

**OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (PMO) AL SISTEMA DE
COMPRESIÓN DE GAS NATURAL DEL CAMPO RIO CEIBAS**

**FREDY ALEXANDER GUZMÁN ROA
BAYRON LEANDRO PALACIO SANCHEZ
LUIS JESUS TORRADO ZULETA**

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

2015

**OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (PMO) AL SISTEMA DE
COMPRESIÓN DE GAS NATURAL DEL CAMPO RIO CEIBAS**

**FREDY ALEXANDER GUZMÁN ROA
BAYRON LEANDRO PALACIO SANCHEZ
LUIS JESUS TORRADO ZULETA**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: Hugo Hernán Bernate Losada
Magister en Ingeniería en Mantenimiento y Confiabilidad**

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

2015

DEDICATORIA

A Dios, porque todo lo que permite que pase en mi vida me ayuda a crecer, y nada de lo que obtengo es por mi merito sino que él me lo da por su infinita misericordia. Toda la gloria sea para él.

A mi esposa Monica, quien con su gran amor siempre estuvo apoyándome y motivándome a obtener este importante logro en mi vida, que también es de ella.

A mi hija Samara Sofía, que ha sido lo mejor que me ha pasado en mi vida, que ahora es una niña, pero más adelante de la mano de Dios alcanzará muchos logros en su vida y espero estar ahí para celebrarlos con ella.

A mis padres, Mercedes y José, quienes no solo con su sacrificio aportaron para mi formación profesional, sino que también me dieron el ejemplo de respeto y responsabilidad para ser la persona que soy hoy en día.

A mis hermanos Johana y Darwin, que siempre me han apoyado en cada desafío que emprendo, quiero celebrar y estar más cerca de ellos siempre.

Bayron Leandro

DEDICATORIA

*A Dios todo poderoso, por medio de quien pude alcanzar
esta meta, propuesta en mi formación*

A mis padres Luis y Zobeida, quienes han sido mi apoyo todas las etapas de mi vida

*A mis hermanas Rosa y Martha, a mis primos, tíos y tías,
quienes siempre serán mi orgullo
y se alegraran con mis éxitos*

*Y a todas las personas quienes con su conocimiento,
Me ayudan a crecer como persona y
Profesional*

Luis Jesús

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi Esposa Patricia.

Quien me apoyó en los momentos más difíciles, aquellos momentos en los cuales pensé en renunciar, gracias por tu amor y paciencia.

A mi madre Nevy.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi Familia

Por encontrarse disponibles siempre que los necesite.

Fredy Alexander

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Hugo Hernán Bernate Losada, por brindarnos toda su colaboración y disposición como director de este proyecto.

Al Ingeniero Sergio Vulfersthawky, quien proporciono su conocimiento de estos equipos cuando necesitamos su colaboración.

A los ingenieros Jaiver Sanchez y Victor Hugo Velásquez, quienes permitieron la autorización de la realización de esta actividad en activos de Ecopetrol SA

A nuestros compañeros Hugo Segura, Fernando Catillo, Jorge Duque, quienes nos brindaron su conocimiento para obtener un desarrollo lo más eficiente posible

A la Empresa Colombiana de Petróleo ECOPETROL SA. Por permitir que los activos del sistema de compresión de gas de Campo Rio Ceibas fueran objeto del desarrollo de este trabajo

A los representantes de nuestras empresas al permitir nuestra disponibilidad laboral para crecer profesionalmente

**Bayron Leandro
Fredy Alexander
Luis Jesús**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. CAMPO RIO CEIBAS.....	23
1.1. RESEÑA HISTORICA.....	23
1.1.1. Localización y geodinámica del campo Rio Ceibas	24
2. DIAGNÓSTICO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ACTUAL	29
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	29
2.2. OBJETIVOS.....	30
2.2.1 Objetivo General	30
2.2.2. Objetivos Específicos.....	30
2.3. JUSTIFICACION DEL LA SOLUCION.....	31
3. MARCO TEORICO	33
3.1. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM	34
3.1.1. Desarrollo de Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM.....	35
3.1.2. Características del RCM	36
3.1.3. Grupo de elaboración en el RCM.....	39
3.2. OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (PMO)	40
3.3. RCM y PMO.....	47
3.3.1. Diferencias entre PMO y RCM.....	48
3.3.2. Ventajas del PMO comparado con RCM	50
3.3.2.1. PMO optimiza el recurso laboral.	51

3.3.2.2. PMO mejora la productividad.....	52
3.3.2.3. PMO es adaptable a las necesidades del cliente.....	53
3.3.2.4. PMO motiva al personal.....	54
4. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO	55
4.1 SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL GAS LIFT	55
4.1.1. Compresor de Gas Ariel JGK/4.....	56
4.1.1.1. Sistema de enfriamiento	61
4.1.1.2. Sistema de lubricación del compresor.	62
4.1.2. Unidad Motriz - motor Waukesha P9390 GSI	65
5. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA PMO	70
5.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	71
5.2. EJECUCIÓN DE LOS TALLERES PMO.....	74
5.4. EVALUACIÓN DE CONSECUENCIA	77
5.5. DEFINICIÓN DE LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO.....	78
5.6. PLAN DE MANTENIMIENTO OPTIMIZADO	82
5.7. APROBACIÓN E IMPLEMENTACIÓN	87
5.8. ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PMO	87
5.8.1. La confiabilidad humana	88
5.9. PLANEACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PMO.....	89
5.9.1. Programa Dinámico	90
6. ANALISIS DEL PROCESO DE OPTIMIZACION DEL PM.....	92
6.1. RELACIÓN COSTO-BENEFICIO	94
7. CONCLUSIONES	98

BIBLIOGRAFIA.....100

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del Campo Río Ceibas	25
Figura 2. Distribución de Zonas en el campo Rio Ceibas	26
Figura 3. Detalle de planta Batería Norte.....	27
Figura 4. Detalle de planta Batería Sur.....	27
Figura 5. Disposición de las islas del campo rio ceibas	28
Figura 6. Típico grupo de RCM.....	39
Figura 7. Fuentes de información del programa de mantenimiento	41
Figura 8. Modos de falla	41
Figura 9. Racionalización y revisión del FMA.	42
Figura 10. Análisis Funcional.....	43
Figura 11. Evaluación de consecuencias.....	44
Figura 12. Análisis de consecuencias.....	44
Figura 13. Política de mantenimiento.....	46
Figura 14. Enfoques del RCM y PMO.....	49
Figura 15. Comparación RCM - PMO	50
Figura 16. Base conceptual PMO	51
Figura 17. Esquema de una etapa de compresión	57
Figura 18. Diagrama de Flujo Compresor de gas lift.....	58
Figura 19. Esquema de funcionamiento de un pistón de doble efecto.....	59
Figura 20. Compresor de gas lift N° 1 campo Rio Ceibas.....	60
Figura 21. Bomba de lubricación forzada del compresor	63
Figura 22. Elementos mecánicos del compresor de gas Ariel	64
Figura 23. Ficha técnica Motor Waukesha 9390 GSI.....	66
Figura 24. Diagrama de optimización de tareas de mantenimiento.	79
Figura 25. Enfoque de la confiabilidad humana	88

Figura 26. Confiabilidad operacional – Gestión de activos	89
Figura 27. Políticas de mantenimiento sobre el plan de mantenimiento inicial	93
Figura 28. Índice porcentual tipo de mantenimiento VS costo	95
Figura 29. Tareas de mantenimiento antes y después del PMO	96

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de pozos campo rio ceibas	26
Tabla 2. Símil entre la medicina y el mantenimiento.....	33
Tabla 3. Las siete preguntas del RCM y su finalidad.....	36
Tabla 4. Diferencias entre RCM y PMO	48
Tabla 5. Equipos objeto de la optimización del plan de mantenimiento preventivo	55
Tabla 6. Sistema de compresores de tres etapas.....	57
Tabla 7. Ventana operativa etapas de compresión.....	59
Tabla 8. Descripción de los elementos mecánicos del compresor.....	64
Tabla 9. Ventanas operativas del compresor de gas lift	65
Tabla 10. Principales sistemas que conforman el motor WUKESHA 9390 GSI	68
Tabla 11. Tareas planes de mantenimiento actuales.....	73
Tabla 12. Códigos de mantenimiento Ecopetrol S.A.....	73
Tabla 13. Ejemplo análisis y racionalización modo de falla desarrollado.....	76
Tabla 14. Codificación de los sistemas del compresor de gas lift	76
Tabla 15. Tipos de mantenimiento.....	77
Tabla 16. Definición de la nueva política de mantenimiento	80
Tabla 17. Plan de mantenimiento preventivo optimizado.....	83
Tabla 18. Cantidad inicial de actividades por Motocompresor	92
Tabla 19. Distribución de consecuencias.....	92
Tabla 20. Agrupación por frecuencia de las tareas de mantenimiento antes del PMO.....	94
Tabla 21. Agrupación por frecuencia de las tareas de mantenimiento después del PMO.....	94
Tabla 22. Costos según tipo de mantenimiento durante el año 2014	95

Tabla 23. Porcentaje de costos según tipo de mantenimiento durante el año 201495

Tabla 24. Estado de resultados96

RESUMEN

TITULO: OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (PMO) AL SISTEMA DE COMPRESION DE GAS NATURAL DEL CAMPO RIO CEIBAS *

AUTORES: Bayron Leandro Palacio
Fredy Guzmán Roa
Luis Torrado Zuleta **

PALABRAS CLAVES:

Plan de mantenimiento, estándar Job, ESP, PCP, UBM, Gas lift.

DESCRIPCIÓN

Existen diferentes métodos de levantamientos para la extracción de crudo en estaciones petroleras, entre los cuales se encuentran unidad de bombeo mecánico (UBM/Machines), por medio de bombas electro sumergibles (ESP), Bombas de cavidad progresiva (PCP), por inyección de gas (gas lift), por flujo natural, entre otros.

En el campo Rio Ceibas, existen 3 tipos de levantamiento, PCP, ESP y Gas lift, siendo este último el de más relevancia del campo, debido a que aproximadamente un 80% de la producción se obtiene por este medio, por lo cual el sistema de compresión de gas para la inyección, se considera un sistema crítico dentro de la operación y la seguridad de la estación, debido a lo anterior se decide optimizar el plan de mantenimiento actual de este sistema

Durante la recopilación de información y los talleres PMO, se evidencio que gran parte de la ejecución de mantenimiento se realiza de manera informal, por medio de la experticia de los técnicos, esto al encontrar que no todas las actividades se encuentran con estándar Job, principalmente en el área de instrumentación, el sistema de inyección de gas se encuentra compuesto por 3 equipos principales, el scrubber de suministro de gas, motor recíprocante Waukesha y compresores de gas Ariel.

En este documento se encontrará el plan de mantenimiento optimizado, en base a información de manuales, experiencia propia de los autores, experticia de los técnico en la ejecución de actividades y fallas recurrente en el sistema de compresión de gas lift, durante la optimización del plan de mantenimiento, se eliminaron tareas irrelevantes y/o redundantes, agruparon tareas y se agregaron tareas para modos de fallas que no se atendían en el plan de mantenimiento actual.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. MSc. Hugo Hernán Bernate Losada

ABSTRACT

TITLE: OPTIMIZATION MAINTENANCE SCHEDULE (PMO) COMPRESSION SYSTEM OF NATURAL GAS FIELD OF RIO CEIBAS*

AUTHORS: Bayron Leandro Palacio
Fredy Guzmán Roa**
Luis Torrado Zuleta

KEYWORDS:

Maintenance plan, Job, ESP, PCP, UBM, and Gas lift Standard.

DESCRIPTION:

There are different survey methods for the extraction of crude oil stations, including mechanical pumping unit (UBM / Machines) are, by means of electric submersible pumps (ESP), progressing cavity pumps (PCP), injection gas (gas lift), by natural flow, among others.

In the Rio Ceibas station, there are 3 types of lift, PCP, ESP and lift gas, the latter is the most important of the station, because approximately 80% of production is obtained by this type system, so which the gas compression system for injection, is considered a critical system in the operation and safety of the station, for this it is decided optimization the current maintenance program running on this system runs

During the collection of information and the PMO workshops, he showed that much of the execution of maintenance is done informally, through the expertise of technicians, this to find that not all activities are standard Job, mainly in the area of instrumentation, gas injection system is composed of 3 main equipment, supply of gas scrubber, reciprocating engine Waukesha and gas compressors Ariel.

In this document going to find the maintenance plan optimized, based on information from manuals, experience of the authors, the experience of technical personal in the implementation of activities and recurring fails of gas compression system, during the maintenance plan optimization, were eliminated tasks irrelevant or redundant, clustered tasks and added for failure modes that did not were included in the current maintenance plan.

* monograph

** Faculty of Physical Engineering -Mechanics. School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. MSc. Hugo Hernán Bernate Losada

INTRODUCCIÓN

La realidad actual del manejo del mantenimiento de las plantas maduras como la relacionada en esta monografía, es que a pesar de que son realizados con un estricto cumplimiento de calendarios para su ejecución y con procedimientos de ejecución en la mayoría de las veces, no han sido diseñados estructuralmente sólidos desde su creación y dejan entre ver muy poco aporte, beneficio al desempeño y confiabilidad de las plantas. Ballesteros¹, en su trabajo metodología para implementar un modelo de confiabilidad basado en PMO para concretos ARGOS S.A, establece que la permanente búsqueda de la gestión de mantenimiento es el camino a seguir como aporte a la sostenibilidad de una compañía que pretenda mantenerse vigente en un mercado exigente y globalizado. También concluye, que la implementación del PMO es una alternativa altamente viable en empresas con un mantenimiento preventivo consolidado y un entorno de negocios muy dinámico, siendo una de las razones del por qué se escogió esta alternativa y se tomó la decisión de aplicarla a los compresores de gas lift del campo Rio Ceibas.

Teniendo en cuenta a futuro la implementación y a partir del proceso de Optimización del Mantenimiento Preventivo, se facilita el diseño de un marco de trabajo racional y rentable, es decir, contando con el PM consolidado y la planta está en busca de la mejorar continua, como es el caso, las mejoras se pueden alcanzar fácilmente con la adecuada asignación de recursos; y se da un cambio significativo, donde el personal de mantenimiento enfoca sus esfuerzos en los defectos de diseño de la planta, o en las limitaciones operativas.

¹ BALLESTEROS CORREA, Fredy. Metodología para implementar modelo de confiabilidad basado en PMO para concretos ARGOS S.A. Monografía especialización en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, facultad de Ingenierías físico-mecánicas, 2012.145 p.

Independiente de como un programa de mantenimiento ha sido desarrollado, hay una necesidad constante de repasar y poner al día el programa basado en el historial de fallos, cambios de procesos en operaciones y llegadas de nuevas tecnologías de mantenimiento, es cuando la Optimización del plan de mantenimiento (PMO) hace la diferencia y es el medio para racionalizar todo el mantenimiento preventivo y asegurar que existe valor agregado en la gestión del mantenimiento.

El ingeniero Sr. Steve Turne², en su artículo, Análisis del mantenimiento del futuro, argumenta que el enfoque en la productividad humana es un ingrediente esencial en la implementación de un programa de análisis de mantenimiento con éxito. Con esto en mente, es imperativo que el tiempo de análisis no se desperdicie en actividades de bajo valor añadido, tales como el análisis de los modos de fallo que no dan lugar a ningún tipo de mantenimiento programado y de la actividad exhaustiva de análisis funcional.

Así mismo, se refiere a los problemas de muchas organizaciones hoy en día, que se ven atrapadas en un círculo vicioso de mantenimiento reactivo. Aquí es donde es relevante la optimización del mantenimiento, con el objetivo de evitar en la ruptura que consume más recursos de mano de obra que el fallo tendría si se hubiera reparado antes y de una manera planificada. Esto entonces reduce la mano de obra disponible para realizar PM y por lo tanto el ciclo continúa. Por esta razón, es estratégicamente conveniente centrarse en la eliminación de trabajo innecesario y re direccionar estos recursos para el trabajo que añade valor.

² TURNER, Steve. Análisis Mantenimiento de futuro PMOptimisation PMO2000. Australia, Northwestern University - Kellogg School of Management Universidad Chapman

1. CAMPO RIO CEIBAS

1.1. RESEÑA HISTORICA

El campo Rio ceibas ubicado en el departamento del Huila, es un campo con un largo tiempo de explotación, tiempo en el cual ha pasado por diferentes asociaciones y operadores para la explotación del recurso de sus reservas, así:

El campo Río Ceibas³, inició como parte de la Asociación Caguán celebrado el 11 de Enero de 1.984 entre la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) y la compañía Huila Exploración (HUILEX). La ultima operó el Contrato de Asociación Catuán hasta el 27 de marzo de 1.986, fecha en la cual la compañía INTERCOL, hoy ESSO COLOMBIANA, tomó la operación del mismo.

En 1988 la compañía ESSO COLOMBIANA perforó los pozos exploratorios Río Ceibas 1 y 2, estableciendo el descubrimiento de un nuevo campo de hidrocarburo; en el primer semestre del año 1989 se solicitó el decreto de comercialidad del mismo. El 26 de febrero de 1990 ECOPETROL declaró a la ESSO y a sus asociadas, que se les permitiría explotar bajo su cuenta y riesgo el pozo Río Ceibas 1. El pozo Río Ceibas 2 quedó suspendido transitoriamente con potencial para gas.

En 1.992, con la perforación del pozo Rio Ceibas 3 se confirmó de manera definitiva la existencia de un campo de petróleo y gas, motivo por el cual se aprobó la comercialidad del campo por parte de ECOPETROL el día 20 de abril de 1.993.

³ MANUAL DE OPERACIÓN CAMPO RIO CEIBAS, (\ecpnvafp04 Generalidades del campo Rio Ceibas. Ecopetrol S.A

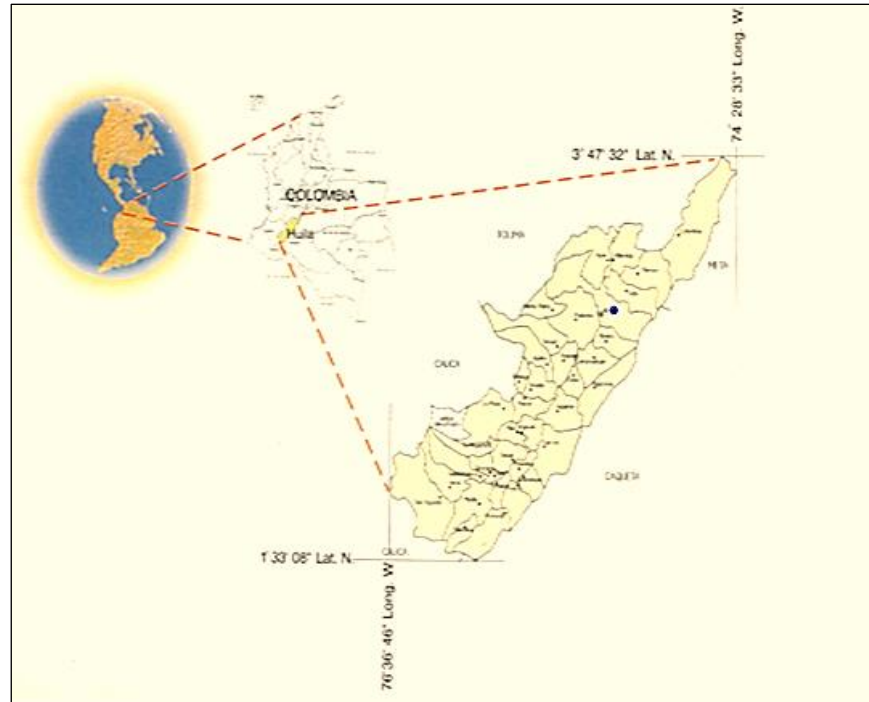
El primero de julio de 1995 la compañía PETROBRAS INTERNACIONAL S.A. – BRASPETRO asume la operación del campo luego de haber adquirido la totalidad de los intereses pertenecientes a la compañía ESSO COLOMBIANA en el marco del contrato Asociación Catuán.

