

**OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE BOMBAS
PRINCIPALES EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO RUBIALES PARA LA EMPRESA
OLEODUCTO DE LOS LLANOS, S.A**

ROGER EDUARDO ZAMBRANO MEDINA

Proyecto integral de grado para optar por el título de Ingeniería Mecánica

Orientador

Carlos Arturo Mendoza Neira

Ingeniero Mecánico

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C

2021

NOTA DE ACEPTACION

Nombre
Firma del Director

Nombre
Firma del Presidente Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Bogotá D.C. Febrero de 2021

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Esto corresponde únicamente a los autores.

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigación

Dra. María Claudia Aponte Gonzales

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Peñaranda Castro

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de la Facultad

Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director de Programa

Dr. Carlos Mauricio Veloza M

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mi madre Evelyn Medina por la confianza, el amor y quien ha creído en mí siempre dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio, también por su constante deseo de verme como ingeniero, a mi padre, Nelson Millán, por el apoyo, sus palabras de aliento, y ser un pilar importante en la familia, a mi hermana, Juliana Millán, por su cariño y alegría que me brindo a lo largo de este camino y como muestra de que las cosas se pueden lograr si se proponen, a Laura Acero, por el amor, el apoyo quien me acompaño en todo momento, me dio la confianza y la fuerza para conseguir este logro, para toda mi familia, los que están y los que se fueron, ¡lo logramos!

Finalmente, a todas las personas que estuvieron a lo largo de la carrera apoyándome y aportando sus conocimientos, profesores y amigos.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mis directores a el ingeniero Oscar Motato y el ingeniero Carlos Mendoza, por su gran apoyo, acompañamiento gracias por el tiempo invertido, dedicación y aporte de conocimientos para lograr el desarrollo del proyecto de grado con el que culmino mi carrera profesional satisfactoriamente. Le agradezco a la empresa Oleoducto de los Llanos Orientales S.A., por brindarme las herramientas necesarias para lograr la optimización del plan de mantenimiento.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN	14
INTRODUCCION	15
1. CONTEXTUALIZACION DE LA EMPRESA OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES (ODL) S.A.	17
1.1 Historia	17
1.2 Ubicación geográfica de ODL	18
1.3 Estación Rubiales	19
1.3.1. Taxonomía de EBR	23
2. CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO Y PMO	28
2.1 El Mantenimiento	28
2.1.2 Historia del mantenimiento	28
2.1.3 Mantenimiento preventivo	29
2.1.4 Mantenimiento basado en condición	29
2.1.5 Mantenimiento correctivo	30
2.2. Plan de Mantenimiento Optimizado (PMO)	30
2.2.1 Concepto de PMO	30
2.2.2 Historia del PMO	31
2.2.3 Metodología PMO	31
2.3 Mantenimiento en ODL	33
2.3.1 RCM en ODL	33
2.3.2 Implementación de PMO en EBR	34
2.4 Justificación de la implementación del PMO2020 en EBR	35
3. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO EBR	36
3.1 Análisis de criticidad	36
3.2 Resultados análisis de criticidad	37
3.3 Análisis de tipos de fallas y efecto del modo de falla sobre los equipos más críticos de la estación Rubiales.	39
3.3.1 Tipos de fallas	39
3.3.2 Fallas funcionales	39
3.4 Análisis modos de falla (FMA)	47

3.4.1 Modos de fallas	47
3.5 Actividades de mantenimiento	51
3.6 Gestión del mantenimiento	52
3.6.1 Sistema SAP	53
3.6.2 Prioridad de mantenimiento	57
3.6.3 Indicadores de mantenimiento ODL	58
3.7 Análisis del diagnóstico	59
4. OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE BOMBAS PRINCIPALES.	61
4.1 Estudio de los modos de falla	61
4.2 Efecto de falla	63
4.3 Indicador de mantenimiento	64
4.4 Revisión de tareas existentes	65
4.5 Descripción de actividades	67
4.5.1 Análisis de actividades	82
4.6 Indicadores de mantenimiento generados	84
4.7 Propuesta de integración de mantenimiento predictivo en el PMO	85
5. ESTUDIO FINANCIERO	87
5.1 Análisis financiero	87
5.1.2 Detalles de resultados	88
5.1.3 Costo del proyecto	91
5.1.4 Costo de implementación del proyecto por parte de ODL	92
6. IMPACTO AMBIENTAL	93
6.1 Estudio de impacto ambiental	93
6.2 Análisis del impacto ambiental del mantenimiento preventivo	96
6.2.1 Plan de mitigación para actividad crítica	98
6.3 Disposición final de los insumos	99
7. CONCLUSION	101
BIBLIOGRAFIA	102
ANEXOS	103

