses	MCAB	
Inspección y Limpieza de Visor de Aceite en caso de encontrarse sucio	12 meses	MCAB	1,5
Observar suciedad del visor	12 meses	MCAB	

En caso de estar sucio se retira soltando los tornillos de sujeción.	12 meses	MCAB	
Desarmar visor y se limpia el vidrio con aceite industrial o varsol y un trapo internamente en caso de ser requerido.	12 meses	MCAB	
Armar visor e instalación.	12 meses	MCAB	
Limpieza de tornillo magnético, se aplica teflón e instalación de tornillo	12 meses	MCAB	
Instalar el tornillo magnético	12 meses	MCAB	
Adicionar aceite hasta nivel requerido observando el visor de aceite	12 meses	MCAB	
Medición y análisis de vibraciones	3 meses	CBM	0,5
Inspección visual búsqueda soltura anclaje	3 meses	CBM	0,16
Inspeccionar tuercas de anclaje del motor verificando que estén ajustadas	3 meses	CBM	
En caso de desajuste reportar a Supervisor de Mantenimiento para programar retorqueo con torque normativo	3 meses	CBM	
Termografía	3 meses	CBM	0,66
Incluir inspección búsqueda de problemas de poleas, correas, rodamientos, frenos, ventilación del motor y demás puntos calientes.	3 meses	CBM	
Verificar fugas en stuffing box	Diario	Recorredor	0,00416
Verificar fuga en manguera de goteo y reportar	Diario	Recorredor	0,00416
Verificar fugas por retenedores inferior y superior	Diario	Recorredor	0,00416
Verificar estado de guarda de correas	Diario	Recorredor	0,00416

Fuente: Autores de la monografía

1.11.8 APROBACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Esta etapa es muy importante programar las reuniones gerenciales con las diferentes áreas de la organización para presentar los resultados de la aplicación de la metodología de PMO.

Luego de realizar la respectiva aprobación del ejercicio de PMO se debe subir al sistema de administración de mantenimiento la nueva estrategia de acuerdo a la Parametrización del software.

1.11.9 PROGRAMA DINÁMICO

Posterior a la implementación del ejercicio en el sistema de administración de mantenimiento recomendamos realizar que el área de planeación y programación de la empresa ejecute los mantenimientos al activo de acuerdo a la estrategia definida y realizar seguimiento anual a los resultados obtenidos.

1.11.10 ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO

Para el análisis de costo beneficio se debe tener acceso a información no contemplada hasta ahora en el ejercicio, tal como los costos de materiales, cantidad de producción por pozo, costos de mano obra, costo de barril, valor de dólar. Con la anterior información y la del plan de mantenimiento optimizado se realiza el diligenciamiento y cálculo para alimentar la tabla 15 Plantilla análisis costo-beneficio.

En el Anexo D. Costo-Beneficio, se presenta en detalle el cálculo de costo-beneficio.

Tabla 15: Plantilla análisis costo-beneficio.

RELACIÓN COSTO BENEFICIO													
ANTES PMO													
TAREAS	COSTO UNITARIO M.O DEL EQUIPO EJECUTOR/HORA	DURACION TAREA	FRECUENCIA AL AÑO	COSTO M.O POR EQUIPO	NUMERO DE EQUIPOS EN LA FAMILIA	COSTO M.O TOTAL	COSTO PERDIDAS OPERATIVAS	COSTO INSUMOS Y REPUESTOS	COSTO TOTAL TAREAS	CUANTIFICACION DE CONSECUENCIA DE FALLA POR MODO DE FALLA NO ATENDIDO	PROBABILIDAD	COSTO RIESGO	COSTO TOTAL

Fuente: Autores de la monografía

Tabla 16: Tabla final costo-beneficio.