En noviembre del mismo año los socios restantes vendieron su participación a la compañía PACIFIC. El campo entró a producción comercial el 19 de enero de 1.994. En el momento que BRASPETRO adquirió los activos de la ESSO y tomó la operación, tenía un área comercial probada de 456 acres; después de una ardua labor de exploración y desarrollo fue creciendo y en 1995 la multinacional PETROBRAS INTERNACIONAL S.A. asume la operación y se concluye el 31 diciembre de 2011. Este mismo año Ecopetrol se hace cargo y actualmente opera el campo con una producción de crudo de 1350 BPOD.

1.1.1. Localización y geodinámica del campo Río Ceibas

El Campo Río Ceibas se encuentra aproximadamente 25 Km al noreste del municipio de Neiva en el departamento del Huila, en un área de colinas con algunas pendientes fuertes, pero con vías y caminos que facilitan su acceso. Limita por el Este con el margen Nor-occidental de la Cordillera oriental, al occidente con la parte media de la Vereda La Mojarra, al Norte por el Río Fortalecillas y al Sur por el Río Las Ceibas.

Figura 1. Localización del Campo Río Ceibas



Fuente: Manual de operación campo Río Ceibas.

El campo Río Ceibas se localiza en la cuenca sedimentaria del Valle Superior del Magdalena, la cual es una depresión alargada en la dirección NNE-SSW que separa la mitad meridional de las cordilleras Central y Oriental.

Las intercalaciones de arenas y arcillas de la formación Honda, en su parte basal, actúan como rocas almacenadoras y sellos respectivamente. La zona productora del campo está conformada por catorce arenas de origen fluvial, todas controladas estratigráfica y estructuralmente por rasgos similares, pero que constituyen yacimientos diferentes.

El campo Río Ceibas cuenta actualmente con 104 pozos terminados, los pozos se distribuyen por islas; esto para disminuir el impacto ambiental en el área, permitiendo perforar desde una misma locación hasta seis pozos.

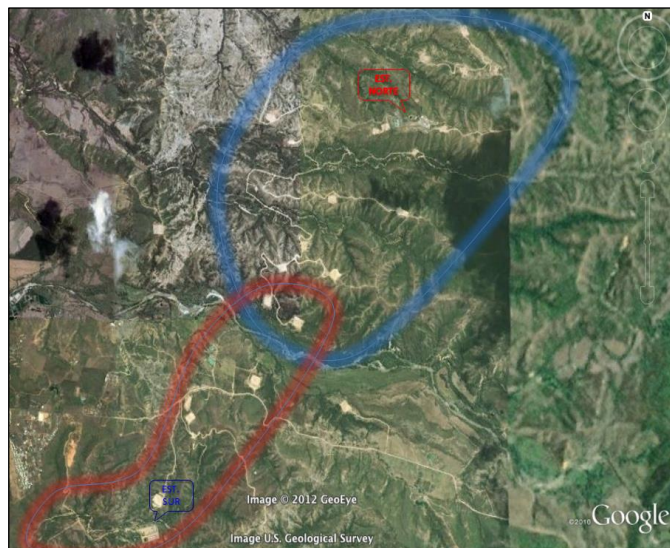
Una distribución más general del campo se hace por zonas, encontrándose islas en la zona norte y en la zona sur, esta última, funciona con una planta o batería independiente donde se realiza la transferencia de crudo hacia la batería principal de Rio Ceibas ubicada en la zona norte.

Tabla 1. Clasificación de pozos campo rio ceibas

POZOS	CANTIDAD
Bombeo Mecánico (UBM)	2 unidades
ESP (3 producen agua y 1 crudo),	4 Unidades
PCP	21 Unidades
Gas Lift	29 Pozos
Inyectores de agua	30 Pozos
Inyectores de gas	4 Pozos
Pozos cerrados	13 Pozos
Pozos abandonados.	2 Pozos
Pozos con flujo natural	0 Pozos

Fuente: Manual de operación campo Rio Ceibas.

Figura 2. Distribución de Zonas en el campo Rio Ceibas



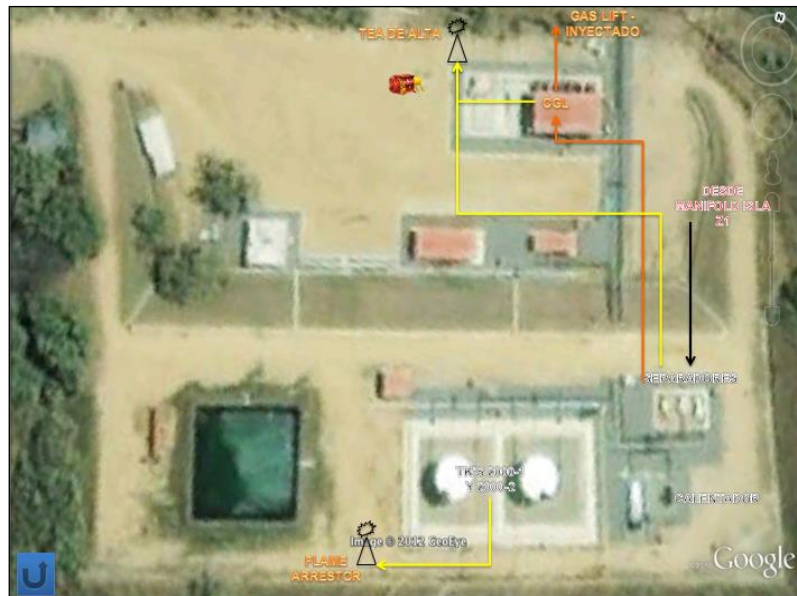
Fuente Google Maps Zonas en el campo Rio Ceibas. [En línea] [Citado 05 de julio de 2015] disponible en: <https://www.google.it/maps>

Figura 3. Detalle de planta Batería Norte



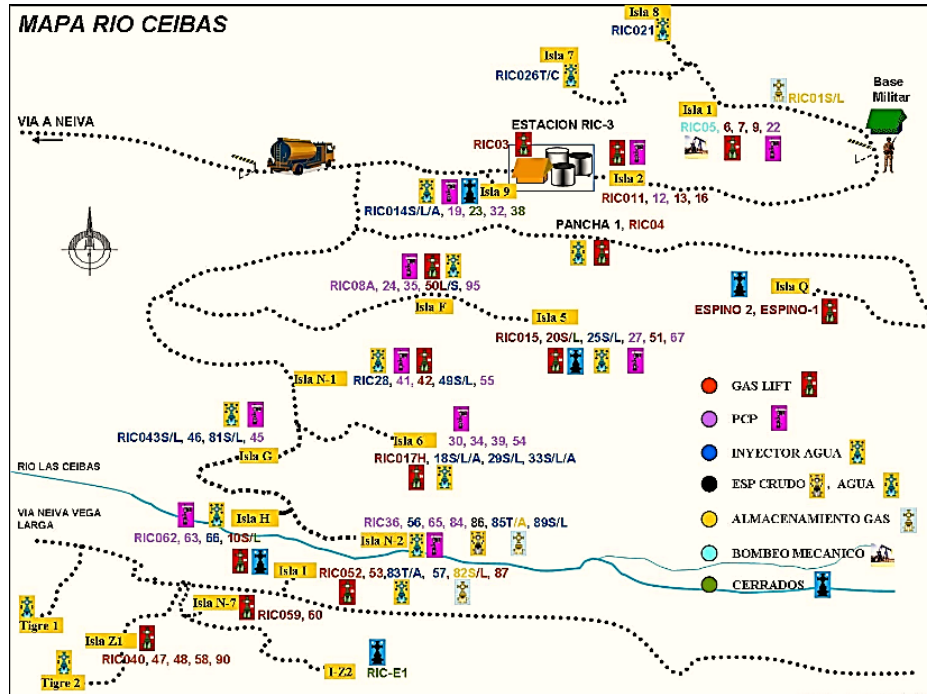
Fuente Google Maps Zonas en el campo Rio Ceibas. [en línea] [citado 05 de julio de 2015] disponible en: <https://www.google.it/maps>

Figura 4. Detalle de planta Batería Sur



Fuente Google Maps Zonas en el campo Rio Ceibas. [en línea] [citado 05 de julio de 2015] disponible en: <https://www.google.it/maps>

Figura 5. Disposición de las islas del campo rio ceibas



Fuente: Manual de operación campo Rio Ceibas.

2. DIAGNÓSTICO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ACTUAL

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La mayor cantidad de crudo producido se debe al sistema de levantamiento por inyección de gas, alcanzando 1500 BOD y 3.5 Millones de pies cúbicos de gas. La importancia y relevancia que tienen los compresores de gas en el proceso de extracción es alta y fundamental para el campo Rio Ceibas.

El sistema de compresión gas de batería Rio Ceibas de Ecopetrol está compuesto por cinco equipos de iguales especificaciones, cada uno conformado por:

- Motor Waukesha P 9390GSI
- Compresor Ariel JGK-4

Se ha identificado poca efectividad en el plan de mantenimiento preventivo que se ejecuta actualmente a los equipos que conforman el sistema de compresión de gas, debido a los siguientes inconvenientes, los cuales generan fallas funcionales bajando la disponibilidad, fallas que a su vez provocan como se dijo anteriormente el colapso del sistema en el peor de los escenarios:

- Ausencia de tareas para modos de falla de componentes críticos.
- Algunas tareas preventivas y/o predictivas no tienen procedimiento para medir o cuantificar modos de falla evidentes.
- Ajuste inadecuado de tareas, frecuencia, duración y frente de trabajo.
- Muy pocas tareas de monitoreo por condición implementados en el PM actual.

- Tareas repetitivas y sin mucho peso en el plan de mantenimiento actual y que no afectan de manera positiva su desarrollo.

El campo Rio Ceibas posee una estación satélite denominada estación Sur, la cual cuenta con dos moto-compresores de gas como equipos principales, esta estación en general posee una cantidad reducida de equipos, por esta razón no se encuentra personal de mantenimiento permanente, debido a esto, se hace necesario mantener una alta confiabilidad en los equipos críticos del caso de estudio, además las distancias entre las estaciones no permiten la Intervención inmediata en caso de fallas de los equipos.

La cantidad de fallas presentadas en el sistema de inyección de gas, tienen un costo significativo en el proceso de mantenimiento dentro de la estación, lo cual puede ser disminuido con un plan de mantenimiento más acorde con la actualidad de los equipos de este sistema.

2.2. OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo General

Optimizar el Plan de Mantenimiento bajo la técnica (PMO) a los equipos del sistema de compresión de gas natural de Rio Ceibas basados en el historial de fallas y en el plan de mantenimiento actual.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar tareas ausentes o innecesarias en los planes de mantenimiento actual y en actividades no formales para cada uno de los cinco equipos de compresión de gas

- Revisar, identificar y agregar los modos de falla faltantes que están afectando a los equipos.
- Definir los recursos para dar inicio a la implementación de la nueva estrategia de mantenimiento.
- Evaluar la relación costo beneficio del PMO, como apoyo para decisión de su futura implementación.
- Entregar formatos diligenciados del PMO realizado para cada uno de las cinco moto-compresores, para la futura implementación por parte de Ecopetrol

2.3. JUSTIFICACION DEL LA SOLUCION

Teniendo en cuenta la importancia y relevancia que tienen los moto-compresores de gas en el proceso de extracción, es vital disminuir la presencia de fallas que se puedan presentar en ellos, debido a que ante la presencia de una falla funcional en uno de los moto-compresores, se generan sobrepresiones en los demás moto-compresores, lo cual ocasiona la salida de todo el sistema de compresión de gas, generando un efecto domino en los diferentes sistemas como: generación, inyección de agua, extracción de crudo, por lo cual, se tendrían grandes pérdidas económicas de acuerdo a la actividad económica de la empresa.

La razón principal de aplicar la técnica PMO a estos equipos radica en la cantidad de fallos que se han presentado en los últimos dos (2) años, lo que nos indica que las tareas asignadas no están atacando los modos de falla adecuadamente, ocasionando fallos inesperados en el sistema de compresión de Gas. Al aplicar la técnica PMO a las estrategias de mantenimiento actual, podemos cubrir todos los

modos de fallas de tal forma que se pueda controlar las fallas, extender la vida útil de todos los componentes y ahorrar dinero a la compañía.

3. MARCO TEORICO

El concepto de mantenimiento se ha incorporado definitivamente a la actual terminología industrial y social, y las actividades que le corresponden son tan importantes. Dentro y fuera de la industria, como pueda serlo cualquiera de las actividades productivas. Entendemos por mantenimiento el conjunto de acciones o técnicas que permiten conservar o restablecer un equipo en un estado específico y asegurar un determinado servicio con un coste mínimo y la máxima seguridad.

Con el fin de aclarar el concepto de mantenimiento, podríamos establecer un símil claro entre la medicina, que opera sobre el hombre, y el mantenimiento sobre la máquina, con las diferencias obvias existentes en ambos casos. En la siguiente tabla se puede ver esta comparación:

Tabla 2. Símil entre la medicina y el mantenimiento

MEDICINA		MANTENIMIENTO	
Conocimiento del hombre	NACIMIENTO	PUESTA EN SERVICIO	Conocimiento de la máquina
Conocimiento de enfermedades	LONGEVIDAD	DURABILIDAD	Conocimiento de fallos
Historial de salud			Historial de fallos
Dossier médico	BUENA SALUD	FIABILIDAD	Dossier de la máquina
Visita de diagnóstico			Inspección de diagnóstico
Conocimientos de los tratamientos	ENFERMEDAD	FALLOS	Conocimiento de formas de reparar
Tratamiento	MUERTE	REEMPLAZO	Reparación

Fuente: JIMENEZ GARCIA, Cecilia

El mantenimiento es, ante todo y sobre todo, un servicio. Sus políticas, objetivos y manera de actuar deben ajustarse a las políticas, objetivos y estructuras de la empresa y deben desarrollarse y evolucionar con la misma.

El objetivo del servicio de mantenimiento es la consecución de un determinado número de horas disponibles de funcionamiento en la planta, instalación, maquina o equipo, en condiciones de calidad de fabricación o servicio exigible con el número de coste y el máximo de seguridad para el personal que utiliza y mantiene las instalaciones y la maquinaria.

Actualmente en la gestión de activos existen 2 metodologías muy importantes para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo a ejecutar en los equipos, estas se denominan:

- Reliability Centered Maintenance RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)
- Optimización de Plan de mantenimiento (PMO)

A continuación se presentará la descripción de cada uno de estos métodos y una comparación entre estos

3.1. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM

⁴ Cuando nos disponemos a mantener algo, ¿Qué es eso que deseamos causar que continúe?, ¿Cuál es el estado existente que deseamos preservar? La respuesta a estas preguntas está dada por el hecho de que todo activo físico es puesto en funcionamiento porque alguien quiere que haga algo, en otras palabras,

⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM 2. Edición en español. 2004. p. 7 – 18.

se espera que cumpla una función o ciertas funciones específicas. Por ende al mantener un activo, el estado que debemos preservar es aquel en el que continúe haciendo aquellos que los usuarios quieren que haga.

Los requerimientos de los usuarios van a depender de donde y como se utilice el activo (Contexto operacional). Esto lleva a la definición formal de mantenimiento centrado en confiabilidad, es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. Tuvo su origen en la Industria Aeronáutica. De estos procesos, el RCM es uno de los más efectivos

- Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Manteniendo mucha atención en las tareas del Mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar.

3.1.1. Desarrollo de Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM

El principal objetivo de un RCM es determinar las tareas o acciones a realizar en el plan de mantenimiento preventivo, buscando atender todas las fallas que provocan pérdida funcional del equipo, para esto, la metodología utiliza un método

particular en el cual se van identificando las necesidades del plan de mantenimiento a través de preguntas, las cuales se conocen como las siete preguntas del RCM

Tabla 3. Las siete preguntas del RCM y su finalidad

Pregunta	Finalidad
¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?	Identificar las funciones del equipo
¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?	Establecer las fallas funcionales
¿Cuál es la causa de cada falla funcional?	Identificar los modos de fallas presentes
¿Qué sucede cuando ocurre una falla funcional?	Registrar los efectos de la falla
¿En qué sentido es importante cada falla?	Determinar consecuencia de la falla
¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?	Establecer las tareas necesarias para evitar fallas funcionales
¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?	Decidir entre rediseño, cambiar o llevar a falla si las condiciones lo ameritan.

3.1.2. Características del RCM

En RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable. Por lo cual las fallas funcionales solo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

Debido a que el RCM, basa su filosofía en la búsqueda de todas las fallas funcionales con el objetivo de que no se presente ninguna, esto lo convierte en el método indicado para la elaboración de un plan de mantenimiento inicial.

- **Fallas funcionales:** Los objetivos de mantenimiento son definidos por las funciones y las expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. El único hecho que pueda hacer que un activo no pueda desempeñarse conforme a los parámetros requeridos por sus usuarios es alguna clase de falla. Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar una política apropiada para el manejo de una falla. Sin embargo, antes de poder aplicar una combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla, se necesita identificar que fallas pueden ocurrir.

- **Modos de falla:** ⁵Una vez que se ha identificado cada falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos de manera razonablemente posible pueden haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denominan modos de falla. Los modos de falla razonablemente posible, incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existente, así como fallas que no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

- **Consecuencias de falla:** Cada una de las fallas afecta la organización de algún modo, pero en cada caso, los efectos son diferentes. Pueden afectar operaciones, también pueden afectar la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente. Todas esas reparadas costarán

⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM 2. Edición en español. 2004. p. 7 – 18.

tiempo y dinero. Son estas consecuencias las que más influyen el intento de prevenir cada falla. Es decir, si una falla tiene serias consecuencias, se debe realizar un gran esfuerzo para intentar evitarla. Por otro lado, si una falla no tiene consecuencias o tiene consecuencias leves, quizás se decida no hacer más mantenimiento rutina que una simple limpieza y lubricación básica.

El proceso RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

- Consecuencias de fallas ocultas: Los fallos que no son evidente no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otros fallos con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata los fallos que no son evidente, primero reconociéndolos como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un accesos simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.
- Consecuencias ambientales y para la seguridad: Un fallo tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. RCM considera las repercusiones que cada fallo tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de producción
- Consecuencias operacionales: Un fallo tiene consecuencias operaciones si afecta la producción. Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.
- Consecuencias no operacionales: Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

3.1.3. Grupo de elaboración en el RCM

En la realidad para obtener las mejores respuestas a las siete preguntas básicas. Se vincula en el grupo de RCM además del personal de mantenimiento el personal operativo o de producción.

Esto se aplica especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de los fallos y las consecuencias de los mismos. Por esta razón, una revisión de los requerimientos del mantenimiento de cualquier equipo debería de hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan por lo menos una persona de la función de mantenimiento y otra de la función de producción.

Figura 6. Típico grupo de RCM



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad.

3.2. OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (PMO)

La principal característica de un PMO es que parte del programa de mantenimiento existente usado dentro de la planta, trabajando con equipos funcionales de toda la planta, identificando elementos del programa actual de mantenimiento los que sean útiles y los que sean inadecuados.

El grupo interdisciplinario conformado para realizar el PMO establece qué fallas críticas fuera del programa de mantenimiento se pueden mejorar con mantenimiento preventivo (PM), una vez que se termine, el equipo puede escoger el método más eficaz y efectivo para el mantenimiento del activo, de acuerdo a las consideraciones locales de producción y a los factores de seguridad ambiental y normas legislativas de la empresa.