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Composición accionaria ODL.S. A	17
Figura 2. Mapa Oleoducto de los Llanos Orientales	18
Figura 3. Estación de Bombeo Rubiales	19
Figura 4. Mapa de procesos EBR	20
Figura 5. Delimitación del sistema de fronteras para el equipo bomba	21
Figura 6. Taxonomía de EBR	23
Figura 7. Equipo bomba centrifuga	24
Figura 8. Diagrama del equipo	26
Figura 9. Evolución de las técnicas de mantenimiento	29
Figura 10. Sistema SAP	53
Figura 11. Operaciones SAP	54
Figura 12. Visualización de la ubicación	55
Figura 13. Orden de mantenimiento	56
Figura 14. Prioridades de mantenimiento	57
Figura 15. Tablero de indicadores de mantenimiento	58

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Lista de componentes	25
Tabla 2. Código de instrumentos	27
Tabla 3. Plantilla de criticidad	37
Tabla 4. Valores Criticidad	37
Tabla 5. Lista de fallas FASE 1 y FASE 2	48
Tabla 6. Modos de falla	50
Tabla 7. Actividades de mantenimiento específicos de los equipos	51
Tabla 8. Lista de actividades	52
Tabla 9. Optimización fallas	61
Tabla 10. Descripción de fallas	62
Tabla 11. Efecto y consecuencia de la falla	63
Tabla 12. Tiempo medio entre falla MTBF	64
Tabla 13. Lista check	65
Tabla 14. Mantenimientos PVO optimizados	66
Tabla 15. Mejora reflejada en el equipo	67
Tabla 16-A. Lista de acciones por actividad	68
Tabla 16-B. Lista de acciones por actividad	68
Tabla 16-C. Lista de acciones por actividad	69
Tabla 16-D. Lista de acciones por actividad	69
Tabla 16-E. Lista de acciones por actividad	70
Tabla 16-F. Lista de acciones por actividad	70
Tabla 16-G. Lista de acciones por actividad	71
Tabla 16-H. Lista de acciones por actividad	71
Tabla 16-I. Lista de acciones por actividad	72
Tabla 16-J. Lista de acciones por actividad	72
Tabla 16-K. Lista de acciones por actividad	73
Tabla 16-L. Lista de acciones por actividad	73

Tabla 16-M. Lista de acciones por actividad	74
Tabla 16-O. Lista de acciones por actividad	74
Tabla 16-P. Lista de acciones por actividad	75
Tabla 16-Q. Lista de acciones por actividad	75
Tabla 16-R. Lista de acciones por actividad	76
Tabla 16-S. Lista de acciones por actividad	76
Tabla 16-T. Lista de acciones por actividad	77
Tabla 16-U. Lista de acciones por actividad	78
Tabla 16-V. Lista de acciones por actividad	78
Tabla 16-W. Lista de acciones por actividad.	79
Tabla 16-X. Lista de acciones por actividad	80
Tabla 16-Y. Lista de acciones por actividad	81
Tabla 17. Ordenes de actividad PVO sin lista de acción	82
Tabla 18. Actividad recuperada	83
Tabla 19. Indicadores de mantenimiento	84
Tabla 20. Actividades predictivas	86
Tabla 21. Presupuestado y ejecutado	87
Tabla 22. Resultado de presupuesto optimizado	87
Tabla 23. Detalle de optimización	89
Tabla 24. Costos del proyecto	91
Tabla 25. Costo de implementación	92
Tabla 26. Nivel de impacto ambiental	94
Tabla 27. Clasificación del impacto	94
Tabla 28. Actividades de riesgo	95
Tabla 29. Matriz ambiental Mtto sin PMO	96
Tabla 30. Matriz ambiental Mtto con PMO	
Tabla 31. Tratamiento por tipo de residuo	99
Tabla 32. Control de almacenamiento de residuo	100