TABLA FINAL DE COSTO-BENEFICIO								
	COSTO U\$/AÑO	AHORRO U\$/AÑO	HH MCAB /MES	AHORRO	HH CBM /MES	AHORRO	HH RECORR /MES	AHORRO
				HH MCAB/MES		HH CBM/MES		HH RECORR/MES
SITUACION ACTUAL	\$ 392.807,17	\$ -	54,27	0,00	61,17	0,00	0,00	0,00
OPTIMIZADO	\$ 176.405,12	\$ 216.402,04	36,38	17,88	79,43	-18,25	37,14	-37,14

Fuente: Autores de la monografía

CONCLUSIONES

- Se elaboró un modelo de mejoramiento para planes de mantenimiento de equipos, según la metodología PMO la cual fue utilizada para la definición de la estrategia de mantenimiento del activo en donde se involucra rutinas de intervención preventivas, predictivas y labores de TPM (Mantenimiento productivo total).
- Se elaboró una la guía para la aplicación de la metodología de optimización del mantenimiento planeado y en el transcurso del desarrollo de los pasos del PMO se hace una explicación detallada de que información es la que debe llevar cada una de las casillas de la plantilla.
- Se aplicó la guía elaborada a 70 equipos de superficie de las PCP marca Weatherford en donde se menciona paso a paso como desarrollar la metodología de PMO.
- Se realizó un análisis de costo beneficio comparando la estrategia de mantenimiento actual y la propuesta y se presenta un ahorro de 216.402,04 USD/Año.

BIBLIOGRAFIA

DUARTE HOLGUÍN, Juan Carlos. Diplomado en Gestión y Control de Mantenimiento: PMO- Optimización del Mantenimiento Planeado. Bogotá: ACIEM, 2007.

Fuente: Manual de operaciones campo Guando.

GARCIA PALENCIA, Oliverio. El Sistema PMO: Optimización Real del Mantenimiento Preventivo. VII Congreso Internacional de Mantenimiento ACIEM, 2005.

GIRALDO, Sebastián. Mantenimiento productivo total. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2013.

<http://confiabilidad.net/articulos/pmo-optimizacion-de-mantenimiento/>

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Segunda edición. Industrial press inc.

PASCUAL, Rodrigo. Gestión moderna del mantenimiento. Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2002.

TURNER, Steve. MBA. OMCS. (2002). PM Optimization Programs. Maintenance Analysis for Results.

VALDERRAMA, Pilar. OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO PLANEADO. Colombia: 2010.

YAÑEZ, Medardo et al. Confiabilidad integral. Venezuela: 2007.

ANEXOS

ANEXO A. PASO 3 RACIONALIZACION Y REVISION DEL FCA

Tabla 17: Racionalización y revisión del FCA.

PASO 3. RACIONALIZACIÓN Y REVISIÓN DEL FCA					
TAREA ACTUAL	FRECUENCIA	RESPONSABLE	COMPONENTE	TIPO MTTO	MODO DE FALLA
Verificar alineación y tensión de correa sincrónica (Tensión entre 11 y 17 lbs).	12 Meses	MCAB	Transmisión	MPV	Daño eje motor
Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	12 Meses	MCAB	Motor	MPV	Daño eje motor
Limpiar/ Inspección Visor de Aceite	12 Meses	MCAB	Visor Aceite	MPV	Daño Rodamientos de Cabezal
Retirar Tornillo Magnético y verificar que no contenga residuos metalicos, si los hay reportar al grupo CBM para tomar lecturas después de mtto	12 Meses	MCAB	Tornillo Magnético	MPV	Daño Rodamientos de Cabezal
Cambiar Aceite	12 Meses	MCAB	Cabezal	MPV	Daño Rodamientos de Cabezal
Realizar pruebas de Ultrasonido con personal de CBM	03 Meses	CBM	Cabezal	MPD	Daño Rodamientos de Cabezal
Medir Vibraciones a Cabezal	03 Meses	CBM	Cabezal	MPD	Daño Rodamientos de Cabezal
Termografia	03 Meses	CBM	Cabezal	MPD	Daño Rodamientos de Cabezal