El desarrollo de una optimización del plan de mantenimiento sigue un lineamiento determinado por 9 pasos, los cuales se exponen a continuación

Paso 1. Recopilación de Tareas

PMO parte del plan de mantenimiento existente de los compresores gas lift (Formal e informal), igualmente la información obtenida de rondas operacionales, manuales del fabricante y demás tareas que serán cargadas en una base de datos en una hoja de cálculo, definiendo las frecuencias o intervalos en que debieran ejecutarse, así como definir el responsable (especialidad) de ejecutar dicha tarea.

Figura 7. Fuentes de información del programa de mantenimiento



Paso 2. Análisis de los modos de falla

⁶Consiste en la elaboración de una lista de los modos de falla que están siendo atacados con el plan de mantenimiento existente, es decir, identificar todos los hechos de manera razonable posible puedan haber causado cada estado de falla, estos incluyen fallas que están siendo prevenidas por el actual plan de mantenimiento, así como fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto operacional.

Figura 8. Modos de falla

⁶ VALDERRAMA, María del Pilar. Optimización del plan de mantenimiento (PMO). Colombia Julio 2009.

Tarea	Frecuencia	Responsable	Falla
Tarea 1	Diario	Operador	Falla A
Tarea 2	Diario	Operador	Falla B
Tarea 3	Semestral	Ajustador	Falla C
Tarea 4	Semestral	Ajustador	Falla A
Tarea 5	Anual	Electricista	Falla B
Tarea 6	Semanal	Operador	Falla C

Fuente: VALDERRAMA, María del Pilar.

Paso 3. Racionalización y Revisión de los Modos de Falla.

La información se organiza u ordena por modos de falla que facilita la identificación de la duplicación de tareas, esta se da cuando al mismo modo de falla se le aplican varias tareas o rutinas del mantenimiento preventivo. Este paso no es más que consolidar modos de falla únicos.

Figura 9. Racionalización y revisión del FMA.

Tarea	Frecuencia	Responsable	Falla
Tarea 1	Diario	Operador	Falla A
Tarea 4	Semestral	Instalador	Falla A
Tarea 2	Diario	Operador	Falla B
Tarea 5	Anual	Electricista	Falla B
Tarea 3	Semestral	Instalador	Falla C
Tarea 6	Semanal	Operador	Falla C
			Falla D

Fuente: VALDERRAMA, María del Pilar

La duplicidad de tareas fue una de las irregularidades más frecuentes que se dio en el plan de mantenimiento actual de los compresores de gas lift, es una de las variables más importantes que aumenta la tasa de fallas en el plan de mantenimiento actual.

En este paso se incluyen modos de fallas basados en un análisis histórico, documentación técnica o la experiencia del equipo (Interdisciplinario) que realizó la metodología. Así mismo, como se ve en la ilustración se añaden nuevos modos de falla (**Falla D**), fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

Paso 4. Análisis Funcional

En este paso se pueden establecer las funciones perdidas por cada modo de falla, que se puede generar cuando se presenta una falla, este paso es opcional, pero justifica realizarlo cuando se trata de equipos de criticidad alta o de alto grado de complejidad, en donde es necesario el entendimiento de todas sus funciones para asegurar un mantenimiento sólido.

Figura 10. Análisis Funcional.

Tarea	Frecuencia	Responsable	Falla	Función
Tarea 1	Diario	Operador	Falla A	Función 1
Tarea 4	Semestral	Instalador	Falla A	
Tarea 2	Diario	Operador	Falla B	Función 1
Tarea 5	Anual	Electricista	Falla B	
Tarea 3	Semestral	Instalador	Falla C	Función 2
Tarea 6	Semanal	Operador	Falla C	
			Falla D	Función 1

Fuente: VALDERRAMA, María del Pilar

Paso 5. Evaluación de consecuencias

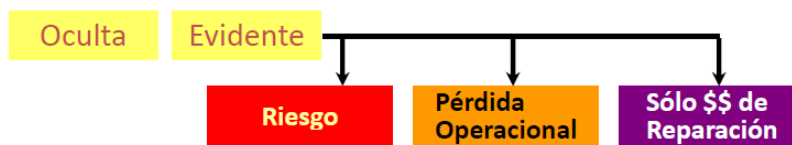
En esta paso cada modo de falla se analiza para determinar si la falla es oculta o evidente, es decir, es aquel que no es detectable o evidente a los operarios en circunstancias normales de funcionamiento de un equipo. Por fallas evidentes una nueva determinación del riesgo o consecuencia operativa se hace.

Figura 11. Evaluación de consecuencias

Tarea	Frecuencia	Responsable	Falla	Función	Consecuencia
Tarea 1	Diario	Operador	Falla A	Función 1	Operacional
Tarea 4	Semestral	Instalador	Falla A		
Tarea 2	Diario	Operador	Falla B	Función 1	Operacional
Tarea 5	Anual	Electricista	Falla B		
Tarea 3	Semestral	Instalador	Falla C	Función 2	Oculto
Tarea 6	Semanal	Operador	Falla C		
			Falla D	Función 1	Operacional

Fuente: VALDERRAMA, María del Pilar

Figura 12. Análisis de consecuencias



Fuente: VALDERRAMA, María del Pilar

Hay tres estrategias de mantenimiento para mitigar o eliminar los modos de falla evidentes:

- Mantenimiento por condición (Mantenimiento predictivo)
Intervalo determinado por la curva P – F
- Reemplazo o programación programada (mantenimiento preventivo)
Intervalo determinado por la vida segura o vida útil.
- Llevar a falla
Donde las fallas son aleatorias e impredecibles.
El costo del PM es mayor que el costo de la falla.

Paso 6. Definición de la política de mantenimiento

La filosofía de mantenimiento moderna se deriva de la premisa de que los programas de mantenimiento con éxito tienen más que ver con las consecuencias de las fallas que el propio activo. En este paso, cada modo de falla se analiza utilizando el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), así mismo, este paso establece las políticas de mantenimiento nuevas o revisadas. Se coloca en evidencia lo siguiente:

- Los elementos del programa de mantenimiento que son rentables y que no lo son. (Estos últimos deben eliminarse).
- Que tareas serían más efectivas y menos costosas si fueran basadas en condición, en lugar de llevarlas a falla o viceversa.
- Que tareas no aportan beneficio y deben ser eliminadas del programa.
- Que tareas serían más efectivas si se realizaran bajo diferentes frecuencias.
- Qué fallas estarían mejor gestionadas por el uso de simple o avanzada tecnología.
- Que información se debe coleccionar para predecir mejor comportamiento del activo durante su ciclo de vida.
- Que falla o defectos se deben eliminar utilizando el análisis de causa raíz **RCA**.

Figura 13. Política de mantenimiento

Causa	Función	Consecuencia	Política	Frecuencia
Falla A	Función 1	Operacional	Inspección	Diaria
+				
Falla B	Función 1	Operacional	No PM	
Falla C	Función 2	Ocultas	Prueba	Anual
Falla D	Función 1	Operacional	Inspección	Semanal

Fuente: VALDERRAMA, María del Pilar

Paso 7. Agrupación y Revisión

En este paso el equipo interdisciplinario establece el más eficiente y eficaz método para la gestión de mantenimiento del activo delegando las funciones a personas calificadas, con el fin de lograr una buena administración del mantenimiento para lograr eficiencia y productividad esperada.

Paso 8. Aprobación e Implementación

En este paso, el resultado del análisis se presenta a la alta dirección para su revisión y comentarios. El equipo de trabajo realiza la presentación de los nuevos cambios a realizar en el actual plan de mantenimiento.

Paso 9 – Programa Dinámico

Durante este paso, varios de los procesos vitales de la Gestión de los Activos pueden afinarse mientras la tasa de mejoramiento se acelera. Estos procesos son:

- Estrategia de Producción y Mantenimiento
- Medición de Desempeño

- Reportes y Eliminación de Fallas
- Planeación y Programación
- Gestión de Inventarios

La intención final de este Paso es la de crear una organización que busca continuamente su mejoramiento, para ello hay que crear conciencia de que es importante evaluar las garantías de todas las tareas y cada falla no planeada que se presente.

Para lograr las metas es importante contar con personal capacitado en técnicas de análisis e igualmente contar con la motivación al personal por parte de la dirección para crear en el trabajador un sentido de pertenecía, de compromiso y de creatividad para mejorar su trabajo y optimizar costos de producción.

3.3. RCM y PMO

La revisión de los programas de mantenimiento y de la historia de fallas es una actividad que la mayoría de las organizaciones emprenden sin ninguna duda desde que el mantenimiento formal fue implementado, algunas organizaciones hacen esto continuamente, mientras que otras solo cuando realmente se presenta la necesidad, desafortunadamente otras no realizan ninguna actividad de revisión.

Los principios de las decisiones de RCM se aplican al análisis realizado por el grupo, esto es un aspecto muy importante dado que se tienen ya registrados una base de datos de todos los modos de fallas que ocurren en la planta, incluso con los que están conectados con las funciones que realmente no importan, o las que no son obviamente relacionadas con el mantenimiento preventivo directo.

El PMO se puede utilizar en equipos nuevos y en etapas de diseño de estos equipos mediante la comparación con un programa de mantenimiento de un equipo similar, usando la metodología para ajustar la base del programa con el diverso funcionamiento y para diseñar las condiciones que se experimentaran, además de los principios básicos para la implementación de PMO.

3.3.1. Diferencias entre PMO y RCM

Son productos diferentes con el mismo objetivo, definir los requerimientos de mantenimiento de los activos. Es necesario entender que están diseñadas para ser utilizados en situaciones diferentes, RCM fue diseñado para desarrollar el programa inicial de mantenimiento durante la etapa de diseño del ciclo de vida de los activos, mientras que PMO ha sido diseñado para utilizarlo una vez los activos estén en uso.

Como resultado de un análisis comparativo entre PMO y RCM se plantean a continuación las diferencias funcionales y metodológicas más importantes

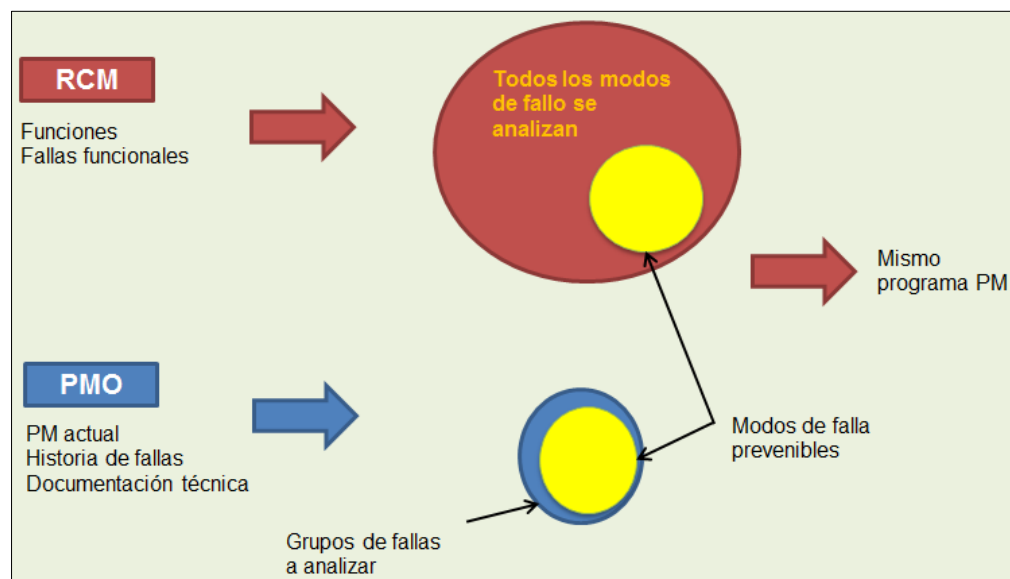
Tabla 4. Diferencias entre RCM y PMO

RCM	PMO
Es un proceso de fundación.	Es un método de revisión.
Analiza todas y cada una de las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional.	Reconoce que las funciones del activo son importantes, pero un análisis funcional detallado no es generalmente crítico para un buen resultado.
Genera una lista de modos de falla desde el riguroso análisis funcional de todas las funciones, y busca analizar todos los modos de falla en cada equipo del sistema analizar.	Genera una lista de modos de falla desde el plan de mantenimiento actual, de una evaluación del historial de fallas y de la revisión de documentación técnica.
Analiza cada modo de falla por separado.	Varios modos de falla se unen y se analizan en conjunto.
Involucra mucho mayor tiempo, y más costo obteniendo los mismos resultados	Se realiza en mucho menos tiempo, y con menos obteniendo los mismos

del PMO.	resultados del RCM.
----------	---------------------

En la siguiente imagen se destaca la diferencia metodológica más importante entre el PMO y el RCM, la cual es la forma en que se generan los modos de falla en cada uno sus métodos, diferencia descrita en la tabla anterior.

Figura 14. Enfoques del RCM y PMO



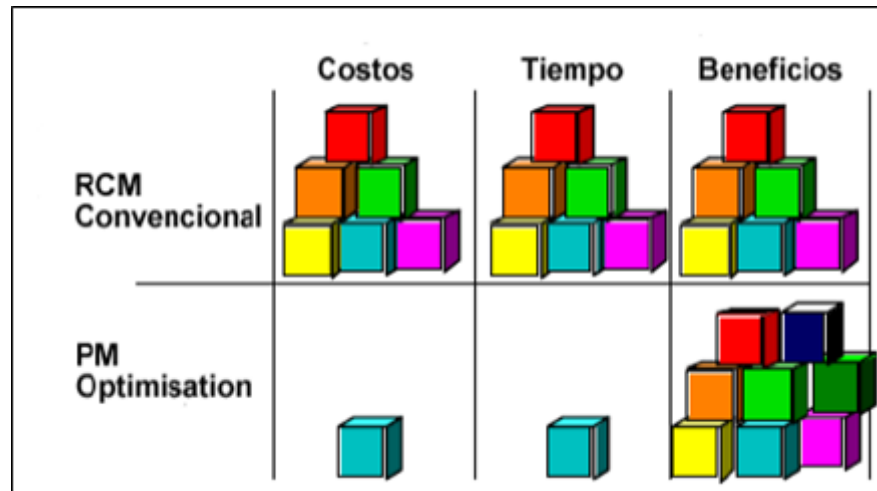
Fuente: DUARTE HOGUIN Juan Carlos

⁷ La experiencia en la industria de energía nuclear de los estados unidos ha demostrado que en promedio PMO es seis veces más rápido que RCM en generar resultados. En efecto, PMO racionaliza lo que se está haciendo y le agrega lo que necesita hacerse, que no estaba previamente en su lugar, cambiando así, la intensidad de los recursos del análisis y el tiempo, a la puesta en práctica.

En la siguiente imagen se muestra la comparación del PMO y RCM respecto a costos y tiempo en cada metodología, obteniendo los mismos beneficios

⁷ BALLESTEROS CORREA, Fredy. Metodología para implementar modelo de confiabilidad basado en PMO para concretos ARGOS S.A. Monografía especialización en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, facultad de Ingenierías físico-mecánicas, 2012.145p

Figura 15. Comparación RCM - PMO



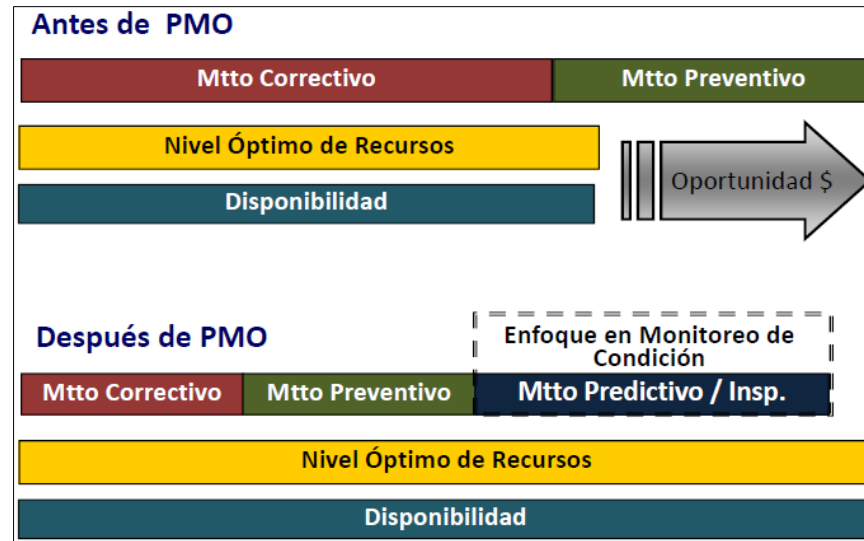
Fuente: US Nuclear Power Industry

3.3.2. Ventajas del PMO comparado con RCM

La optimización de mantenimiento utiliza los principios y conceptos de RCM, que han sido exitosamente aplicados en la industria de la aviación por más de 30 años y en otras industrias por casi 20 años. Estos principios han mejorado con gran éxito la confiabilidad operacional de los aviones civiles en más de un 10,000% durante este tiempo.

Mientras que PMO utiliza los principios de RCM, el enfoque en la implementación que utilizan las aerolíneas y otros proveedores de RCM “clásico”, tienen serias debilidades prácticas en un ambiente industrial. PMO aplica los principios y conceptos de RCM de modo que está mucho más enfocado en lograr beneficios en un ambiente industrial que el RCM tradicional.

Figura 16. Base conceptual PMO



Fuente: VALDERRAMA, María del Pilar.

3.3.2.1. PMO optimiza el recurso laboral.

En estos días de organizaciones “delgadas”, en cualquier esfuerzo de mejora que requiera de trabajo interno, ya sea del personal de piso o del staff de apoyo, es necesario asegurarse de usar estos recursos de trabajo de modo efectivo y altamente productivo. El PMO está fuertemente enfocado a la productividad al:

- Tener un analista que recabe y consolide los datos de fallas existentes, previo a la revisión de los equipos de trabajo del personal de piso.
- Centrar esfuerzos en aquellos modos de fallo que están causando problemas actualmente o que están siendo sujetos a alguna forma de PM.
- En los análisis clásicos de RCM, más del 50% de los modos de fallo que se analizan, resultan en “Ningún Mantenimiento Programado”. PMO reduce el tiempo y el esfuerzo gastado en estos modos de fallo.

- Tomar un enfoque más directo al desarrollo de los estatutos de la función del equipo que el RCM clásico (y en muchos casos, eliminando la necesidad de definición de estatutos de función por completo).

3.3.2.2. PMO mejora la productividad.

PMO no sólo hace un uso más efectivo del tiempo de operadores y personal de mantenimiento durante el curso del análisis, sino que mejora significativamente la productividad de éstos durante sus actividades diarias y lo logra de dos maneras:

PMO identifica exitosamente las áreas en dónde hay superposición de tareas entre operadores, equipos de mantenimiento y contratistas, y resuelve eficazmente cualquier asunto de duplicación o comunicación implicadas. Por ejemplo:

- Los Contratistas de Análisis de Vibración han sido llamados para monitorear la vibración de los cojinetes en ciertas bombas en el sitio.
- Los Operadores han sido requeridos para monitorear estos mismos cojinetes por ruidos anormales durante el curso de sus rondas diarias.
- Los Técnicos están esperando para cambiar estos cojinetes sobre la base de una rutina de puesta a punto de las bombas previamente programada.

En este caso, PMO racionalizará esta situación, resolviendo el conflicto de las estrategias de mantenimiento para los cojinetes (basado en las condiciones vs. reemplazo programado) y resolviendo la duplicación de inspecciones realizadas tanto por los contratistas cómo por los operadores.