LISTA DE GRAFICAS

	Pag.
Grafica 1. Tipos de mantenimientos realizados en los equipos	40
Grafica 2. Filosofía del mantenimiento 80/20 actual	41
Grafica 3. Mantenimiento PVO	42
Grafica 4. Costos de mantenimiento PVO	43
Grafica 5. Costos de mantenimiento PVO en cada especialidad	44
Grafica 6. Fallas presentes en el sistema	44
Grafica 7. Costos de mantenimiento correctivos	45
Grafica 8. Costo de mantenimiento correctivo por especialidad	46
Grafica 9. Mejora PMO gastos	88

ACRONIMOS

PVO - Mantenimiento preventivo

CTV - Mantenimiento correctivo

Mtto - Mantenimiento

EBR - Estación de Bombeo Rubiales

ODL - Oleoducto de los Llanos Orientales

BPC – Bomba principal

PM – Plan de Mantenimiento

CMD – Confiabilidad Mantenibilidad Disponibilidad

RCM – Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad)

TPM – Mantenimiento Productivo Total

AMEF - Análisis del Modo y Efecto de Fallas

OT – Orden de Trabajo

RESUMEN

El objetivo principal de este documento es elaborar una optimización del plan de mantenimiento del sistema de bombas principales ubicada en la estación de bombeo Rubiales de la empresa ODL. Con esto se logrará reducir los gastos de mantenimiento desarrollados en los equipos, con esto también se logra que las actividades de mantenimiento preventivo se realicen en los tiempos adecuados y reducir las paradas correctivas, también se desarrolla la gestión del mantenimiento para identificar las causas y efectos que representan las fallas generadas en los equipos.

Para el desarrollo y alcance de los objetivos planteados, como primera medida se realiza un acercamiento a la empresa, con el fin de contextualizar los aspectos generales de esta, actividad económica, ubicación geográfica, operación, mapa de procesos y equipos, esto nos permite identificar el enfoque de la optimización. Posteriormente se realiza un diagnóstico del sistema donde resalta la criticidad que presenta cada equipo, actividades que se realizaron en el periodo estudiado y las fallas que se presentaron, se efectúa un primer acercamiento de los modos de falla y como se gestiona el mantenimiento para iniciar una orden o aviso de mantenimiento.

Una vez realizado el diagnóstico se procede a optimizar generando un primer acercamiento a la codificación de los modos de falla esto permite establecer los efectos que estas generan y las consecuencias que causan, la aplicación de los indicadores de mantenimientos, teniendo un indicador de mantenimiento se puede cambiar la periodicidad de las actividades de mantenimiento sin afectar la operación y los equipos.

Teniendo las actividades necesarias para el mantenimiento de los equipos se procede a realizar un inventario de repuestos mínimo necesario para llevar a cabo el plan de mantenimiento optimizado. El siguiente paso es realizar el estudio financiero para conocer cuál fue el beneficio económico que se generó con la optimización y por último se realiza un estudio ambiental con el fin de lograr una mejora en las actividades

PALABRAS CLAVE: Optimización, Bombas Centrifugas, Plan de Mantenimiento, Criticidad, Diagnostico, Estación de Bombeo

INTRODUCCION

La optimización del plan de mantenimiento es desarrollada para el sistema de bombas principales ubicada en la estación de bombeo Rubiales de la empresa ODL. S.A. con mas de 10 años en el sector de transporte de hidrocarburos; con el fin de mejorar las actividades de mantenimiento y ajustar el presupuesto debido a la crisis sanitaria que se presenta en el país. La optimización garantiza que se cumplan las actividades necesarias que permitan el funcionamiento de los equipos, bajar los costos de mantenimiento y migrar de mantenimiento correctivo al preventivo garantizando una vida útil del activo eficiente.

Para toda empresa es importante la eficiencia operativa y el crecimiento, para esto se desarrollan planes y estrategias que, junto con la volatilidad de la oferta y demanda de crudo, se vuelve necesario que se realice una actualización de sus planes con el fin de buscar mejoras en el rendimiento y asegurar la sostenibilidad del negocio. Este trabajo de grado se propone a tener una propuesta de mejora en el plan de mantenimiento a los activos más críticos de la estación para mantener la alta disponibilidad de los equipos.