Realizar pruebas de vibraciones con personal de CBM	Taller	CBM	Cabezal	MPD	Daño Rodamientos de Cabezal
Realizar pruebas de Ultrasonido con personal de CBM	Taller	MCAB	Cabezal	MPD	Daño Rodamientos de Cabezal
Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	12 Meses	MCAB	Motor	MPV	Daño estructural motor-cabezal
Verificar fugas en stuffing box	12 Meses	MCAB	Stuffing Box	MPV	Fuga de Crudo
Revisar estado de la manguera de goteo.	12 Meses	MCAB	Manguera de Goteo	MPV	Fuga de Crudo
Limpiar/ Inspección Visor de Aceite	12 Meses	MCAB	Visor Aceite	MPV	Sobrecalentamiento Cabezal
Revisar estado de retenedores superior e inferior	12 Meses	MCAB	Cabezal	MPV	Sobrecalentamiento Cabezal
Cambiar Aceite	12 Meses	MCAB	Cabezal	MPV	Sobrecalentamiento Cabezal
Cambio de Rodamientos de Cabezal	Taller	MCAB	Cabezal	MPV	Sobrecalentamiento Cabezal
Verificar Ajustar prensaestopas	12 Meses	MCAB	Prensaestopas	MPV	Falla en Felpas
Cambiar bujes de bronce, estopas y retenedores	Taller	MCAB	Stuffing Box	MPV	Falla en Felpas
Revisar estado de correas y poleas	12 Meses	MCAB	Transmisión	MPV	Perdida de Transmisión
Verificar alineación y tensión de correa sincrónica (Tensión entre 11 y 17 lbs).	12 Meses	MCAB	Transmisión	MPV	Perdida de Transmisión
Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	12 Meses	MCAB	Motor	MPV	Perdida de Transmisión

Medir Vibraciones a Cabezal	03 Meses	CBM	Motor	MPD	Perdida de Transmisión
Verificar estado de guardas de correas.	12 Meses	MCAB	Motor	MPV	Daño en Guarda
Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	12 Meses	MCAB	Motor	MPV	Daño Rodamientos de Motor
Termografia	03 Meses	CBM	Motor	MPD	Daño Rodamientos de Motor
Cambio de Rodamientos de Cabezal	Taller	MCAB	Cabezal	MPV	Daño Rodamientos de Cabezal
Cambio de Rodamientos de Motor	Taller	Elec	Motor	MPV	Daño Rodamientos de Motor
Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	12 Meses	MCAB	Motor	MPV	Perdida de Aislamiento
Cambiar Deflector de agua en motor	Taller	MCAB	Motor	MPV	Perdida de Aislamiento
Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	Taller	MCAB	Ventilador	MPV	Perdida de Aislamiento
Cambio de Rodamientos de Motor	Taller	Elec	Motor	MPV	Perdida de Aislamiento
Medir Vibraciones a Cabezal	03 Meses	CBM	Cabezal	MPD	Holgura Mecánica de Cabezal
Realizar pruebas de vibraciones con personal de CBM	Taller	CBM	Cabezal	MPD	Holgura Mecánica de Cabezal
Termografia	03 Meses	CBM	Motor	MPD	Perdida de Transmisión
Termografia	03 Meses	CBM	Motor	MPD	Recalentamiento de Motor

Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	Taller	MCAB	Ventilador	MPV	Recalentamiento de Motor
Medir Vibraciones a Cabezal	03 Meses	CBM	Motor	MPD	Recalentamiento de Motor
Termografia	03 Meses	CBM	Motor	MPD	Sobrecarga
Medir Vibraciones a Cabezal	03 Meses	CBM	Cabezal	MPD	Soltura Mecánica
Cambiar bujes de bronce, estopas y retenedores	Taller	MCAB	Stuffing Box	MPV	Daño Bujes
Verificar fugas en stuffing box	12 Meses	MCAB	Stuffing Box	MPV	Daño Bujes
Verificar fugas en stuffing box	Diario	OPER	Stuffing Box	INSP	Daño Bujes
Cambiar bujes de bronce, estopas y retenedores	Taller	MCAB	Stuffing Box	MPV	Daño Retenedores
Cambiar Deflector de agua en motor	Taller	MCAB	Motor	MPV	Daño Rodamientos de Motor
Cambio de Correa Sincrónica	Taller	MCAB	Transmisión	MPV	Perdida de Transmisión
Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	Taller	MCAB	Ventilador	MPV	Daño Rodamientos de Motor
Realizar pruebas de vibraciones con personal de CBM	Taller	CBM	Motor	MPD	Perdida de Transmisión
Realizar pruebas de vibraciones con personal de CBM	Taller	CBM	Motor	MPD	Ruptura de Barras en Rotor
Realizar pruebas de vibraciones con personal de CBM	Taller	CBM	Cabezal	MPD	Soltura Mecánica

Fuente: Autores de la monografía

ANEXO B. PASO 5 EVALUACION DE CONSECUENCIAS

Tabla 18: Evaluación de consecuencias.