PMO se asegura que la persona con las habilidades apropiadas para realizar una tarea específica, sea la misma que está asignada para esa tarea. En la mayoría de las organizaciones, los técnicos especializados están siendo utilizados para realizar inspecciones visuales de rutina que no requieren las habilidades de técnicos especializados. Por otro lado, los operadores ya están trabajando en esa área y tienen las habilidades necesarias y el tiempo para realizar estas inspecciones.

Esto libera el tiempo de los técnicos para realizar trabajos en los que se utilicen mejor sus habilidades especiales y que ellos encuentren más interesantes. El resultado es una fuerza de trabajo de técnicos especialistas enfocados en realizar un mantenimiento de precisión de mayor calidad.

3.3.2.3. PMO es adaptable a las necesidades del cliente.

Una característica mayor del proceso del PMO, es la habilidad de la técnica de ser aplicada con varios niveles de rigor sin importar el sistema dependiendo del estado crítico de la evaluación. Esto contrasta con otras propuestas en las que se aplica el mismo nivel de rigor (y tiempo, esfuerzo y gasto) al análisis de los sistemas, sin importar su importancia o el tamaño de los beneficios que se obtendrán del análisis.

Para los activos altamente críticos del equipo, en dónde un acercamiento más “clásico” de RCM es requerido, incluyendo la identificación de todas las funciones del equipo, consideración y análisis de todos los posibles modos de fallo y dónde se requiere conformidad con los estándares internacionales para Análisis de RCM, PMO aplicará este nivel de rigor.

Para activos menos críticos, en dónde el tiempo y el esfuerzo utilizado en un rigor de mayor nivel no puede justificarse, PMO toma un planteamiento más centrado y racionalizado. De esta manera, PMO está altamente enfocado en maximizar el rendimiento del esfuerzo utilizado en operaciones rutinarias de revisión y tareas de mantenimiento.

3.3.2.4. PMO motiva al personal.

PMO revitaliza rápidamente la motivación del personal trabajando en los procesos de mantenimiento. Al hacerlo así, la ejecución del análisis puede dar lugar a mejoras tanto en los recursos humanos, como en la productividad de la planta. El enfoque de PMO también motiva mejoras en muchos otros aspectos del manejo de los activos aparte de los análisis de mantenimiento.

4. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO

Antes de realizar la descripción de los equipos utilizados en el sistema de levantamiento de gas, los cuales son objeto de la optimización del mantenimiento preventivo, se designan de la siguiente manera tal y como aparecen en el sistema de información de Ecopetrol (Ellipse), también se describe la ubicación de cada uno de ellos en el campo Rio ceibas.

Tabla 5. Equipos objeto de la optimización del plan de mantenimiento preventivo

EQUIPOS	TAG	PLANTA
Compresor de Gas Lift No. 1	CGL 1	Rio Ceibas Norte
Compresor de Gas Lift No. 3	CGL 3	Rio Ceibas Norte
Compresor de Gas Lift No. 5	CGL 5	Rio Ceibas Norte
Compresor de Gas Lift No. 6	CGL 6	Rio Ceibas Sur
Compresor de Gas Lift No. 7	CGL 7	Rio Ceibas Sur

4.1 SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL GAS LIFT

El sistema de levantamiento artificial gas lift, es un método importante de levantamiento artificial que no necesita ningún tipo de bomba, consiste en inyectar gas natural dentro del pozo a una presión relativamente alta al espacio anular, el cual pasa a la tubería de producción a través de válvulas colocadas en uno o más puntos de inyección.

La inyección de gas se hace en varios sitios de la tubería a través de válvulas reguladas que abren y cierran al gas automáticamente. Este procedimiento se suele comenzar a aplicar antes de que la producción natural cese completamente.

En campo rio ceibas el sistema de gas lift tiene la función de aumentar la presión del gas proveniente de los separadores de 30 psi hasta 1300 psi para ser utilizado como sistema de levantamiento artificial de los pozos del campo,

Adicional al gas inyectado, el sistema de compresión de gas es utilizado para el despacho de gas de venta hacia el centro de generación de campo Tello (Ecopetrol), realizando una venta diaria de aproximadamente 2,2 Millones de pies cúbicos.

El sistema de levantamiento por inyección de gas en campo Rio Ceibas se encuentra conformado por 3 equipos principales, los cuales son:

- Compresor Ariel JGK/4
- Unidad Motriz-motor Waukesha P9390 GSI

4.1.1. Compresor de Gas Ariel JGK/4

Los compresores utilizados en cada uno de los motocompresores del sistema de levantamiento por inyección de gas son marca Ariel modelo JGK/4, cuyas características principales se describirán a continuación:

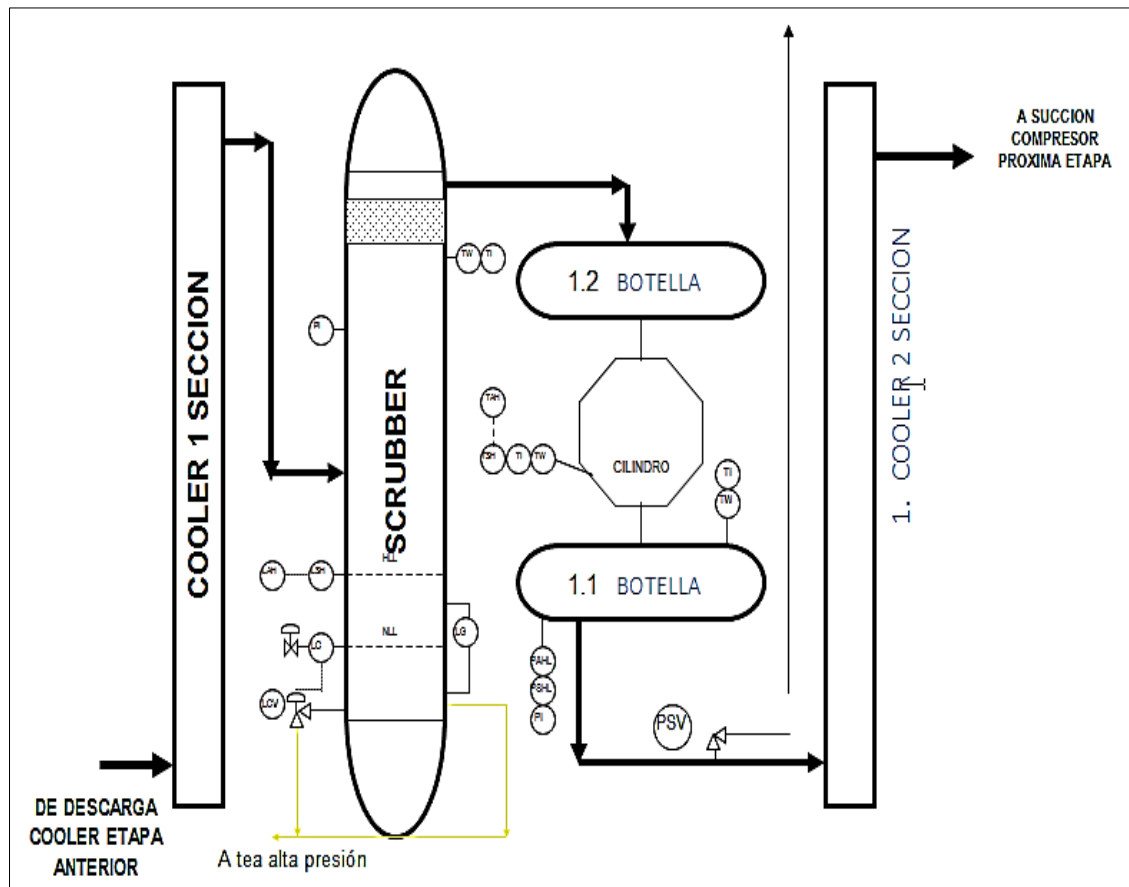
- **Compresión por múltiples etapas:** La este tipo de compresores realiza la compresión aumentando la presión de manera progresiva en etapas diferentes, con el objetivo de comprimir el gas en procesos separados; por lo cual la presión requerida no se consigue en una sola etapa, lo que ocasionaría un alto trabajo de compresión y altas temperaturas de descarga que con llevan a la falla de los materiales del compresor.

Tabla 6. Sistema de compresores de tres etapas

Diferentes configuraciones de cilindros para un sistema de tres etapas			
Configuraciones posibles	3 Cilindros (Integral)	4 Cilindros	6 Cilindros
Primer Etapa	1 Cilindro	2 Cilindros	2 Cilindros
Segunda Etapa	1 Cilindro	1 Cilindro	2 Cilindros
Tercera Etapa	1 Cilindro	1 Cilindro	2 Cilindros

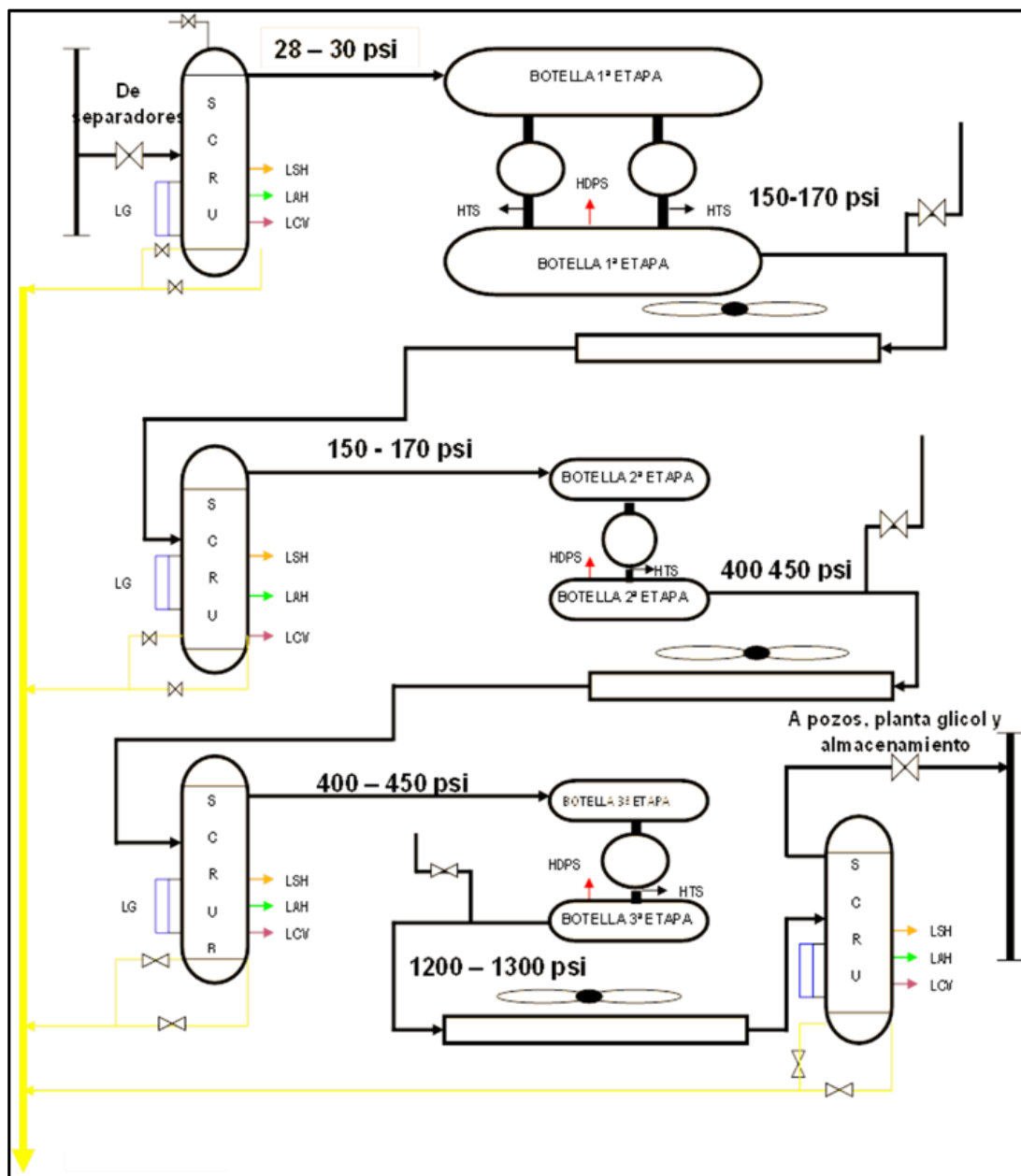
Fuente: HUMAN CAPITAL DEVELOPMENT

Figura 17. Esquema de una etapa de compresión



Fuente: Manual de operación campo Rio Ceibas.

Figura 18. Diagrama de Flujo Compresor de gas lift



Fuente: Manual operación campo Rio Ceibas

Los compresores del sistema presentan 3 etapas de compresión cada una con un pistón de doble propósito, en la siguiente tabla se presentan los parámetros de operación para cada una de las etapas

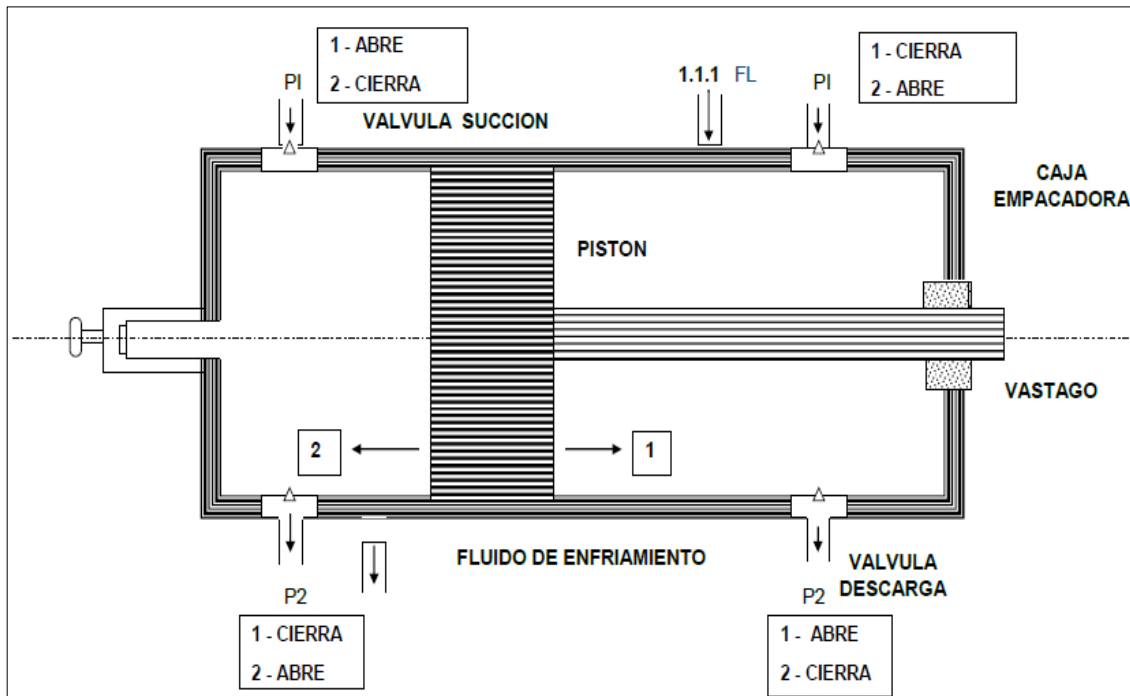
Tabla 7. Ventana operativa etapas de compresión

VENTANA OPERATIVA ETAPAS DE COMPRESION		
Etapa	Presión de Entrada	Presión de Salida
Etapa 1	20/30 Psi	150/170 Psi
Etapa 2	150/170 Psi	400/450 Psi
Etapa 3	400/450 Psi	120/1300 Psi

Fuente: Manual operación campo Rio Ceibas

- **Funcionamiento Pistones doble efecto:** Los cilindros compresores de cada máquina son de desplazamiento positivo, alternativo de pistón, de doble efecto. Tiene válvulas de succión y de descarga localizadas adelante y atrás del pistón para permitir la succión y la descarga del gas en forma alterna y simultánea.

Figura 19. Esquema de funcionamiento de un pistón de doble efecto



Fuente: Manual de operación campo Rio Ceibas

Los principales equipos del proceso que conforman cada etapa son: un separador, el cilindro de compresión y un enfriador.

- **Separador o scrubber:** Es donde se elimina el líquido de la corriente. Luego, el gas pasa al cilindro de la primera etapa, donde alcanza una presión de descarga máxima limitada por la temperatura máxima permisible de descarga (275 -300 °F). Sucesivamente, al salir el gas del cilindro pasa a un enfriador que disminuye su temperatura hasta aproximadamente la temperatura de entrada de la etapa (120 – 130 °F), como el enfriamiento produce condensación de los componentes más pesados del gas, el primer equipo de la siguiente etapa de compresión es un separador para eliminar todo el condensado producto del enfriamiento y evitar la entrada de líquido al compresor.

Figura 20. Compresor de gas lift N° 1 campo Rio Ceibas



- **Cilindro de compresión:** Es el componente que junto con el pistón se encarga de disminuir el volumen del gas contenido en la cámara, hasta llegar a un volumen determinado de presión de descarga; el compresor debe tener al

menos un cilindro por cada etapa de compresión y existen dos tipos de cilindros.

- **Compresión de simple efecto:** Solo una de las caras del pistón entra en contacto con el gas a comprimir mientras que la otra permanece pasiva.
 - **Compresión doble efecto:** El cilindro admite y descarga gas por ambos extremos. En la práctica el modo de acción doble es el más utilizado a causa de su conveniencia tanto mecánica como operacional.
- **Enfriadores:** Reducen la temperatura del gas luego que es comprimido, ya que las temperaturas de succión están limitadas por la metalurgia de los materiales de fabricación y el lubricante del compresor. Generalmente se utilizan enfriadores por aire o fin fan coolers; instalados en una sola unidad de enfriamiento que utiliza un ventilador para forzar el aire a través del haz de tubos acoplado directamente al motor.

4.1.1.1. Sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento permite reducir la temperatura de los cilindros durante la compresión del gas y la temperatura del gas a la descarga de cada etapa del compresor, permitiendo beneficios como:

- Mejor la lubricación
- Evitar depósitos en las válvulas
- Extender la vida de las válvulas
- Reducir costos de mantenimiento.
- Disminuir riesgos asociados a sobre temperaturas, por incendio en la tubería de descarga.

El sistema de compresores funciona con un sistema de enfriamiento entre etapas que baja la temperatura del gas, haciendo más eficiente la compresión del siguiente cilindro.

4.1.1.2. Sistema de lubricación del compresor.

El compresor reciprocante Ariel tiene cientos de piezas en movimiento, apropiadamente lubricadas las piezas no se tocan se mueven sobre una película lubricante. La lubricación realiza diferentes funciones en el compresor, reduce la fricción, reduce el desgaste, ofrece enfriamiento, evita la corrosión, ofrece sellado y amortigua los choques.

El compresor Ariel utiliza dos sistemas separados para dar una lubricación adecuada y una operación optima del compresor. Un sistema se encarga de la lubricación del frame y otro de lubricación forzada hacia los cilindros y empaquetaduras.

- **Lubricación del cuerpo o cárter del compresor de gas lift:** Este sistema brinda lubricación a los cojinetes del cigüeñal, las bielas, pasadores y bujes de crucetas. La caja del cigüeñal sirve como cárter de aceite, un regulador de nivel de aceite afuera de la caja del cigüeñal mantiene el nivel adecuado dentro del cárter. La bomba de lubricación está ubicada en el lado auxiliar del cuerpo del compresor y es accionada por una cadena con rueda dentada. La salida de la bomba va hacia un enfriador de aceite controlado termostáticamente para asegurar que este en un rango aceptable de temperatura antes de pasar por el filtro de aceite.
- **Lubricación forzada a los cilindros y empaquetaduras:** El sistema de lubricación forzada a los cilindros opera a presiones muy altas, por eso es necesario tener en cuenta la composición y el tipo de gas que se comprime

(Líneas adelante se dan pautas al respecto), debido a que esto determinara si se utiliza el mismo aceite del cuerpo del compresor o se necesitara un aceite diferente para el sistema de lubricación forzada. En este caso se utiliza el mismo aceite de lubricación del cuerpo.