Dando como objetivo general **“Optimizar el plan de mantenimiento del sistema de bombas principales de la Estación de Bombeo Rubiales para la empresa ODL, S.A.”**

Para lograr este desarrollo es necesario cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Justificar la Optimización del Plan de Mantenimiento Para el sistema de bombas principales de la estación de bombeo Rubiales de la empresa ODL. S.A.
- Diagnosticar el sistema actual de mantenimiento.
- Desarrollar metodología PMO adaptada al contexto operativo actual
- Evaluar ambiental y económicamente el proyecto

El alcance del proyecto será basado en la Optimizar el plan de mantenimiento del sistema de bombas principales de la Estación de Bombeo Rubiales para la empresa ODL, S.A que incluya: sistemas que conforman los equipos, análisis de criticidad de los equipos, número de actividades removidas, repuestos necesarios para el plan de mantenimiento.

Sera una optimización basada en la reducción de gastos y mejora en las actividades de mantenimiento reducción de paradas correctivas, no se tendrá en cuenta el rediseño de equipos, componentes o elementos.

La metodología utilizada para la elaboración del proyecto se realizará de forma consecutiva para dar cumplimiento a los objetivos que se plantearon anteriormente; primero se realizara una contextualización de la empresa con el fin de conocer el sector transporte de hidrocarburos, y la ubicación geográfica de la estación Rubiales donde se evidenciara el proceso que se lleva a cabo en la estación, Adicionalmente los equipos que se encuentran.

Una vez identificado el proceso se realizara la etapa de diagnóstico del mantenimiento del sistema principal de bombeo esto permite saber el estado de los equipos para ellos e realizara un análisis de criticidad donde se evaluaran factores importantes del mantenimiento como lo son el costo y el impacto, una vez identificado el equipo critico se realizara un análisis de fallas donde se establece la representación de las mismas por la empresa, se realizara un primer acercamiento a los modos de falla para determinar los efectos y consecuencias que estas produce, se identificara cuál es la gestión que se realiza en el mantenimiento, identificando los mantenimientos preventivos y correctivos que se generaron en el periodo estudiado.

Seguido del diagnóstico se desarrollará la parte gruesa del proyecto que es la optimización donde se establecerá una codificación de los modos de fallas, la elaboración de tabla de efectos y consecuencias generadas, el ajuste de las actividades preventivas realizando una reducción de estas, priorización de las ordenes de mantenimiento.

Para complementar el proyecto se realizará un estudio ambiental con el fin de identificar el impacto que tiene el plan de mantenimiento y como mitigar los efectos causados en el medio ambiente y finalmente un estudio financiero que determinará si las acciones tomadas en el proyecto generan beneficios económicos para la compañía.

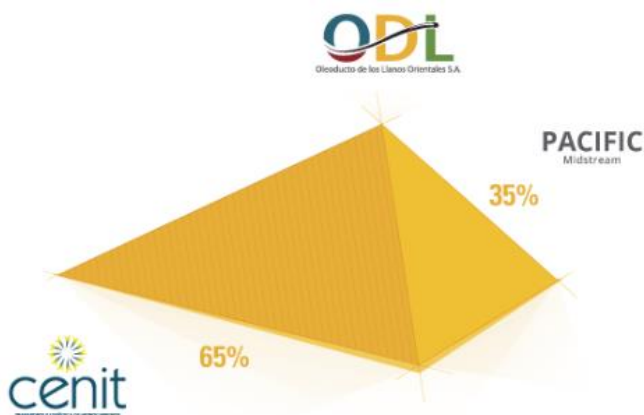
1. CONTEXTUALIZACION DE LA EMPRESA OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES (ODL) S.A.

1.1 Historia

«Oleoducto de los llanos orientales S.A. se conformó en el año 2008 por la empresa Ecopetrol S.A. y Petro Rubiales Corp. A través de la compañía ODL finance S.A. radicada en la ciudad de Panamá, creando una sucursal en Colombia para iniciar un proyecto de diseño, construcción y operación de un oleoducto para el transporte de hidrocarburos en el campo Rubiales, Piriri y Quifa.

Ecopetrol, por su parte, constituyó en 2012 a la empresa CENIT S.A. Transporte y Logística de Hidrocarburos, encargada de la ampliación y fortalecimiento de la red de transporte de hidrocarburos del país, y en consecuencia cedió sus intereses en ODL Finance».[1] Generando así una nueva reestructuración accionaria.

Figura 1.
Composición Accionaria.