PASO 5. EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS							
MODO DE FALLA	TAREA ANTIGUA	TIPO MTTO	FRECUENCIA	RESPONSABLE	TIPO MDF	EVALUAMD	CONSECUENCIA
Daño eje motor	Verificar alineación y tensión de correa sincrónica (Tensión entre 11 y 17 lbs).	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD
Daño Bujes	Cambiar bujes de bronce, estopas y retenedores	MPV	Taller	MCAB	T	Oculto	SMS
Daño Bujes	Verificar fugas en stuffing box	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	SMS
Daño eje motor	Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD
Daño en Guarda	Verificar estado de guardas de correas.	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	SMS
Daño en Rodamientos	Realizar pruebas de Ultrasonido con personal de CBM	MPD	Taller	MCAB	T	Evidente	PROD
Daño estructural motor-cabezal	Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD
Daño Retenedores	Cambiar bujes de bronce, estopas y retenedores	MPV	Taller	MCAB	T	Evidente	PROD
Daño Rodamientos de Cabezal	Limpia/ Inspección Visor de Aceite	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD

Daño Rodamientos de Cabezal	Retirar Tornillo Magnético y verificar que no contenga residuos metalicos, si los hay reportar al grupo CBM para tomar lecturas después de mtto	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD
Daño Rodamientos de Cabezal	Cambiar Aceite	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD
Daño Rodamientos de Cabezal	Realizar pruebas de Ultrasonido con personal de CBM	MPD	03 Meses	CBM	T	Evidente	PROD
Daño Rodamientos de Cabezal	Medir Vibraciones a Cabezal	MPD	03 Meses	CBM	T	Evidente	PROD
Daño Rodamientos de Cabezal	Termografia	MPD	03 Meses	CBM	T	Evidente	PROD
Daño Rodamientos de Cabezal	Realizar pruebas de vibraciones con personal de CBM	MPD	Taller	CBM	T	Evidente	PROD
Daño Rodamientos de Cabezal	Cambio de Rodamientos de Cabezal	MPV	Taller	MCAB	T	Evidente	SMS
Daño Rodamientos de Motor	Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD
Daño Rodamientos de Motor	Termografia	MPD	03 Meses	CBM	T	Evidente	PROD
Daño Rodamientos de Motor	Cambio de Rodamientos de Motor	MPV	Taller	Elec	T	Evidente	PROD
Daño Rodamientos de Motor	Cambiar Deflector de agua en motor	MPV	Taller	MCAB	T	Evidente	PROD

Daño Rodamientos de Motor	Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	MPV	Taller	MCAB	T	Evidente	PROD
Falla en Felpas	Verificar Ajustar prensaestopas	MPV	12 Meses	MCAB	T	Oculto	SMS
Falla en Felpas	Cambiar bujes de bronce, estopas y retenedores	MPV	Taller	MCAB	T	Evidente	SMS
Fuga de Crudo	Verificar fugas en stuffing box	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	SMS
Fuga de Crudo	Revisar estado de la manguera de goteo.	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	SMS
Holgura Mecánica	Medir Vibraciones a Cabezal	MPD	03 Meses	CBM	T	Evidente	NI
Holgura Mecánica	Realizar pruebas de vibraciones con personal de CBM	MPD	Taller	CBM	T	Evidente	NI
Perdida de Aislamiento	Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	MPV	12 Meses	MCAB	A	Evidente	NI
Perdida de Aislamiento	Cambiar Deflector de agua en motor	MPV	Taller	MCAB	T	Evidente	NI
Perdida de Aislamiento	Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	MPV	Taller	MCAB	A	Evidente	NI
Perdida de Aislamiento	Cambio de Rodamientos de Motor	MPV	Taller	Elec	A	Evidente	NI
Perdida de frenado	Revision desgaste de mordazas	MPV	Taller	MCAB	T	Evidente	SMS
Perdida de Transmisión	Revisar estado de correas y poleas	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD
Perdida de Transmisión	Verificar alineación y tensión de correa sincrónica (Tensión entre 11 y 17 lbs).	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD
Perdida de Transmisión	Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD
Perdida de Transmisión	Medir Vibraciones a Cabezal	MPD	03 Meses	CBM	T	Evidente	PROD