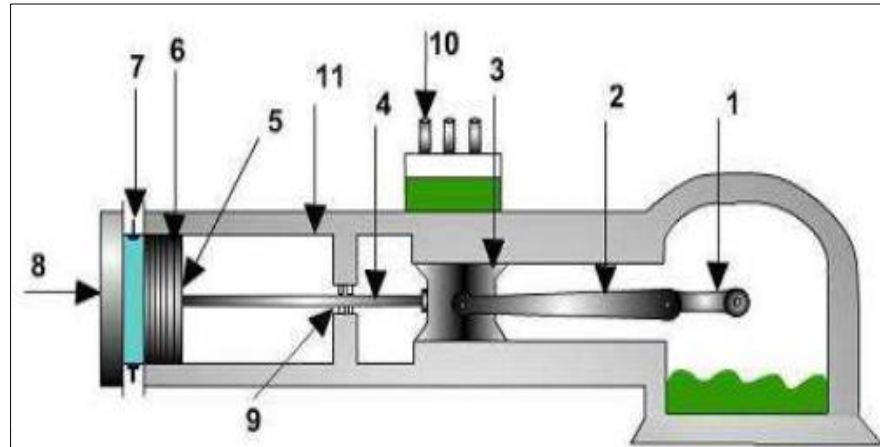
Figura 21. Bomba de lubricación forzada del compresor



Fuente: ARIEL CORPORATION

En la siguiente imagen se presenta el corte del compresor de gas, con el objetivo dar a conocer sus componentes, los cuales se describen en la tabla posterior

Figura 22. Elementos mecánicos del compresor de gas Ariel



Fuente: HUMAN CAPITAL DEVELOPMENT

Tabla 8. Descripción de los elementos mecánicos del compresor

ELEMENTOS MECÁNICOS DEL COMPRESOR ARIEL		
Ítem	Parte	Descripción
1	Cigüeñal del compresor	Elemento que convierte el movimiento rotacional recibido del motor en movimiento lineal a los pistones
2	Biela	Transmiten el movimiento del cigüeñal a la cruceta
3	Cruceta	Convierte el movimiento rotacional – traslaciones de las bielas en movimiento lineal.
4	Vástago del pistón	Acopla la cruceta con el pistón
5	Pistón	Convierte la energía mecánica en trabajo de compresión del gas.
6	Anillos del pistón	
7	Válvulas de Succión y Descarga	Posibilitan el ciclo de compresión mediante aperturas y cierres de la cámara del cilindro, actúan por diferencia de presiones.
8	Cabeza del cilindro	Tapa de la cámara del cilindro
9	Empaquetadura	Evitan las fugas de gas del cilindro por el vástago del pistón.
10	Lubricador	
11	Camisa de cilindro	Superficie que delimita la cámara del cilindro

Fuente: HUMAN CAPITAL DEVELOPMENT

Tabla 9. Ventanas operativas del compresor de gas lift

PROTECCION	LIMITE MAXIMO	LIMITE MINIMO
Rpm	1000	800
Presión Oíl Motor	90 PSI	35 PSI
Presión Oíl Compresor	90 PSI	35 PSI
Temperatura Oíl Moto	220°F	165°F
Temperatura Oíl Compresor	220°F	165°F
Temperatura Agua	210°F	166°F
Temperatura 1ª etapa	350°F	250°F
Temperatura 2ª etapa	350°F	250°F
Temperatura 3ª etapa	350°F	250°F
Temperatura Descarga	150F	90 °F
Presión Succión	40 PSI	20 PSI
Presión 1 Etapa	220 PSI	130 PSI
Presión 2 Etapa	440 PSI	300 PSI
Presión 3 Etapa	1400 PSI	1000 PSI
Presión Descarga	1400 PSI	1000 PSI
Nivel Agua	100 %	75%
Nivel Aceite Motor	100 %	75 %
Nivel Aceite Compreso	100 %	75 %
Nivel Lubricación	100 %	75%
Nivel Tanque Rep.	100 %	30 %
Temperatura Cilindro	1250°F	950 °F

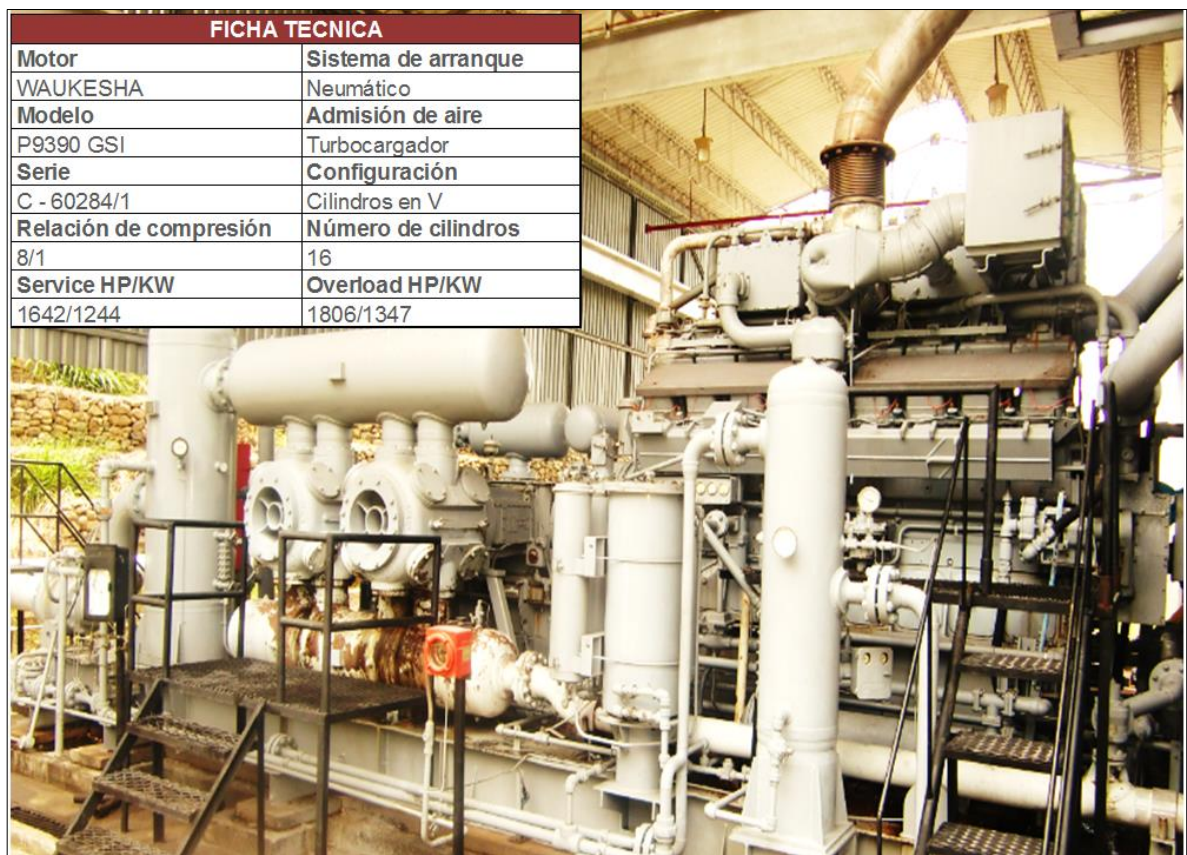
Fuente: Manual de operación campo Rio Ceibas.

4.1.2. Unidad Motriz - motor Waukesha P9390 GSI

El sistema de compresión del campo Río Ceibas está compuesto por máquinas compresoras cuyo funcionamiento se genera gracias a la traslación del movimiento generado por motores de combustión interna a gas, marca Waukesha 9390 GSI. Los motores designados “G” son naturalmente aspirados. Los motores designados “GSI” son turbo cargados e ínter enfriados y tienen combustión limpia.

Todos los motores son de 4 ciclos y rotan en la dirección contrarreloj, como es visto desde el volante o vista posterior. Los 16 cilindros están organizados en configuración V, 8 en cada banco. La caja cigüeñal tiene 2 envolturas grises en hierro. Las tapas de los cojinetes principales son reemplazables. Las tapas de los cojinetes principales están soportadas por dos pernos verticales y dos tornillos de amarre laterales.

Figura 23. Ficha técnica Motor Waukesha 9390 GSI



Este tipo de motores destacan por la presencia del turbo cargador, el cual utiliza los gases de escape de la combustión de motor para aumentar la cantidad de aire de la mezcla, el cual se refrigera en el intercooler, posteriormente ingresa al carburador y se mezcla con el combustible presurizado de gas. La mezcla turbo cargada de aire / combustible mejora la ejecución y la potencia del motor.

El sistema lubricante presurizado consiste de un colector de aceite, una bomba manejada por engranajes, una red de tubería, filtros, drenajes y un enfriador. El filtro de aceite de flujo completo está montado externamente, separado del motor.

El sistema enfriador tiene dos bombas de agua. La bomba de agua principal es manejada por correas y circula el agua de chaqueta del motor. La otra bomba también manejada por correas, es la bomba auxiliar, circula el agua del enfriador de aceite y el ínter enfriador. La chaqueta del motor, culatas, distribuidor de escape, turbo cargador, aceite y aire de entrada cargada son todos enfriados por agua.

A partir del conocimiento de los sistemas que conforman la parte motriz del compresor de gas lift y la experiencia del personal de las diferentes especialidades (Mecánico, eléctrico, instrumentista) se lograron detectar los modos de fallos que se trataron en la optimización del plan de mantenimiento preventivo.

A continuación se presenta una tabla donde se muestra la descripción de los principales sistemas que conforman el motor Waukesha P9390GSI y sus componentes

Tabla 10. Principales sistemas que conforman el motor WUKESHA 9390 GSI

Sistema	Descripción	Componentes
Potencia	Permite transformar la energía calorífica de la combustión en potencia cinética en el movimiento lineal alternativo del pistón.	<ul style="list-style-type: none"> • Cilindros, • Bloque de cilindros y bancada, • Culatas • Pistones, Cigüeñal y biela
Ignición	Genera la chispa necesaria en el tiempo ideal, para provocar la combustión del combustible	<ul style="list-style-type: none"> • Módulo de ignición de Waukesha CEC • Recogedor hall – effect • Arnés de alambrado • Cables de ignición • Magneto • Bujías
Combustible	Mantiene la relación ideal Aire/combustible	<ul style="list-style-type: none"> • Reguladores de presión de gas • Carburadores • Turbo cargador de aire • Intercooler
Refrigeración principal	Disminuir el calor generado por la durante la combustión (superior a 2000°C) y no transformado en energía mecánica, durante el funcionamiento de éstos.	<ul style="list-style-type: none"> • Chaqueta de agua • Bomba de la chaqueta de agua • Múltiple de agua • Válvula de control de la temperatura de la chaqueta de agua • Radiador del sistema de enfriamiento principal • Caja de termostatos

Tabla 10. (Continuación)

<p>Refrigeración auxiliar</p>	<p>Permite la refrigeración del aceite lubricante del motor</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba de agua auxiliar. • Intercooler de aceite • Enfriador de aceite • Válvula de control de la temperatura auxiliar de agua • Radiador del sistema de enfriamiento auxiliar
<p>Lubricación</p>	<p>Genera una película lubricante entre los elementos móviles del motor, reduciendo daños por fricción y calentamiento o agarrotamiento entre piezas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Carter • Bomba de aceite • Enfriador de aceite • Válvula de control de temperatura • Válvula reguladora de presión • Filtro de flujo completo de aceite lubricante • Válvula de alivio de filtro • Colador de aceite
<p>Regulación de velocidad</p>	<p>Mantiene la velocidad nominal a la cual se encuentra diseñado el equipo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gobernador Woodward UG-8L • Articuciones Governantes (varillaje) • Recogimiento Magnético • Gobernador de Sobre velocidad

5. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA PMO

Durante el desarrollo del presente trabajo se ha logrado identificar la relevancia del sistema de inyección de gas para la producción del campo Rio Ceibas, también que es un campo maduro con un tiempo de funcionamiento considerable

La metodología a desarrollar para obtener un plan de mantenimiento adecuado en el sistema de inyección de gas fue la optimización del mantenimiento preventivo PMO, esta decisión se tomó en base a los principios del PMO y sus ventajas respecto a costos y tiempo de desarrollo y la existencia de información de la planta. A continuación se da un listado de los elementos más relevantes que llevaron a tomar la decisión

- El sistema de Inyección de gas cuenta con un plan de mantenimiento cargado en el sistema de información de gestión de mantenimiento (Ellipse)
- El largo tiempo de servicio permite contar con alta experticia del personal técnico de mantenimiento y operadores
- El robusto grupo de confiabilidad, permite conocer históricos de reportes de fallas considerables en sistema
- Las principales fallas funcionales fueron analizadas para el desarrollo del plan de mantenimiento actual
- Hay actividades informales que se ejecutan actualmente que después de su análisis para su inclusión podrían aportar a la optimización del plan.

Al comparar el PMO con la metodología RCM, se encontraron desventajas por lo cual se revalida la viabilidad de la metodología PMO

- Los equipos objeto de la optimización cuentan con un plan de mantenimiento inicial, están definidas fallas funcionales, historial de fallas, son equipos longevos.
- El tiempo de desarrollo del método es más extenso en comparación con el PMO, lo cual podría dificultar una futura implementación por parte de Ecopetrol
- RCM implica largos tiempos de ejecución de mantenimientos, por atención a todas las diferentes fallas posible, incurriendo en sobre costos por mantenimiento

Para el desarrollo del PMO a los equipos que conforman el sistema de compresión gas lift del campo Rio Ceibas, se realizaron talleres, donde hubo aporte por parte de los autores, apoyo del personal técnico, supervisores de mantenimiento y producción del campo, manuales de operación y de overhaul, y del conocimiento de los diferentes sistemas apoyados con el sistema de información ELLIPSE, a continuación se presenta el desarrollo de la optimización de los compresores de gas lift

5.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El proceso de recolección de información se basó en revisión de bases de datos del sistema de gestión de mantenimiento, el área de mantenimiento y confiabilidad, de producción, y documentación técnica, destacando la siguiente información como fuentes de las actividades del plan actual

- Tareas de mantenimiento (standar Jobs) cargadas actualmente en el CMMS
- Rutinas por parte del personal de operación
- Reportes de fallas formales e informales

- Actividades de mantenimiento no formales

Durante la recolección de información se identificaron tareas asignadas a componentes inexistentes, por lo cual se procedió a eliminar tareas del plan de mantenimiento actual, plan que fue tomado de otros planes de mantenimiento de equipos que nada tienen que ver con los tratados en esta monografía, como lo son planes de mantenimiento de la planta de inyección de agua, planes que son aplicados actualmente y cargados en las ordenes de trabajo a los equipos que conforman el sistema de compresión de gas.

Así mismo, se confirmó la existencia de tareas que no se ajustan al plan de mantenimiento adecuado del equipo como son:

- Tareas planteadas de manera general.
- Tareas repetidas
- Tareas asignadas a componentes inexistentes en el equipo
- Actividades nombrando otros sistemas como parte del estándar Job.

El registro de estas actividades se realizó en un formato que describe la siguiente información

TAREA: describe la actividad realizada actualmente en el plan de mantenimiento.

FRECUENCIA: indica cada cuanto se realiza la tarea de mantenimiento.

RESPONSABLE: permite conocer el ejecutor establecido de cada tarea de mantenimiento.

Tabla 11. Tareas planes de mantenimiento actuales

TAREAS	FRECUENCIA	RESPONSABLE
Monit/Análisis Vibraciones Reciprocante	56 Días	MDCCBM
Monitoreo/análisis de aceite equipo reciprocante	56 Días	MDCCBM
Realizar revisión del skid y ajustar tornillos de anclaje tanto al skid como a la base	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar El Nivel De Aceite. Reponer El Nivel Si Lo Requiere	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar Y Corregir Fugas.	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar Y Completar El Nivel De Aceite Al Gobernador.	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar Rodamientos De La Transmisión Del Ventilador.	1000 Hrs	MCDMEC
Limpiar Las Mallas De Los Respiraderos.	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar Los Filtros De Aire Y Limpiarlos.	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar El Nivel De Agua Y Completar.	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar El Estado De La Instrumentación.	1000 Hrs	MCDINS
Revisar El Funcionamiento Del Motor De Arranque.	1000 Hrs	MCDMEC
En Caso De Motor De Arranque Eléctrico, Revisar El Nivel De Las Baterías	1000 Hrs	MCDMEC
En Caso De Motor De Arranque Neumático, Drenar El Vaso De Filtro De Humedad Y Revisar El Vaso Lubricador, adicionar Aceite Si Se Requiere.	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar Y Lavar El Filtro De Combustible.	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar Y Tensionar Correas (Alternador Y Ventilador).	1000 Hrs	MCDMEC
Solicitar un frasco a CBM para el muestreo de aceite del equipo y registrar en el frasco el código ECP del equipo	2000 Hrs	MCDMEC
Cambiar filtros de aceite.	2000 Hrs	MCDMEC
Desmontar tapa válvulas Y proceder a calibrar válvulas	2000 Hrs	MCDMEC
Lubricar con grasa eje y collar del volante, rodamientos del ventilador, embrague (Si tiene), bomba de agua.	2000 Hrs	MCDMEC

La designación completa de todas las actividades se encuentran descritas en el **anexo A**

En la columna de responsable, está el código que establece Ecopetrol S.A en su sistema de información de mantenimiento (Ellipse).

Tabla 12. Códigos de mantenimiento Ecopetrol S.A

Códigos de mantenimiento	
MCDMEC	Mantenimiento mecánico
MCDELE	Mantenimiento eléctrico
MCDINS	Mantenimiento instrumentación

5.2. EJECUCIÓN DE LOS TALLERES PMO

Durante los talleres PMO se contó con personal técnico de las diferentes especialidades de mantenimiento, instrumentación, mecánica, eléctrica, así como un supervisor de mantenimiento.

La empresa Ecopetrol S.A dispuso y facilitó las horas hombres (HH) necesarias para la ejecución de los talleres PMO estableciendo:

- Modos de fallo por cada tarea.
- Incluir tareas que no están en el plan de mantenimiento
- Incluir los modos de fallo de las tareas que no están incluidas.
- Frecuencias de ejecución de las tareas.
- Eliminación de tareas que atacaban un mismo modo de fallo

Se organizó toda la información colectada para su análisis y posteriormente incorporarla al plan de optimización de la forma clara y consecuente con el plan de mantenimiento. Dentro de la ejecución de los talleres PMO también se realizaron rutas o caminatas de validación de lo analizado en los diferentes sistemas del compresor de gas lift para dar por finalizado los talleres PMO.

En los talleres realizados se revisó y se filtraron los planes de mantenimiento actuales, se modificaron tareas planteadas de forma muy general, se eliminaron tareas repetitivas, también se eliminaron tareas creadas a componentes inexistentes en el equipo; esto es el resultado de tomar planes de mantenimiento de otros equipos de la gerencia de operaciones sur GDH de Ecopetrol y aplicarlos a otros equipos sin hacer un análisis previo de los mismos.