Perdida de Transmisión	Termografia	MPD	03 Meses	CBM	T	Evidente	PROD
Perdida de Transmisión	Cambio de Correa Sícronica	MPV	Taller	MCAB	T	Evidente	PROD
Perdida de Transmisión	Realizar pruebas de vibraciones con personal de CBM	MPD	Taller	CBM	T	Evidente	PROD
Recalentamiento de Motor	Termografia	MPD	03 Meses	CBM	T	Evidente	PROD
Recalentamiento de Motor	Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	MPV	Taller	MCAB	T	Evidente	PROD
Recalentamiento de Motor	Medir Vibraciones a Cabezal	MPD	03 Meses	CBM	T	Evidente	PROD
Ruptura de Barras en Rotor	Realizar pruebas de vibraciones con personal de CBM	MPD	Taller	CBM	T	Evidente	NI
Sobrecalentamiento Cabezal	Limpiar/ Inspección Visor de Aceite	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD
Sobrecalentamiento Cabezal	Revisar estado de retenedores superior e inferior	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD
Sobrecalentamiento Cabezal	Cambiar Aceite	MPV	12 Meses	MCAB	T	Evidente	PROD
Sobrecalentamiento Cabezal	Cambio de Rodamientos de Cabezal	MPV	Taller	MCAB	T	Evidente	PROD
Sobrecarga	Termografia	MPD	03 Meses	CBM	T	Evidente	PROD
Soltura Mecánica	Medir Vibraciones a Cabezal	MPD	03 Meses	CBM	T	Evidente	NI
Soltura Mecánica	Realizar pruebas de vibraciones con personal de CBM	MPD	Taller	CBM	T	Evidente	NI

Fuente: Autores de la monografía

ANEXO C. DEFINICION DE LA POLITICA DE MANTENIMIENTO

Tabla 19: Definición de la política de mantenimiento.

DEFINICIÓN DE LA POLITICA DE MANTENIMIENTO											
MODO DE FALLA	TAREA ANTIGUA	POLITICA SOBRE TAREA	TAREA NUEVA	TIEMPO ESTIMADO	FRECUENCIA NUEVA	RESPONSABLE NUEVO	LOGÍSTICA	MATERIALES / INSUMOS	HERRAMIENTA ESPECIAL	REDISEÑO / PROPUESTA	INSTRUCTIVO/PROCEDIMIENTO
Daño eje motor	Verificar alineación y tensión de correa sincrónica (Tensión entre 11 y 17 lbs).	Repetida									
Daño Bujes	Verificar fugas en stuffing box	Cambiar	Verificar fugas en stuffing box	0,25 Min	Diaria	Recorredor					
Daño eje motor	Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	Repetida									
Daño en Guarda	Verificar estado de guardas de correas.	Cambiar	Verificar estado de guardas de correas.	0,25 Min	Diaria	Recorredor					

Daño estructural motor-cabezal	Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	Repetida									
Daño Rodamientos de Cabezal	Limpiar/ Inspección Visor de Aceite	Continuar	Inspeccion de visor y limpieza si esta sucio.	60 Min	12 Meses	MCAB					
Daño Rodamientos de Cabezal	Retirar Tornillo Magnético y verificar que no contenga residuos metalicos, si los hay reportar al grupo CBM para tomar lecturas después de mtto	Continuar	Retirar Tornillo Magnético y verificar que no contenga residuos metalicos. si los hay reportar al grupo CBM y Supervisro de mantenimien to para tomar decision de cambio o seguimiento del cabezal.	30 Min	12 Meses	MCAB					

Daño Rodamientos de Cabezal	Cambiar Aceite	Continuar	Cambiar Aceite	60 Min	12 Meses	MCAB		7 galones Aceite Iso 150	Evaluar la propuesta de cambio de aceite a los cabezales por condicion, tomando la muestra cuando los equipos paren.	
Daño Rodamientos de Cabezal	Realizar pruebas de Ultrasonido con personal de CBM	Repetida								
Daño Rodamientos de Cabezal	Medir Vibraciones a Cabezal	Continuar	Medir Vibraciones a Cabezal y motor	30 Min	3 Meses	CBM				
Daño Rodamientos de Cabezal	Termografia	Continuar	Termografia	35 Min	3 Meses	CBM				
Daño Rodamientos de Motor	Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	Cambiar	Verificar estado de ventilador en motor mediante tecnica cbm		3 Meses	CBM				
Daño Rodamientos	Termografia	Repetida								

os de Motor											
Falla en Felpas	Verificar Ajustar prensaestopas	Repetida									
Fuga de Crudo	Verificar fugas en stuffing box	Repetida									
Fuga de Crudo	Revisar estado de la manguera de goteo.	Cambiar	Inspeccionar fuga en la manguera de goteo del stuffing box				Recorredor				
Holgura Mecánica	Medir Vibraciones a Cabezal	Repetida									
Perdida de Aislamiento	Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	Repetida									
Perdida de Transmisión	Revisar estado de correas y poleas	Cambiar	Verificar mediante tecnicas de CBM el estado de correas y poleas		3 Meses	CBM					
Perdida de Transmisión	Verificar alineación y tensión de	Cambiar	Verificar alineación y tensión de			CBM					

	correa sincrónica (Tensión entre 11 y 17 lbs).		correa sincrónica mediante tecnica CBM								
Perdida de Transmisión	Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	Cambiar	Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados por medio de inspeccion tecnica CBM			CBM					
Perdida de Transmisión	Medir Vibraciones a Cabezal	Repetida									
Perdida de Transmisión	Termografía	Repetida									
Recalentamiento de Motor	Termografía	Repetida									
Recalentamiento de Motor	Medir Vibraciones a Cabezal	Repetida									
Sobrecalentamiento Cabezal	Limpiar/ Inspección Visor de Aceite	Repetida									
Sobrecalentamiento Cabezal	Revisar estado de retenedores superior e inferior	Cambiar	Inspeccionar el estado de retenedores superior e inferior del	0,25 Min	Diaria	Recorredor					

			stuffing box								
Sobrecalentamiento Cabezal	Cambiar Aceite	Repetida									
Sobrecarga	Termografía	Repetida									
Soltura Mecánica	Medir Vibraciones a Cabezal	Repetida									

Fuente: Autores de la monografía

ANEXO D. COSTO BENEFICIO

Tabla 20: Costo beneficio antes de PMO.

RELACIÓN COSTO-BENEFICIO										Valor Barril (USD):	105,5	Producción / Total	8649
										TRM:	1905,25	Producción / Hora	360,375
ANTES PMO													
TAREAS	COSTO UNITARIO M.O DEL EQUIPO EJECUTOR/HORA	DURACION TAREA	FRECUENCIA AL AÑO	COSTO M.O POR EQUIPO	NUMERO DE EQUIPOS EN LA FAMILIA	COSTO M.O TOTAL	COSTO PERDIDAS OPERATIVAS	COSTO INSUMOS Y REPUESTOS	COSTO TOTAL TAREAS	CUANTIFICACION DE CONSECUENCIA DE FALLA POR MODO DE FALLA NO ATENDIDO	PROBABILIDAD	COSTO RIESGO	COSTO TOTAL
* Validación del Cumplimiento Requisitos del permiso trabajo		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Realizar procedimiento de Bloqueo, Aislamiento & Etiquetado del equipo, según estándar establecido.		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Coordinar con INBO, la disponibilidad del equipo de Flush By Truck.		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Con el equipo en servicio: Registrar datos en Orden de Trabajo (RPM Motor - Corriente Amp - Torque %)		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Coordinar con el operador el aislamiento eléctrico y mecánico del equipo.		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Con el equipo fuera de servicio:		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Drenar aceite y Limpiar Visor de Aceite		0	1	0	70	0	0,0		0,0				

Retirar Tornillo Magnético y verificar que no contenga residuos metalicos, si los hay reportar al grupo CBM para tomar lecturas después de mtto	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Corregir fugas en stuffing box	0	1	0	70	0	0,0	704	704,0				
Si el Stuffing Box o los retenedores estan con fuga informar a Ingenieria y mtto	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Si los cambios son aprobados proseguir con el Mtto en taller.	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Ajustar prensaestopas	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Si el presaestopa esta en mal estado cambiar	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Revisar estado de la manguera de goteo.	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Revisar estado de retenedores superior e inferior.	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Cambiar Aceite (Recuerde las Buenas Practicas de Lubricación)	0	1	0	70	0	0,0	912,732	912,7				
Dejar nivel de aceite hasta 3/4 del visor superior	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Revisar estado de correas y poleas	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Verificar alineación y tensión de correa sincrónica (Tensión entre 11 y 17 lbs).	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Verificar estado de guardas de correas.	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Verificar que no queden fugas de aceite	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Coordinar con producción el cambio del Cheque del manifold de producción	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Si el cheque no es cambiado notificarlo en la orden de trabajo	0	1	0	70	0	0,0		0,0				