Hecho el análisis de los planes de mantenimiento actuales, con la ayuda del personal técnico, manuales y demás integrantes que conforman el grupo

interdisciplinario de los talleres PMO, se modificaron en gran manera los planes de mantenimiento, se agregaron tareas que no se están realizando, se eliminaron tareas aplicadas componentes inexistentes, se modificaron tareas planteadas de forma muy generales, construyendo un plan coherente para realizar el análisis de modos de fallo, y así continuar la optimización del plan de mantenimiento preventivo de los compresores de gas lift del campo rio ceibas.

En el **Anexo B** se muestra la modificación realizada a tareas, frecuencias y responsables de realizar el mantenimiento preventivo a los compresores de gas lift.

5.3. ANÁLISIS Y RACIONALIZACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA

Luego de identificadas todas las tareas del plan de mantenimiento actual, se analizaron con el objetivo de determinar los modos de falla a prever con la tarea (Se identificaron todos los hechos de manera razonable posible puedan haber causado cada estado de falla), se agregaron modos de falla que no eran tenidos en cuenta, dicha información quedó plasmada en el siguiente formato, el cual se encuentra en el **Anexo C**

En la ejecución de los talleres PMO, con el grupo interdisciplinario se analizaron las tareas más equilibradas, para poder hallar los modos de fallo de dichas tareas y agregar modos de fallo no tenidos en cuenta al momento de realizar el plan de mantenimiento actual, y continuar con la optimización.

Tabla 13. Ejemplo análisis y racionalización modo de falla desarrollado

TAREA ACTUAL	FRECUENCIA	RESPONSABLE	SISTEMA	TIPO MTTTO	MODO DE FALLA
Monit/Análisis Vibraciones Reciprocante - Bancadas	56 Dias	MDCCBM	POT	MPD	Rotura cojinetes de bancada
Monit/Análisis Vibraciones Reciprocante - Chumacera tensora	56 Dias	MDCCBM	REF	MPD	Rotura de los rodamientos de la chumacera tensora
Monit/Análisis Vibraciones Reciprocante - Bomba principal de agua	56 Dias	MDCCBM	REF	MPD	Rotura de rodamientos bomba principal de agua
Monit/Análisis Vibraciones Reciprocante - Bomba auxiliar de agua	56 Dias	MDCCBM	REF	MPD	Rotura de rodamientos bomba auxiliar de agua
Monit/Análisis Vibraciones Reciprocante - Turbocompresores	56 Dias	MDCCBM	POT	MPD	Perdida de potencia
Monitoreo/análisis de aceite equipo reciprocante	56 Dias	MDCCBM	LUB	MPD	Perdida de lubricación motor
Ajustar tornillos de anclaje del motor de combustión (Torque 250 Lb.Ft)	1000 Hrs	MCDMEC	ANCL	MPV	Soltura mecánica del motor de combustión
Inspeccionar Skid y Base del motor de combustión	1000 Hrs	MCDMEC	ANCL	IN	Soltura mecánica del motor de combustión
Revisar el nivel de aceite motor. Reponer si lo requiere	1000 Hrs	MDCMEC	LUB	MPV	Desgaste de partes kit de potencia
Revisar el nivel de aceite motor. Reponer si lo requiere	Diario	Operador	LUB	IN	Desgaste de partes kit de potencia
Revisar fugas de aceite y completar	Diario	Operador	LUB	MPV	Perdida de contención
Revisar y corregir fugas de aceite	1000 Hrs	MCDMEC	LUB	MPV	Perdida de contención
Revisar el nivel de agua. Reponer si lo requiere	Diario	Operador	REF	MPV	Sobrecalentamiento del motor
Revisar y corregir fugas de agua	1000 Hrs	MCDMEC	REF	MPV	Sobrecalentamiento del motor
Revisar y completar el nivel de aceite al Gobernador. Aplicar aceite Pegasus 805 de	1000 Hrs	MCDMEC	RG. VEL	MPV	Oscilación de las RPM motor
Revisar conjunto de chumaceras del ventilador	1000 Hrs	MCDMEC	REF	MPV	Rotura de los rodamientos de las chumaceras del ventilador
Limpiar la malla del respiradero cárter motor	1000 Hrs	MCDMEC	LUB	MPV	Fugas de aceite motor
Inspeccionar y limpiar filtros de aire	1000 Hrs	MCDMEC	COMB	MPV	Perdida de potencia
Revisar el Nivel de Agua y completar.	Diario	Operador	REF	MPV	Sobrecalentamiento del motor
Revisar el Nivel de Agua y completar.	1000 Hrs	MDCMEC	REF	MPV	Sobrecalentamiento del motor
Revisar el funcionamiento del motor de arranque. (Pruebas funcionales motor de	1000 Hrs	MCDMEC	IGN	MPV	Motor de arranque no funciona

Se definió, el sistema que se ve afectado con la aplicación de cada tarea de mantenimiento, y el tipo de mantenimiento, de acuerdo a la tarea de mantenimiento que se realice al activo, se determinó los siguientes:

Tabla 14. Codificación de los sistemas del compresor de gas lift

CODIFICACIÓN DE SISTEMAS	
POT.	Sistema de Potencia
REF.	Sistema de Refrigeración
LUB.	Sistema de Lubricación
ANCL.	Sistema de Anclaje
RG. VEL	Sistema Regulación de Velocidad
COMB.	Sistema de Combustión
IGN.	Sistema de Ignición
MOT/COMP	Sistema General Motocompresor
COMP.	Sistema de Compresión
INY. GAS	Sistema Inyección de gas

Tabla 15. Tipos de mantenimiento

TIPOS DE MANTENIMIENTO	
MPV	Preventivo
MPD	Predictivo
MCV	Correctivo
MPR	Proactivo
IN	Inspección
DOP	Datos Operacionales

Antes de definir las variables que conforman el siguiente paso, se analizó si el modo de falla establecido para cada una de las tareas de mantenimiento es aleatorio (Cuando se presenta sin ningún aviso) o por tiempo (Cuando se evidencia por algún síntoma), este análisis es fundamental para definir la nueva política de mantenimiento en el PMO.

5.4. EVALUACIÓN DE CONSECUENCIA

Así mismo, para la evaluación de consecuencias y como necesario complemento a la definición de la política de mantenimiento en el diagrama de decisión de optimización, con el grupo interdisciplinario se detalló cual modo de fallo es oculto o evidente. Una falla se considera oculta cuando una falla funcional no es evidente por sí misma al equipo operativo bajo circunstancias normales de operación y se considera una falla evidente cuya falla eventualmente e inevitablemente se hará evidente por sí sola o por los operadores en circunstancias normales.

La consecuencia de cada una de estas fallas puede afectar el buen desempeño y la disponibilidad del equipo, pero cada falla tiene diferentes efectos. Con el fin de evaluar las consecuencias y obtener el mejor criterio para tratar de prevenirlas, ya que costaran tiempo que se traduce dinero, se definió y se realizó la evaluación para cada modo de falla, que consecuencias afectarían en el aspecto ambientales

y la seguridad (SMS o HSEQ), consecuencias para la producción (PROD) y si no hay ninguna consecuencia (NI).

5.5. DEFINICIÓN DE LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO

Para la definición de la política de mantenimiento se acudió al diagrama de decisión de optimización de tareas de mantenimiento ilustrada en la figura 23. Cada modo de falla es analizado en este diagrama, donde se toma la evaluación que se realizó en los anteriores pasos del PMO, sobre fallas aleatorias y por tiempo, fallas ocultas y evidentes, así como se tiene también en cuenta la importancia del activo dentro de la organización.

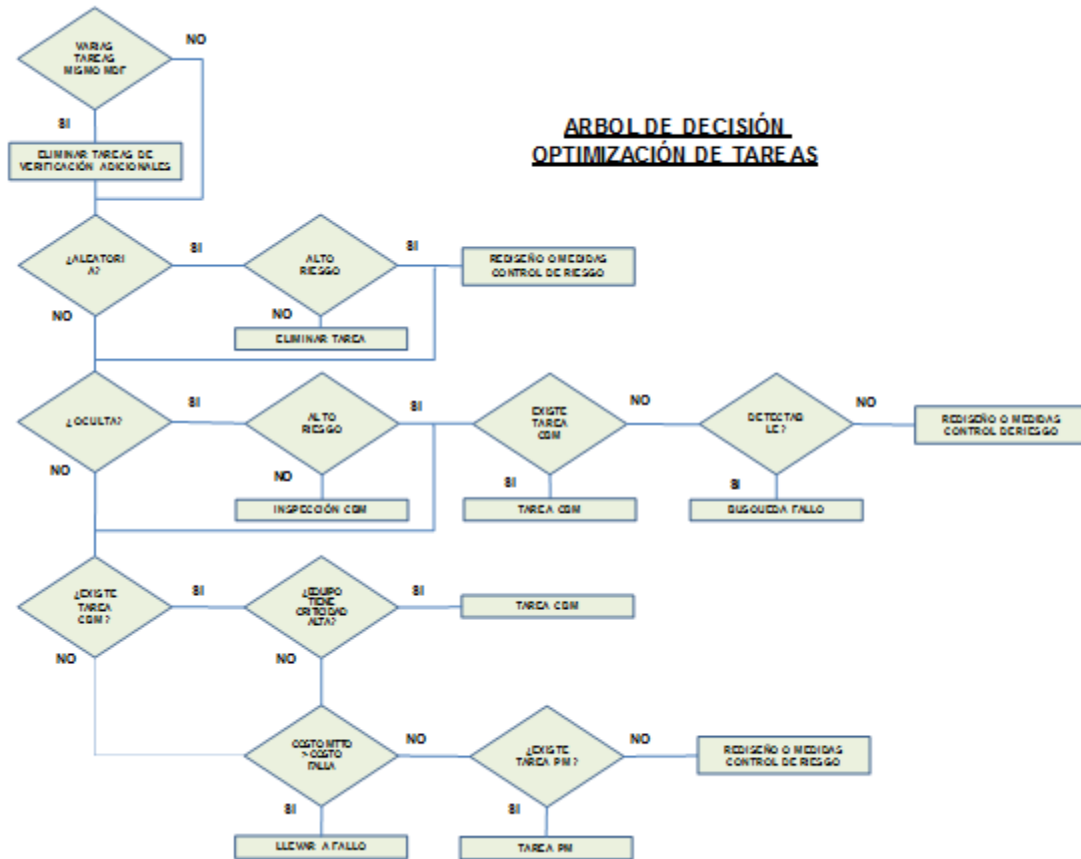
Con estos argumentos se establece una excelente base para definir la política de mantenimiento más adecuada, que logre la optimización ideal del plan de mantenimiento preventivo.

En primera instancia se verificó si existían varias tareas con el mismo modo de fallo, se eliminaron tareas redundantes para evitar exceso de tareas cubriendo el mismo modo de fallo, dentro del siguiente análisis es necesario establecer si existe tarea CBM para su prevención. Sea cual sea la decisión siempre se intenta buscar la mejor opción para evitar altos costos de mantenimiento por altos tiempos de reparación, alto costo de repuestos por fallas inesperadas entre otros.

Si al realizar la optimización de tareas hay un modo de falla oculto, con un equipo de criticidad alta, el cual no es posible detectar por una tarea CBM y que no es detectable por ningún otro medio, la política de mantenimiento debe ser poder mitigar en lo más mínimo los efectos de dicho fallo o rediseñar el sistema para eliminar este modo de fallo.

El análisis realizado también con lleva definir si el costo de realizar mantenimiento preventivo es mayor al costo por la falla del equipo, si es de esta manera, se hace más rentable llevar el equipo a falla.

Figura 24. Diagrama de optimización de tareas de mantenimiento.



Fuente: GOMEZ LOZANO, Iván Darío

En el siguiente formato se muestra la nueva política de mantenimiento definida teniendo en cuenta el diagrama de decisión de optimización de tareas, tabla donde se hace referencia a la tarea antigua que es la con que se realiza en la actualidad el mantenimiento preventivo, sin embargo, se observa un nuevo título que corresponde a la tarea nueva, igualmente frecuencia nueva, aplica para las nuevas tareas o tareas actuales.

Tabla 16. Definición de la nueva política de mantenimiento

MODO DE FALLA	TAREA ANTIGUA	TIPO MITO	FRECUENCIA	RESPONSABLE	TIPO MDF	EVALUACIÓN MD	CONSECUENCIA	POLÍTICA SOBRE TAREA	TAREA NUEVA	HORAS ESTIMADAS	FRECUENCIA NUEVA	
MOTOR												
Daño en reguladores de gas	Revisar nivel de condensados en scrubber de gas combustible y/o drenar manualmente en caso de fallo en el sistema de drenaje automático	MPV	Semanal	Operador	T	Evidente	PROD	Dejar la misma		10 min		
Daño en reguladores de gas	Cambiar filtro de gas	MPV	4000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	PROD	Dejar la misma		10 min		
Oscilación de las RPM motor	Revisar y completar el nivel de aceite al Gobernador. Aplicar aceite Pegasus 805 de ser necesario	MPV	1000 Hrs	MCDMEC	A	Evidente	PROD	Dejar la misma		10 min		
Oscilación de las RPM motor	Lubricar vanillaje del gobernador	MPV	2000 Hrs	MCDMEC	A	Evidente	PROD	Agrupar ítem 4 - 5	Lubricar trapecio y vanillaje del gobernador	30 min		
Oscilación de las RPM motor	Lubricar trapecio del gobernador	MPV	2000 Hrs	MCDMEC	A	Evidente	PROD	Agrupar ítem 4 - 5				
Oscilación de las RPM motor	Verificar el correcto funcionamiento del gobernador.	MPV	8000 Hrs	MCDMEC	A	Evidente	PROD	Dejar la misma		30 min		
Perdida de transmisión	Revisar y tensionar correas ventilador	MPV	1000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	PROD	Aumentar frecuencia - agrupar ítem 7 - 8	Revisar y tensionar correas del ventilador y bomba auxiliar de agua	60 min	2000 Hrs	
Perdida de transmisión	Revisar y tensionar correas bomba auxiliar del motor	MPV	2000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	PROD	Agrupar ítem 7 - 8				
Desgaste de paletas de motor de arranque	Drenar el vaso de filtro de humedad y revisar el vaso lubricador del motor de arranque	MPV	1000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	PROD	Dejar la misma		20 min		
Desgaste de paletas de motor de arranque	Drenar acumulador de aire del sistema de alimentación de aire motores	MPV	Diario	Operador	T	Evidente	PROD	Dejar la misma		10 min		
Fugas de aceite motor	Limpiar la malla del respiradero carter motor	MPV	1000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	SMS	Aumentar frecuencia		30 min	2000 Hrs	
No identificación de fugas	Lavado general.	MPV	2000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	SMS	Dejar la misma		20 min		
Perdida de contención	Revisar fugas de aceite y completar	IN	Diario	Operador	T	Evidente	SMS	Dejar la misma		20 min		
Perdida de contención	Revisar y corregir fugas de aceite	MPV	1000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	SMS	Dejar la misma		20 min		
Perdida de contención	Verificar fugas línea de aire del motor de arranque	MPV	1000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	PROD	Dejar la misma		15 min		
Perdida de lubricación gobernador	Revisar el nivel de aceite al gobernador.	MPV	2000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	PROD	Dejar la misma		10 min		
Perdida de lubricación gobernador	Cambiar aceite al gobernador.	MPV	4000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	PROD	Dejar la misma		30 min		
Perdida de lubricación motor	Monitoreo/analisis de aceite equipo reciprocante	MPD	56 Dias	MDCBMB	T	Evidente	PROD	Dejar la misma	Monitoreo/analisis de aceite motor reciprocante - En el procedimiento de toma de muestras de aceite del grupo CBM se indica la forma de obtener una muestra de aceite para el analisis correspondiente	100 min		
Perdida de lubricación motor	Cambiar filtros de aceite motor y aceite	MPV	2000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	PROD	Agrupar ítem 19 - 20 -	Cambiar filtros de aceite motor y aceite	360 min		
Perdida de lubricación motor	Cambiar el filtro de microspin (filtro y 2 oring)	MPV	2000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	PROD	Agrupar ítem 19 - 20 - 21				
Perdida de lubricación motor	Inspección y limpieza del filtro strainer (Nota: se debe cambiar o-ring en cada inspección)	MPV	2000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	PROD	Agrupar ítem 19 - 20 - 21				
Perdida lubricación bomba auxiliar de agua	Lubricar rodamientos bomba auxiliar de agua	MPV	2000 Hrs	MCDMEC	T	Evidente	PROD	Dejar la misma		10 min		

La tabla con la definición de la política de mantenimiento para las demás tareas se encuentra en el **anexo D**

Con la experiencia y pericia del personal técnico se definió una nueva frecuencia para la tarea antigua o nueva según el caso, que según el análisis debía tener un mayor o menor tiempo de ejecución dentro del plan de mantenimiento. Así mismo, haciendo una revisión de los tiempos de ejecución de las tareas de mantenimiento, se estimó un tiempo de ejecución para cada tarea, lo cual dará en términos generales un mejor desempeño y organización en la ejecución del mantenimiento. Igualmente, se especificó el nuevo responsable de la tarea nueva, y se le fue asignado su rol dentro del plan de mantenimiento.

También se agregaron varias columnas dirigidas a completar el plan de mantenimiento preventivo, pero que serán definidas en una eventual implementación del PMO a los compresores de gas lift del campo Rio Ceibas. Dentro de las cuales se encuentra:

- LOGISTICA (Es todo lo referente a documentación, permisos, transporte, entre otros)
- MATERIALES/INSUMOS (Se refiere a los insumos necesarios y que se deben entregar oportunamente para la ejecución de los mantenimientos – va muy de mano con la logística por su importancia en la entrega y manejo de los materiales).
- REDISEÑO Y PROPUESTA (Siempre y cuando el análisis del PMO lo requiera se debe rediseñar el sistema para eliminar por completo un modo de fallo, que traiga consigo una propuesta fundamentada y una acción de mejora).
- INSTRUCTIVO/PROCEDIMIENTO (Cada tarea nueva va ligada a un procedimiento, si se desconoce su forma de ejecutarla, por lo tanto se deberá establecer estructura de los mismos en el desarrollo de la ejecución de la optimización del plan de mantenimiento preventivo).

5.6. PLAN DE MANTENIMIENTO OPTIMIZADO

En el siguiente formato se encuentra el plan de mantenimiento de los compresores de gas lift optimizado.