Verificar estado de ventilador en motor, si esta en mal estado cambiar	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Verificar que los tornillos de sujeción del motor estén apretados	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Si el motor tiene un aviso de CBM para cambio Proceder a realizar el cambio de motor	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Si el cabezal esta en taller:	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
cambiar bujes de bronce,estopas y retenedores	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Cambiar Deflector de agua en motor	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Cambio de Correa Sincrónica	0	1	0	70	0	0,0	872	872,0				
Verificar estado de ventilador del motor, si esta en mal estado cambiar.	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Armar cabezal y realizar prueba con variador	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Realizar pruebas de vibraciones con personal de CBM	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Realizar pruebas de Ultrasonido con personal de CBM	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Llevar cabezal a sitio (Pozo) y conectar	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Reportar a cuarto de control la puesta en marcha (RPM's y Torque)	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Cierre de permiso de trabajo	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Limpieza Del Area De Trabajo	0,4	1	0	70	0	15207,8		15207,8				
* Asegurar Condiciones De Operaciones	0	1	0	70	0	0,0		0,0				
* Coordinar con Operador Encargado La Puesta En Servicio	0	1	0	70	0	0,0		0,0				

* Cerrar Permisos De Trabajo		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
* Devolucion De Material Sobrante A Bodega		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
* Monitoreo Del Equipo En Marcha		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Aceptación & VoBo del Operador:		0,4	1	0	70	0	15207,8		15207,8				
* Recibo & VoBo. del Equipo operativo después de intervención del área Mantenimiento		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
* Aceptación por parte del operador del área de trabajo aseada		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
1. Diligenciar Formato manejo de residuos según Anexo B del estándar PE-24-0010 "Control para traslado y disposición de residuos"		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
2. Disponer del residuo contaminado en el área previamente definida		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
3. Adjuntar a la OT el formato firmado por operaciones		0	1	0	70	0	0,0		0,0				
Alistar Herramienta Necesaria & Verificar toda la documentación requerida y autorizada para ejecución del trabajo (Permiso de Trabajo, AST, Certificados, Orden de trabajo, Procedimientos, Check list de herramientas, formato de disposición de residuos, formato de retiro de materiales)		0,2	1,0	0,0	70,0	0,0	7603,9		7603,9				
Permisos De Trabajo	13,12	0,6	1,0	7,9	70,0	551,1	22811,7		23362,8				
Retiro De Materiales	13,12	0,6	1,0	7,9	70,0	551,1	22811,7		23362,8				
Transporte	13,12	1,0	1,0	13,1	70,0	918,5	38019,6		38938,0				

Ejecución de OT Herramienta en mano	13,12	6,0	1,0	78,7	70,0	5510,8	228117,4		233628,2				
Cierre De La Orden De Trabajo, Retire	13,12	0,6	1,0	7,9	70,0	551,1	22811,7		23362,8				
Tiempo por causas externas	13,12	0,0	1,0	0,0	70,0	0,0	0,0		0,0				
MPd Medición Vibración Motores-Cabezales	13,78	1,3	4,0	70,5	70,0	4936,0	0,0		4936,0				
MPd Termografía Motor- Cabezales	13,78	1,6	3,0	67,3	70,0	4708,2	0,0		4708,2				
TOTALES:						\$ 17.726,72	\$ 372.591,71	\$ 2.488,73	\$ 392.807,17	TOTAL POR RIESGO:			
GRAN TOTAL										\$ 392.807,17			

Fuente: Autores de la monografía

Tabla 21: Costo beneficio después de PMO.

DESPÚES DE PMO													
TAREAS	COSTO UNITARIO M.O DEL EQUIPO EJECUTOR/ HORA	DURACION TAREA	FRECUE NCIA AL AÑO	COSTO M.O POR EQUIP O	NUMERO DE EQUIPOS EN LA FAMILIA	COSTO M.O TOTAL	COSTO PERDIDAS OPERATIVAS	COSTO INSUMOS Y REPUESTOS	COSTO TOTAL TAREAS	CUANTIFICACI ÓN DE CONSECUENCIA DE FALLA POR MODO DE FALLA NO ATENDIDO	PROBABILIDAD	COSTO RIESGO	COSTO TOTAL
Cambiar Aceite (Recuerde las Buenas practicas de lubricación)			1	0	70	0	0,0		0				
Detener pozo desde variador			1	0	70	0	0,0		0				
Bloqueado y etiqueteado del VDF			1	0	70	0	0,0		0				
Retirar Tornillo Magnético y verificar que no contenga residuos metalicos. si los hay reportar al grupo CBM y Supervisor de mantenimiento para tomar decisión de cambio o seguimiento del Cabezal.			1	0	70	0	0,0		0				
Realizar Drenaje de Aceite			1	0	70	0	0,0		0				
Inspección y Limpieza de Visor de Aceite en caso de encontrarse sucio			1	0	70	0	0,0		0				
Observar suciedad del visor			1	0	70	0	0,0		0				
En caso de estar sucio se retira soltando los tornillos de sujecion.			1	0	70	0	0,0		0				