Tabla 17. Plan de mantenimiento preventivo optimizado

OPTIMIZACIÓN DEL PLAN MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS COMPRESORES DE GAS LIFT DE RIO CEIBAS		
TAREA NUEVA	FRECUENCIA NUEVA	RESPONSABLE NUEVO
MOTOR WAUKESHA		
Revisar fugas de aceite y completar	Diario	Operador
Revisar el nivel de agua. Reponer si lo requiere	Diario	Operador
Revisar el nivel de aceite. Reponer si lo requiere	Diario	Operador
Drenar acumulador de aire del sistema de alimentación de aire motores	Diario	Operador
Revisar nivel de condensados en scrubber de gas combustible y/o drenar manualmente en caso de fallo en el sistema de drenaje automático	Semanal	Operador
Monitoreo/analisis de aceite equipo reciprocante	56 Dias	MDCBMB
Monitoreo/analisis de vibración motor reciprocante	56 Dias	MDCBMB
Revisar y completar el nivel de aceite al Gobernador. Aplicar aceite Pegasus 805 de ser necesario	1000 Hrs	MCDMEC
Drenar el vaso de filtro de humedad y revisar el vaso lubricador del motor de arranque	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar y corregir fugas de aceite	1000 Hrs	MCDMEC
Verificar fugas línea de aire del motor de arranque	1000 Hrs	MCDMEC
Inspeccionar y limpiar filtros de aire	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar y lubricar rodamientos chumaceras del ventilador	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar y corregir fugas de agua	1000 Hrs	MCDMEC
Inspeccionar Skid y Base del motor de combustión	1000 Hrs	MCDMEC
Realizar pruebas funcionales al motor de arranque	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar el nivel de aceite motor. Reponer si lo requiere	1000 Hrs	MCDMEC
Revisar nivel de aceite del motor de arranque	1000 Hrs	MCDMEC
Lubricar trapecio y varillaje del gobernador	2000 Hrs	MCDMEC
Revisar y tensionar correas del ventilador y bomba auxiliar de agua	2000 Hrs	MCDMEC
Revisar el nivel de aceite al gobernador.	2000 Hrs	MCDMEC
Cambiar filtros de aceite motor y aceite	2000 Hrs	MCDMEC
Lubricar rodamientos bomba auxiliar de agua	2000 Hrs	MCDMEC
Lubricar rodamientos bomba principal de agua	2000 Hrs	MCDMEC
Desmontar tapa valvulas y proceder a calibrar valvulas (Calibrar válvulas en frío)	2000 Hrs	MCDMEC
Limpiar con aire a presion el radiador externamente	2000 Hrs	MCDMEC
Lavado general	2000 Hrs	MCDMEC
Cambiar filtro de gas	4000 Hrs	MCDMEC
Cambiar aceite al gobernador.	4000 Hrs	MCDMEC
Cambiar filtro de aire	4000 Hrs	MCDMEC
Desmontar y cambiar bujias	4000 Hrs	MCDMEC
Verificar el estado del magneto, realizar pruebas funcionales	4000 Hrs	MCDMEC
Tomar compresion en los cilindros y registrar este datos en el informe de mantenimiento (despues de calibrar válvulas)	4000 Hrs	MCDMEC
Verificar el correcto funcionamiento del gobernador.	8000 Hrs	MCDMEC
Desmontar el carter y retirar una tapa de biela para revisar el estado del casquete y cigueñal.	8000 Hrs	MCDMEC
Desarmar el carburador y verificar el estado de sus partes en especial del diafragma	8000 Hrs	MCDMEC
Limpiar internamente los ductos del radiador	25000 Hrs	MCDMEC

Tabla 18. (Continuación).

TAREA NUEVA	FRECUENCIA NUEVA	RESPONSABLE NUEVO
COMPRESOR ARIEL		
Inspeccionar los tubos de venteo primario y secundario de la empaquetadura	Diario	Operador
Inspeccionar si hay ruidos o vibración anormal del compresor.	Diario	Operador
Verificar la presión de aceite del carter del compresor (Entre 50 - 60 Psi)	Diario	Operador
Revisar el nivel de aceite del compresor (Debe estar en la mitad de la mirilla). Adicionar de ser necesario.	Diario	Operador
Inspeccionar el ciclo del bloque lubricador (Ver placa de información para el ciclo correcto)	Diario	Operador
Revisar nivel de aceite de la caja del lubricación forzada.	Diario	Operador
Verificar temperatura de funcionamiento del compresor - (Temp. Funcionamiento 88°C)	Diario	Operador
Verificar presión inter etapas del compresor	Diario	Operador
Monitoreo de aceite compresor gas lift	56 Dias	MDCDBM
Monitoreo/analisis de vibraciones	56 Dias	MDCDBM
Verificar presión de descarga del compresor	4000 Hrs	MCDMEC
Revisar y corregir fugas de gas del compresor	4000 Hrs	MCDMEC
Cambiar filtros de aceite del compresor (Cambiar antes si la presión diferencial excede 10 psi (70 kPa))	4000 Hrs	MCDMEC
Extraer el colador de aceite y lavarlo (Utilizar solvente adecuado)	4000 Hrs	MCDMEC
Revisar y corregir fugas de aceite del compresor	4000 Hrs	MCDMEC
Verificar ruidos o vibración anormal.	4000 Hrs	MCDMEC
Inspeccionar el ciclo del bloque lubricador (Ver placa de información para el ciclo correcto)	4000 Hrs	MCDMEC
Verificar obstrucción en líneas de lubricación a presión del compresor	4000 Hrs	MCDMEC
Cambiar aceite de la caja del lubricador	4000 Hrs	MCDMEC
Verificar temperatura de descarga del compresor	4000 Hrs	MCDMEC
Revisar fugas de aceite por bloque de distribución del compresor	4000 Hrs	MCDMEC
Cambiar aceite del compresor	4000 Hrs	MCDMEC
Ajustar tornillos de anclaje del compresor	4000 Hrs	MCDMEC
Verificar presión de succión del compresor	4000 Hrs	MCDMEC
Desmontar valvulas de succión y descarga y probar su hermeticidad, verificar placas rotas o pernos centrales sueltos. Reemplazar las piezas rotas	8000 Hrs	MCDMEC
Verificar las tolerancias de las guías de las crucetas con láminas calibradas. Reemplazar piezas afectadas	8000 Hrs	MCDMEC
Inspeccionar y ajustar las cadenas impulsoras sistema lubricación.	8000 Hrs	MCDMEC
Desmontar culatas del compresor y verificar tolerancias entre piston y camisa, para determinar el grado de desgaste de los anillos en las tres etapas, de encontrarse mucho el desgaste cambiar anillos.	12000 Hrs	MCDMEC
Verificar las tolerancias de los cojinetes de bancada, cojinetes de bielas y empuje del cigüeñal utilizando una barra y un indicador. Reemplazar piezas afectadas	12000 Hrs	MCDMEC
Inspeccionar los vástagos de los pistones en busca de daño y desgaste excesivo. Si están estriados o rayados, cambiar el vástago.	12000 Hrs	MCDMEC

Tabla 19. (Continuación).

TAREA NUEVA	FRECUENCIA NUEVA	RESPONSABLE NUEVO
INSTRUMENTACIÓN MOTOR WAUKESHA - COMPRESOR ARIEL		
Inspeccionar funcionamiento de medidor de no flujo que se encuentra en funcionamiento (encendido intermitente de indicador Visual)	Diaria	Operador
Verificar presión del carter, 5 pulg de aguas	2000H	MCDCINS
Realizar Inspección visual y ajustar tornillería del switch de vibraciones motor	2000H	MCDCINS
Realizar prueba funcional del switch de vibraciones motor, simulando una falla en el equipo	2000H	MCDCINS
Realizar Inspección visual y ajustar tornillería del switch de vibraciones	2000H	MCDCINS
Realizar prueba funcional del switch de vibraciones compresor, simulando una falla en el equipo	2000H	MCDCINS
Realizar Inspección visual y ajustar tornillería del switch de vibraciones cooler motor	2000H	MCDCINS
Realizar prueba funcional del switch de vibraciones cooler motor,	2000H	MCDCINS
Ajustar conexiones en bornera Interruptor temperatura Intake Right left verificar contacto y mecanismo interno, resorte, flotador y brazo mecánico, prueba funcional del interruptor bajo nivel de agua sistema principal	2000H	MCDCINS
verificar contacto y mecanismo interno, resorte, flotador y brazo mecánico, prueba funcional del interruptor bajo nivel de agua auxiliar	2000H	MCDCINS
Comparar lectura del registrador Barton con un patrón (Inyectado con una bomba de presión, se abren válvulas y despresurizo sistema y se setea el cero)	2000H	MCDCINS
Realizar prueba funcional, revisión elementos, espiral, bulbo de limpieza, ajuste conexiones de Interruptores de presión alta y baja en succión y descarga de las etapas del compresor	2000H	MCDCINS
Verificar funcionamiento de manómetros de etapas compresor, usando una bomba de presión manual	2000H	MCDCINS
Inspeccionar, y comparar con medición de un pirómetro el Indicador de temperatura (en cilindros compresor)	2000H	MCDCINS
simular temp hasta nivel de protección, limpiar y prueba en bloque seco al Interruptor alta temperatura en cilindro 1,2, 3 compresor	2000H	MCDCINS
Simular temp hasta nivel de protección, limpiar y prueba en bloque seco	2000H	MCDCINS
Limpieza, revisar resorte y realizar prueba funcional válvula PRV	4000 H	MCDCINS
inspeccionar y limpiar el cuerpo de la válvula PRV	4000 H	MCDCINS
Revisar y lubricar asientos de la válvula PRV	4000 H	MCDCINS
Inspeccionar cables de conexiones y ajuste en bornes (Interruptor temperatura)	4000H	MCDCINS

Tabla 20. (Continuación).

TAREA NUEVA	FRECUENCIA NUEVA	RESPONSABLE NUEVO
INSTRUMENTACIÓN MOTOR WAUKESHA - COMPRESOR ARIEL		
Verificar funcionamiento, desmontar y realizar verificación y calibración del switch de nivel de aceite	4000H	MCDCINS
Reemplazar diafragmas del carburador	4000H	MCDCINS
Revisar ajuste de valvula mariposa del carburador	4000H	MCDCINS
Reemplazar diafragmas del regulador Fisher,	4000H	MCDCINS
Verificar condiciones, fugas, limpieza general, remplazo de diafragmas, realizar calibración	4000H	MCDCINS
Revisar conexiones en bornera de termocuplas (de bancada, exhosto, cilindro, turbo, intake)	4000H	MCDCINS
Medir resistencia de termocuplas (de bancada, exhosto, cilindro, turbo, intake) (desconectando termocupla), verificando tablas si es tipo J (-40 a 750,(1484-1640 ohm) K (-40 a 1200 (758 ohm a 879) para temp 29 a 32 ohm) y comparar valor de reistencia contra tabla, debe dar temp ambiente	4000H	MCDCINS
Realizar prueba funcional simulando temperatura (en bloque seco) hasta nivel de proteccion del Interruptor temperatura Intake Right left	4000H	MCDCINS
Medir resistencia Termocuplas temp agua cilindros Chaqueta de agua, verificando tablas si es tipo J (-40 a 750,(1484-1640 ohm) K (-40 a 1200 (758 ohm a 879) para temp 29 a 32 ohm) y comparar valor de reistencia contra tabla, debe dar temp ambiente	4000H	MCDCINS
Revisar condiion de diafragma, resorte, limpieza, simular operación de la valvula PCV	4000H	MCDCINS
Inspeccionar, y comparar con medicion en un bloque seco el Indicador de temperatura (en cilindros compresor)	4000H	MCDCINS
Verificar asiento de tobera, cambiar si es necesario, revisar palanca de mando, verificar correcto estado del flotador no este roto, cambiar empaques del interruptor de nivel neumatico de cada scrubber	4000H	MCDCINS
Revisar diafragma, resorte, asiento se hace prueba funcional inyectando aire la valvula LCV de los scrubber del compresor	4000H	MCDCINS
Simular comportamiento, revision elementos, espiral, bulbo de limpieza, ajuste conexiones del (interruptor alta y baja presion en succion, descarga 1, 2, 3) compresor	4000H	MCDCINS
cambiar empaquetadura interruptor de alto niveltipo flotador, scrubber succion, scrubber etapa 1,2,4 al Interruptor alta temperatura en cilindro 1,2, 3 compresor	4000H	MCDCINS
De se verifica flotador, palanca, resorte, micro switche y bornes del micro swiths, y empaques del int. baja presion de aceite comp/motor	4000H	MCDCINS
Medir resistencia (Termocupla TDXs), verificando tablas si es tipo J (-40 a 750,(1484-1640 ohm) K (-40 a 1200 (758 ohm a 879) para temp 29 a 32 ohm) y comparar valor de reistencia contra tabla, debe dar temp ambiente	8000H	MCDCINS
Limpia caratula TDXs, verificar estado del cuerpo y conexiones	8000H	MCDCINS
Medir tension de entrada de 12V en todos los canales deTDXs	8000H	MCDCINS
Desmontar, verificar funcionamiento, mantenimiento general, calibrar en banco de prueba valvula PSV	8000H	MCDCINS
Revisar condicion de eje y cambio de eqmpaque, revisar flotador del interruptor de alto niveltipo, scrubber succion, scrubber etapa 1,2,4	8000H	MCDCINS
Ajustar conexiones en borneras del anunciador ALTRONIC	8000H	MCDCINS

5.7. APROBACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

El resultado final de la optimización de mantenimiento será presentado a la gerencia regional sur, departamento de mantenimiento de Ecopetrol para su revisión y comentarios al respecto, teniendo la certeza del trabajo realizado y la aceptación indiscutible por parte de la empresa, más allá de las recomendaciones que puedan surgir en la reunión.

Cabe señalar que los programas de cambio no son fáciles de implementar en las organizaciones y menos cuando estas ya han iniciado el círculo vicioso de mantenimiento. La experiencia demuestra que en la mayoría de los casos es necesario un cambio fundamental en el comportamiento y la motivación a todos los niveles de la organización, por eso se reitera la importancia de la confiabilidad humana en la implementación, adicionalmente se incluye 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.

5.8. ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PMO

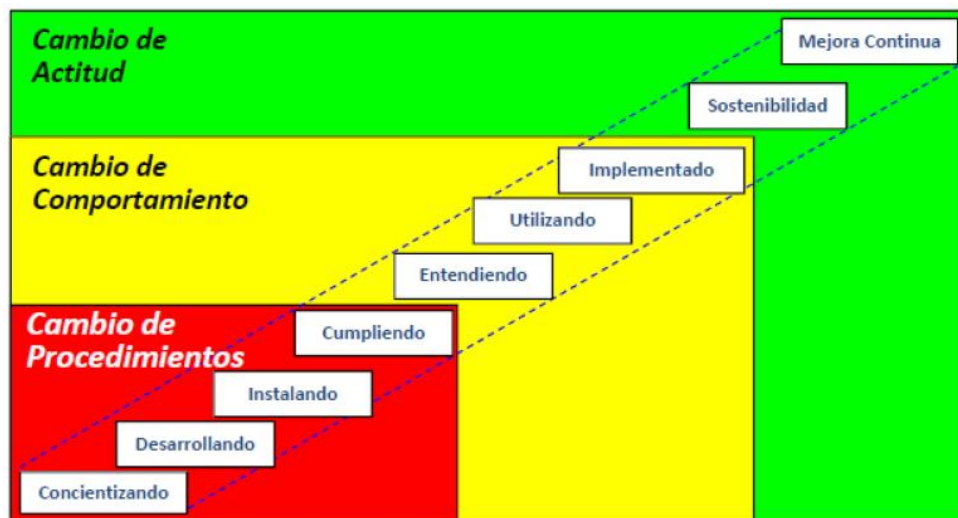
Todo plan de optimización o mejoramiento es difícil de implementar en las organizaciones debido a que siempre va ligado a un cambio y motivación de todos los niveles de la organización. Cuando se cae dentro del círculo vicioso del mantenimiento, debe haber compromiso a mediano y largo plazo de todas las áreas, cambiando la forma de pensar y actuar ya que los cambios esperados o el retorno a la inversión no se darán de manera inmediata sino en un futuro próximo.

Por tal motivo, es necesario como primer objetivo en la implementación de la optimización del plan de mantenimiento de los compresores de gas lift, la confiabilidad humana, ya que el compromiso del personal de mantenimiento y de producción es fundamental para sacar adelante la estrategia.

5.8.1. La confiabilidad humana

Disminuir las fallas humanas cometidas o mitigar sus consecuencias va a redundar en una vida más feliz, saludable y productiva. No cometer fallas significativas nos permitirá reducir el valioso costo asociado en términos de tiempo y otros recursos para la consecución de las tareas de mantenimiento. Estas fallas están relacionadas con los errores, problemas conductuales, problemas psicofísicos y emocionales, que se generan en distintos escenarios y que producen consecuencias en nuestra vida y su entorno.

Figura 25. Enfoque de la confiabilidad humana

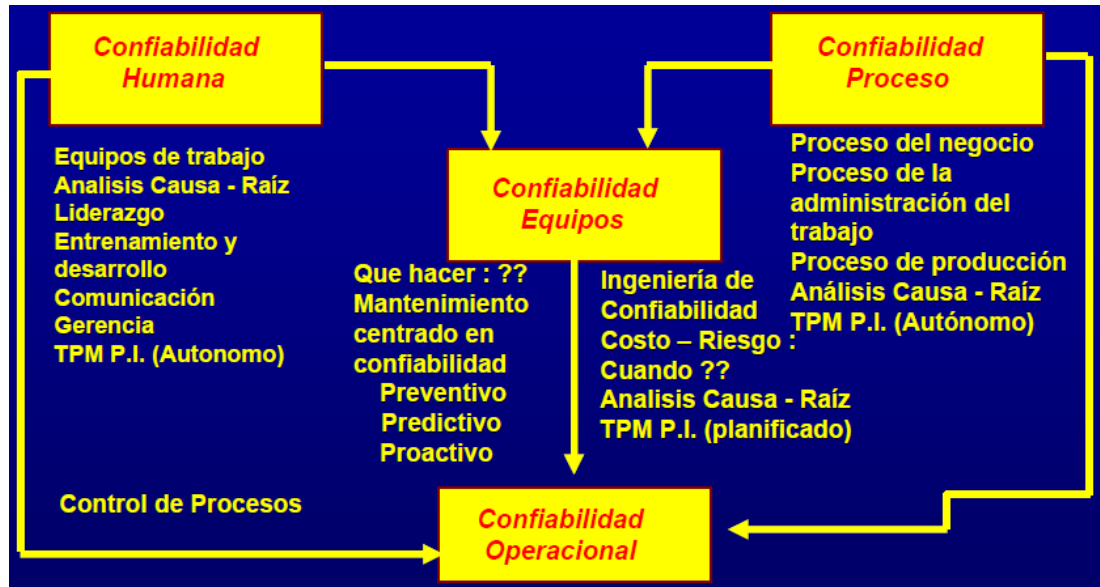


Fuente: VALDERRAMA, María del Pilar

En un modelo de gestión de activos el entrenamiento del personal es fundamental para alcanzar la línea del mantenimiento de clase mundial, no solo el personal técnico, sino también, el entrenamiento continuo a la gerencia y administración del

mantenimiento. La confiabilidad humana por sí sola no causa en la estrategia corporativa un nivel de éxito, si esta no va ligada a la confiabilidad de los procesos y de los equipos, no dará ningún resultado, por lo cual, para que funcione debe estar asociado a la confiabilidad operacional.

Figura 26. Confiabilidad operacional – Gestión de activos



Fuente: Modelo de la confiabilidad humana en la gestión de activos

La confiabilidad humana radica su premisa de buscar optimizar la interacción del hombre con la máquina. Hay que tener en cuenta que una implementación mal instaurada, generara costos sin retorno y las expectativas de mejoramiento de los integrantes de la organización pueden causar que el personal no participe en proyectos futuros.

5.9. PLANEACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PMO

La implementación de la metodología PMO parte de entender que es lo que puede estar mal en el actual plan de mantenimiento de la empresa, dentro de la propuesta gerencial se visualiza la existencia de anomalías que causan

diversos problemas o situaciones que no aportan a la gestión de activos. Dentro de estas podemos mencionar:

- Algunas tareas son basadas en el tiempo, cuando deberían ser basadas en condición.
- Tareas duplicadas, es decir, diferente personal o especialidad pero que pretenden evitar el mismo modo de falla.
- Tareas poco efectivas, que no aportan a la eliminación de modos de falla.
- Tareas efectuadas con una frecuencia inadecuada, es decir, se realizan muy temprano o muy tarde.

Con la optimización del plan de mantenimiento, se implementará un programa dinámico para eliminación de todas las anomalías, donde cada área de la organización está alineada con la estrategia de mantenimiento, pensando en la efectividad, viabilidad, confiabilidad y correcta medición y utilización de los recursos liberados por la implementación.

Parte de la implementación del plan de mantenimiento preventivo se realizó con la ejecución de los talleres PMO, donde fundamentalmente, más allá de los temas tratados, se concientizó al personal técnico de la compañía de la importancia de la que tiene la optimización en la gestión de activos.