Desarmar visor y se limpia el vidrio con aceite industrial o barsol y un trapo internamente en caso de ser requerido.			1	0	70	0	0,0		0				
Armar visor e instalacion.			1	0	70	0	0,0		0				
Limpieza de tornillo magnetico, se aplica teflon e instalacion de tornillo			1	0	70	0	0,0		0				
Instalar el tornillo magnetico			1	0	70	0	0,0		0				
Adicionar aceite hasta nivel requerido observando el visor de aceite			1	0	70	0	0,0		0				
Medicion y analisis de vibraciones			4	0	70	0	0,0		0				
Inspeccion visual busqueda soldura anclaje			4	0	70	0	0,0		0				
Palpar tuercas de anclaje del motor verificando que esten ajustadas			4	0	70	0	0,0		0				
En caso de desajuste reportar a Sup Mto para programar retorqueo con torque normativo			4	0	70	0	0,0		0				
Termografía			4	0	70	0	0,0		0				
Incluir inspección busqueda de problemas de poleas, correas, rodamientos, frenos, ventilación del motor y demás puntos calientes.			4	0	70	0	0,0		0				
Verificar fugas en stuffing box			365	0	70	0	0,0		0				
Verificar fuga en manguera de goteo y reportar			365	0	70	0	0,0		0				
Revisar fugas por retenedores inferior y superior			365	0	70	0	0,0		0				

Verificar estado de guarda correas			365	0	70	0	0,0		0				
MPV						0	0,0						
Permisos De Trabajo	13,121	0,2	1	2,6242	70	183,694	0,0						
Retiro De Materiales	13,121	0,5	1	6,5605	70	459,235	0,0	1784,732					
Transporte	13,121	1	1	13,121	70	918,47	0,0						
Ejecución de OT Herramienta en mano	13,121	4	1	52,484	70	3673,88	152078,3						
Cierre De La Orden De Trabajo, Retire	13,121	0,1	1	1,3121	70	91,847	0,0						
Tiempo por causas externas	13,121	0,1	1	1,3121	70	91,847	0,0						
MPD													
Permisos De Trabajo	13,777	0,2	4	11,0216	70	771,512	0,0						
Retiro De Materiales	13,777	0,5	4	27,554	70	1928,78	0,0						
Transporte	13,777	1	4	55,108	70	3857,56	0,0						
Ejecución de OT Herramienta en mano	13,777	1,32	4	72,74256	70	5091,9792	0,0						
Cierre De La Orden De Trabajo, Retire	13,777	0,1	4	5,5108	70	385,756	0,0						
Tiempo por causas externas	13,777	0,1	4	5,5108	70	385,756	0,0						
TPM													
Inspecciones Recorredor	11,153	0,0165	365	67,1689425	70	4701,825975	0,0						
TOTALES:						\$ 22.542,14	\$ 152.078,25	\$ 1.784,73	\$ 176.405,12	TOTAL POR RIESGO:			
									GRAN TOTAL	\$ 176.405,12			

Fuente: Autores de la monografía

Tabla 22: Tabla final Costo beneficio.

TABLA FINAL DE COSTO-BENEFICIO								
	COSTO U\$/AÑO	AHORRO U\$/ AÑO	HH MCAB /MES	AHORRO HH MCAB/MES	HH CBM /MES	AHORRO HH CBM/MES	HH RECORR /MES	AHORRO HH RECORR/MES
SITUACION ACTUAL	\$ 392.807,17	\$ -	\$ 51,33	\$ -	\$ 59,47	\$ -	\$ -	\$-
OPTIMIZADO	\$ 176.405,12	\$216.402,04	\$ 34,42	\$ 16,92	\$ 75,13	\$ (15,67)	\$ 35,13	\$ (35,13)

Fuente: Autores de la monografía