5.9.1. Programa Dinámico

Durante el desarrollo de la metodología procedimiento PMO, se ha desarrollado una estructura fiable, racional y con la perspectiva de que cause un gran impacto en la reducción de costos. En el “Programa Dinámico”, el plan de PM se consolida y se toma control de la planta, cuando se reemplaza el mantenimiento reactivo por uno planeado. De este punto en adelante el mejoramiento puede acelerarse

fácilmente y los recursos que se liberan pueden enfocarse a corregir defectos de diseño o limitaciones inherentes a la operación.

Dentro de este paso, el ajuste de los demás procesos se dará poco a poco, con prácticas de mantenimiento relevantes que modifiquen la estrategia de mantenimiento y producción, reflejando mejor desempeño en todas las áreas de la empresa, como son, planeación y programación, gestión de inventarios y demás.

La intención final de este programa es crear una organización que busque continuamente su mejoramiento, para ello hay que crear conciencia de que es importante evaluar las garantías de todas las tareas y cada falla no planeada que se presente.

Para lograr las metas es importante contar con personal capacitado en técnicas de análisis e igualmente contar con la motivación al personal por parte de la dirección para crear en el trabajador un sentido de pertenecía, de compromiso y de creatividad para mejorar su trabajo y optimizar costos de producción.

6. ANALISIS DEL PROCESO DE OPTIMIZACION DEL PM

Por medio de la ejecución de la optimización del plan de mantenimiento, y su posterior implementación, se eliminan las desviaciones identificadas, entre las cuales destaca que aunque los 5 equipos son iguales, la cantidad de tareas cargas en el sistema de información de Ecopetrol (Ellipse), son diferentes entre ellos, lo cual se describe a continuación

Tabla 21. Cantidad inicial de actividades por Motocompresor

EQUIPO	CANTIDAD DE ACTIVIDADES
Motocompesor de gas 1	24
Motocompresor de gas 3	31
Motocompresor de gas 5	25
Motocompresor de gas 6	58
Motocompresor de gas 7	54

Como se mencionó anteriormente, el sistema de compresión de gas es de gran relevancia e importancia en la producción del campo, y lo confirma la evaluación de consecuencias realizada al plan de mantenimiento, donde se observa que la mayoría de las fallas tendrán una afectación directa a la producción.

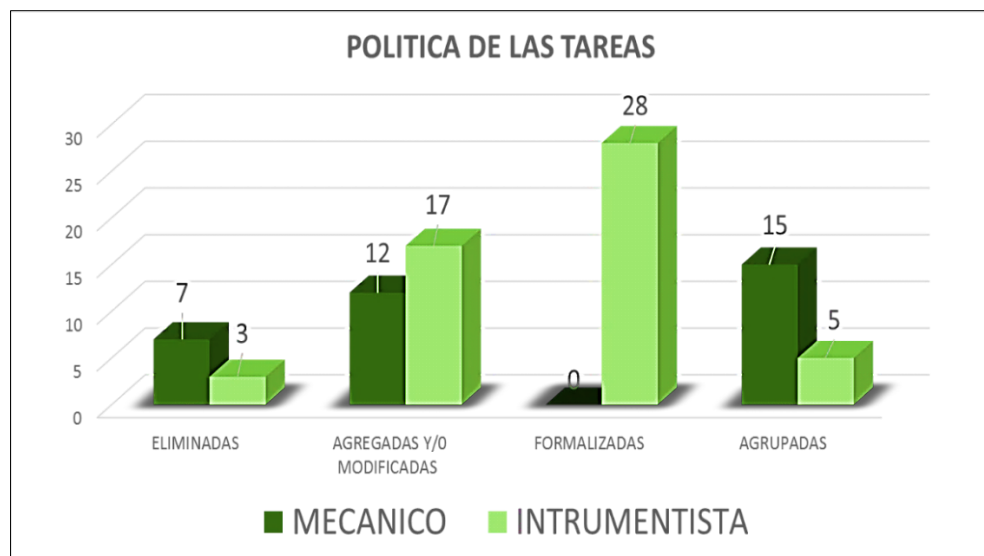
Tabla 22. Distribución de consecuencias

DISTRIBUCIÓN DE CONSECUENCIAS			
Consecuencia	Mecánico	Instrumentista	Cantidad Total
HSE	6	18	24
Perdida operacional	83	28	107
Solo Reparación	0	13	13

Durante los talleres PMO, se identificó como principal mal actor en el plan de mantenimiento cargado en el sistema de información (Ellipse), es la informalidad en actividades, las cuales son ejecutadas por la experticia de los técnicos en el área de instrumentación,

La siguiente figura se muestra las políticas de mantenimiento que se definieron en la optimización del plan de mantenimiento inicial.

Figura 27. Políticas de mantenimiento sobre el plan de mantenimiento inicial



Luego de la optimización del plan de mantenimiento preventivo, hay 16 actividades o tareas de mantenimiento adicionales en comparación con las que había en el plan de mantenimiento inicial, lo que indica que existían tareas que se realizaban de manera informal, es decir, fuera del plan de mantenimiento, así como, modos de fallo que se obtuvieron por el historial de fallas de los equipos, que no se tenían en cuenta y por lo tanto no había una tarea de mantenimiento creada para los mismos.

La agrupación por frecuencias de ejecución de las tareas de mantenimiento antes y después del PMO se presenta a continuación

Tabla 23. : Agrupación por frecuencia de las tareas de mantenimiento antes del PMO

AGRUPACIÓN DE TAREAS POR FRECUENCIAS ANTES DEL PMO		
FRECUENCIA	RESPONSABLE	Total
1000 Horas	Instrumentista/Mecánico	14
2000 Horas	Mecánico	14
56 Días	CBM	4
4000 Horas	Instrumentista/Mecánico	22
196 Días	Instrumentista	18
392 Días	Instrumentista	9
8000 Horas	Mecánico/CBM	13
Total general		94

Tabla 24. Agrupación por frecuencia de las tareas de mantenimiento después del PMO

AGRUPACIÓN DE TAREAS POR FRECUENCIAS LUEGO DEL PMO		
FRECUENCIA	RESPONSABLE	Total
Diario	Operador	13
Semanal	Operador	1
1000 Horas	Mecánico	11
56 Días	CBM	4
2000 Horas	Instrumentista/Mecánico	25
4000 Horas	Instrumentista/Mecánico	40
8000 Horas	Instrumentista/Mecánico	12
12000 Horas	Mecánico	3
25000 Horas	Mecánico	1
Total general		110

6.1. RELACIÓN COSTO-BENEFICIO

A continuación se presenta el consolidado según el tipo de actividades de mantenimiento realizadas con sus respectivos costos del 2014. De acuerdo con la información recopilada se ha invertido \$ 229'067.146 millones en actividades correctivas de los equipos, el cual corresponde al 8.9% del valor total invertido.

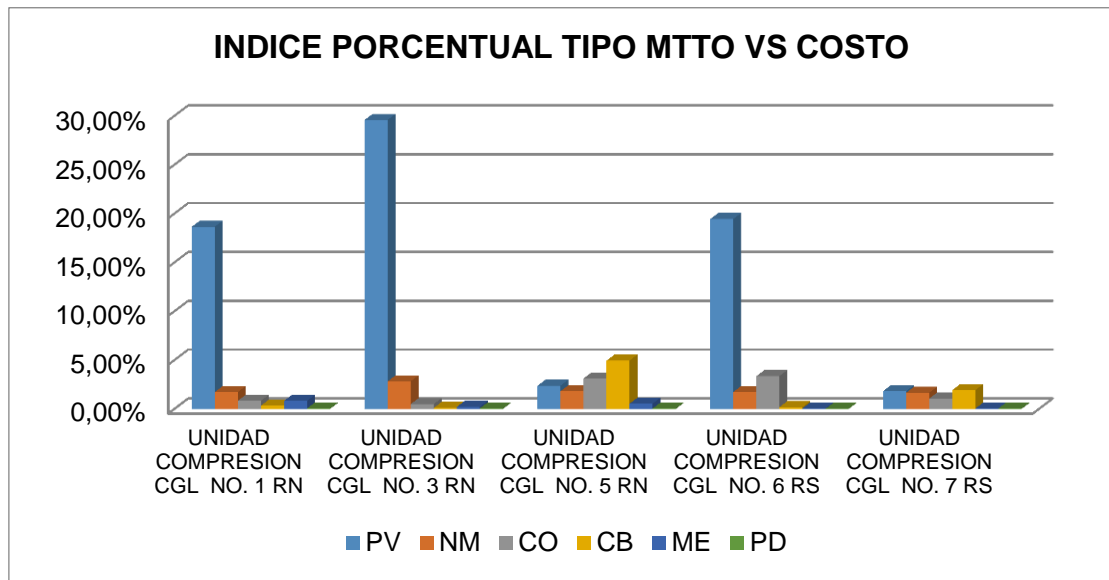
Tabla 25. Costos según tipo de mantenimiento durante el año 2014

EQUIPO	BASADO EN CONDICIÓN	CORRECTIVO	MEJORATIVO	NO MANTENIMIENTO	PREDICTIVO	PREVENTIVO	Total general
UNIDAD COMPRESION CGL NO. 1 RN	\$8.480.273	\$21.458.090	\$21.052.276	\$44.541.136	\$1.326.252	\$480.739.985	\$577.598.012
UNIDAD COMPRESION CGL NO. 3 RN	\$2.709.178	\$12.716.432	\$5.405.933	\$72.788.324	\$1.610.306	\$762.790.799	\$858.020.972
UNIDAD COMPRESION CGL NO. 5 RN	\$127.703.150	\$80.538.702	\$14.068.188	\$46.846.755	\$1.364.794	\$61.109.375	\$331.630.965
UNIDAD COMPRESION CGL NO. 6 RS	\$5.004.541	\$86.737.303	\$1.891.657	\$45.042.168	\$473.374	\$501.430.146	\$640.579.190
UNIDAD COMPRESION CGL NO. 7 RS	\$49.959.173	\$27.616.618	\$1.277.244	\$42.991.596	\$1.643.984	\$47.417.492	\$170.906.109
Total general	\$193.856.316	\$229.067.146	\$43.695.298	\$252.209.979	\$6.418.710	\$1.853.487.798	\$2.578.735.247

Tabla 26. Porcentaje de costos según tipo de mantenimiento durante el año 2014

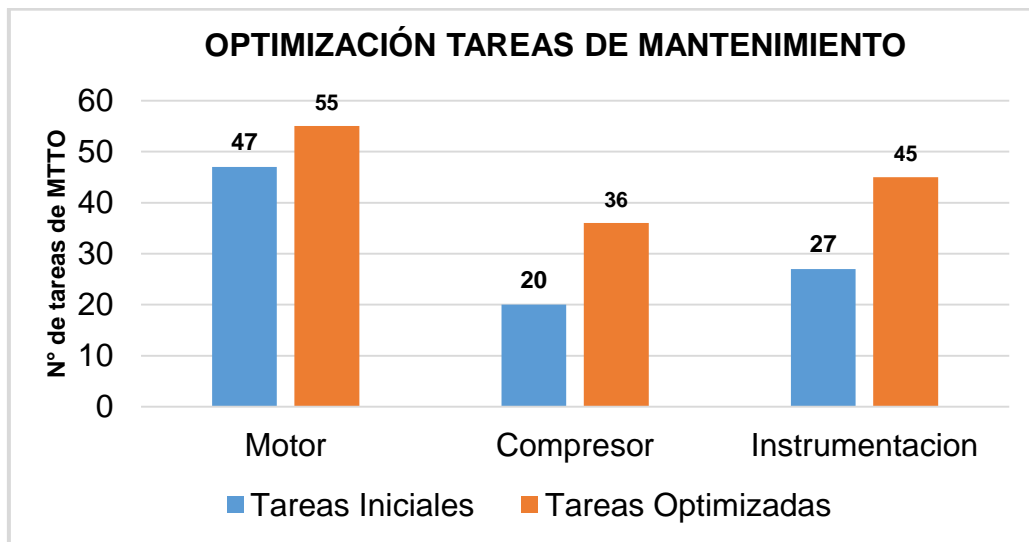
EQUIPO	BASADO EN CONDICIÓN	CORRECTIVO	MEJORATIVO	NO MANTENIMIENTO	PREDICTIVO	PREVENTIVO	Total general
UNIDAD COMPRESION CGL NO. 1 RN	0,30%	0,80%	0,80%	1,70%	0,10%	18,60%	22,40%
UNIDAD COMPRESION CGL NO. 3 RN	0,10%	0,50%	0,20%	2,80%	0,10%	29,60%	33,30%
UNIDAD COMPRESION CGL NO. 5 RN	5,00%	3,10%	0,50%	1,80%	0,10%	2,40%	12,90%
UNIDAD COMPRESION CGL NO. 6 RS	0,20%	3,40%	0,10%	1,70%	0,00%	19,40%	24,80%
UNIDAD COMPRESION CGL NO. 7 RS	1,90%	1,10%	0,00%	1,70%	0,10%	1,80%	6,60%
Total general	7,50%	8,90%	1,70%	9,80%	0,20%	71,90%	100,00%

Figura 28. Índice porcentual tipo de mantenimiento VS costo



En el siguiente grafico se observa claramente la optimización de las tareas de mantenimiento de los equipos que son objeto de estudio en esta monografía comparado con las tareas de mantenimiento del plan de mantenimiento actual, con esta información se puede establecer que las tareas y rutinas que están siendo ejecutadas actualmente no atacan todos los modos de falla que pueden ocurrir en los motocompresores de gas Lift de la estación Rio Ceibas.

Figura 29. Tareas de mantenimiento antes y después del PMO



De acuerdo con la aplicación de la estrategia PMO, se establece que el costo beneficio para los 5 compresores es:

Tabla 27. Estado de resultados

DESCRIPCIÓN	VALOR
Modificación de Tareas	\$58.399.996
Eliminación de Defectos	\$229.067.146
Total	\$287.467.142

Es de aclarar que cuando se habla de eliminación de defectos en las maquinas, significa que las actividades correctivas presentadas en periodos anteriores, no se vuelvan a presentar debido a las nuevas tareas (Optimizadas), ya que dichas tareas eliminan los modos de fallas que no se tienen en cuenta en el plan de mantenimiento actual. En el **anexo E** se muestra de forma más amplia el análisis del costo beneficio.

7. CONCLUSIONES

El plan de mantenimiento optimizado se encuentra listo para su implementación en sistema ELLIPSE, previa autorización de la empresa colombiana de Petrolé (Ecopetrol), quien es el dueño de los activos.

La necesidad de ejecutar un PMO al sistema de inyección de gas era mayor a la inicialmente considerada, principalmente por la alta informalidad en la ejecución de actividades de mantenimiento.

Se identificaron y corrigieron las desviaciones presentadas en el PM Actual, entre las cuales se destacan, tareas repetidas, tareas cargadas a componentes inexistentes, tareas de planes de otros equipos, ausencia de tareas y ejecución de tareas informales.

El área de instrumentación es la principal fuente de actividades informales, ya que solo el 20% de los componentes están cargados al sistema de información ELLIPSE.

Se constató que hay cumplimiento de las frecuencias de ejecución de las rutinas de mantenimiento establecidas actualmente, sin embargo, algunas de ellas fueron modificadas por estar muy lejos o muy cerca del tiempo correcto para su ejecución.

Se modificaron las frecuencias de ejecución que estaban en diferentes unidades, es decir, tareas de instrumentación en días y tareas del frente mecánico en horas, por lo cual se podría incurrir en diferentes paradas del equipo, para actividades de ejecución simultánea.

Se elaboró la plantilla del PMO para los motocompresores de Gas Lift, las cuales permitirán el cargue en el sistema de gestión de mantenimiento de manera completa y sencilla.

El aumento del mantenimiento por condición, se dio principalmente en el área de instrumentación en la cual se implementaron tareas de calibración en termocuplas y otros instrumentos.

De acuerdo con el análisis de costos realizado de la implementación de la nueva estrategia de mantenimiento se logra reducir un 39 % del valor total invertido en el año 2014.

Se eliminaron tareas del plan de mantenimiento actual que fueron tomadas de los planes de mantenimiento de los equipos de la planta de inyección de agua, que son aplicadas y cargadas en las ordenes de trabajo a componentes que no existen en los motocompresores de gas lift del campo rio ceibas.

Las actividades desarrolladas en este trabajo cumplen con lo necesario para mantener en condiciones adecuadas de operación el sistema de compresión de gas lift, siempre que se ejecuten en las frecuencias establecidas y con las recomendaciones indicadas.

La cultura, la disposición y participación de los operadores, técnicos y demás responsables de ejecutar la implementación del PMO, son parte fundamental para que la optimización del mantenimiento preventivo tenga éxito, que se verá reflejado en beneficios económicos para la empresa Ecopetrol S.A.

BIBLIOGRAFIA

ARIEL CORPORATION. Compresores de cilindros opuestos equilibrados para trabajo pesado. Manual Técnico Para Modelos JGK Y JGT. Octubre 1998.

BALLESTEROS CORREA, Fredy. Metodología para implementar modelo de confiabilidad basado en PMO para concretos ARGOS S.A. Monografía especialización en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, facultad de Ingenierías físico-mecánicas, 2012. 145 p.

DUARTE HOGUIN, Juan Carlos. PMO - Optimización del mantenimiento planeado. Diplomado en gestión y control de mantenimiento. Bogotá - Colombia 2011.

EMPRESA COLOMBIANA DE PETROLOS (ECOPETROL). Operación campo rio ceibas. \ecpnvafp04 Generalidades del campo Rio Ceibas. Campo Rio Ceibas. Septiembre 2013.

GOMEZ LOZANO, Iván Darío. Modelo de optimización para el mantenimiento proactivo de los equipos para la producción de leche U.H.T de la cooperativa Colanta s.a. basado en RCM. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bogotá: Universidad Libre de Colombia, facultad de ingeniería mecánica. 2015.

GONZÁLEZ QUIJANO, J. G. Mejora en la Confiabilidad Operacional de las plantas de generación de energía eléctrica: Desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en riesgo. Tesis de Master. Instituto de Postgrado y

formación continua. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad Pontificia Comillas. Madrid – España (2004).

HUMAN CAPITAL DEVELOPMENT. Mantenimiento de compresores recíprocos. Capacitación de compresores recíprocos. Neiva: Mecánicos Asociados SAS. Septiembre 2014. 121 p.

JIMENEZ GARCIA, Cecilia. Aplicación de nuevas técnicas de mantenimiento en un parque de maquinaria de un grupo de cimentaciones. Trabajo de grado Ingeniero industrial. Madrid: Universidad Carlos III. Facultad de Ingeniería. Septiembre 2009. p.19 – 35.

LOCALIZACIÓN Y GEODINÁMICA DEL CAMPO RIO CEIBAS. Consultado Agosto 2014. Disponible en <https://www.google.it/maps/place/Neiva,+Huila,+Colombia>>

MANUAL DE OPERACIÓN CAMPO RIO CEIBAS, (\\ecpnvafp04 Generalidades del campo Rio Ceibas. Ecopetrol S.A

MANUAL DE OVERHAUL MOTORES WUKESHA 9390 GSI. Servicios Asociados SAS. Julio 2013.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM 2. Edición en español. 2004. p 7 – 18.

RUIZ ACEVEDO, Adriana María. Modelo para la implementación predictivo en las facilidades de producción de petróleo. Monografía especialización en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, facultad de Ingenierías físico-mecánicas, 2012. 29 p.

TURNER, Steve. Análisis Mantenimiento de futuro PM Optimización PMO2000. Australia, Northwestern University - Kellogg School of Management Universidad Chapman.

VALDERRAMA, Maria del Pilar. Optimización del plan de mantenimiento (PMO). Colombia Julio 2009.