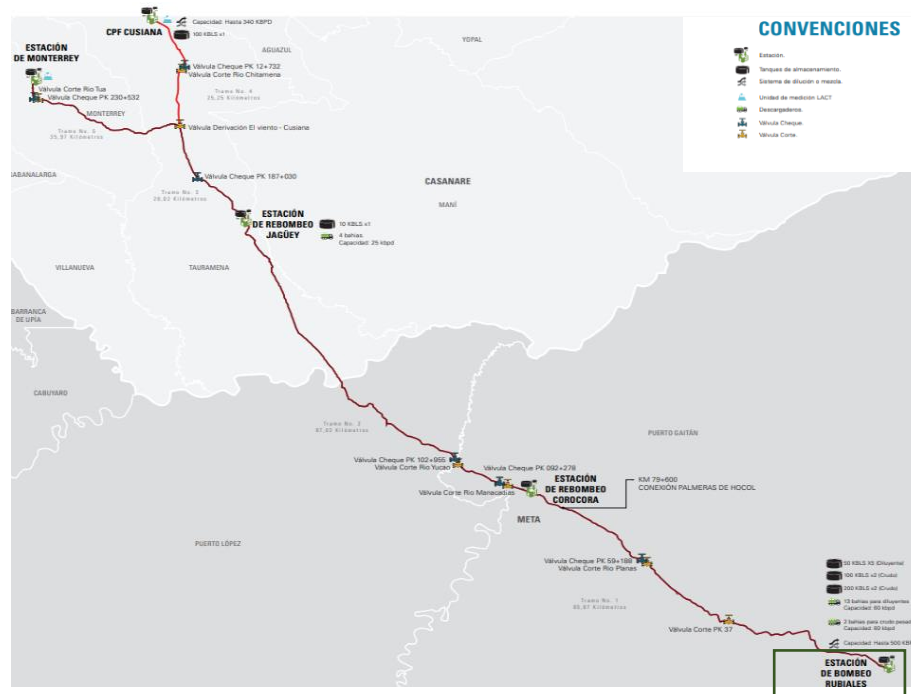
Nota. La figura muestra la composición accionaria que conforma la empresa Oleoducto de los Llanos Orientales. Tomado de <https://www.odl.com.co/index.php/quienes-somos>. [Acceso: 26 de junio del 2020]

1.2 Ubicación geográfica de ODL

El oleoducto parte de la Estación de bombeo Rubiales en el departamento del Meta y entrega el crudo en las estaciones de recibo Monterrey y Cusiana ubicadas en el departamento de Casanare, su línea de transporte tiene una longitud de 235 kilómetros y un diámetro de 24 pulgada, donde se encuentran las estaciones de rebombeo Corocora y Jagüey.

La Estación de Bombeo Rubiales dispone de las siguientes facilidades; recibo, descargue, dilución, almacenamiento y bombeo de crudo esto permite el óptimo funcionamiento del sistema de transporte de hidrocarburos a las demás estaciones. La operación del oleoducto es por parte de Ecopetrol bajo el contrato de Operación y Mantenimiento que fue firmado por ambas partes.

Figura 2.
Mapa Oleoducto de los Llanos Orientales.



Nota. La figura anterior se ve la longitud del oleoducto, las estaciones que tiene la compañía y resaltado en verde la estación de bombeo Rubiales donde se realizara el proyecto. Tomado de: <https://www.odl.com.co/index.php/quienes-somos/mapas-de-los-oleoductos>. [Acceso: 26 de junio del 2020]

El sistema de transporte de hidrocarburos está integrado principalmente por una línea de tubería que tiene un punto de partida en la estación de Bombeo Rubiales, dos estaciones de rebombeo y dos puntos de llegada ya que cuenta con una válvula de corte en el punto denominado el Viento en el kilómetro 200 que permite desviar el crudo a las estaciones de recibo Cusiana y Monterrey.

1.3 Estación Rubiales

Figura 3.

Estación de Bombeo Rubiales.



Nota. La imagen muestra la estación Rubiales delimitada por una línea verde. Tomado de: Galería de fotos ODL.

La Estación de Bombeo Rubiales (EBR) delimitada por la línea verde, recibe crudo pesado de las facilidades de extracción de crudo provenientes de las instalaciones CPF1, CPF2 y Bateria 4; en esta estación se utilizan algunos diluyentes con el fin de tener una mezcla que cumpla con las calidades que se requieren para ingresar al sistema de transporte. Una vez el crudo entra a las instalaciones pasa a los tanques de almacenamiento donde se realizan las mediciones correspondientes para realizar análisis del producto, cuando el crudo cumple con los requisitos necesarios, el crudo es

despachado por un conjunto de bombas al sistema de bombas principales las cuales se encargan de transportar el hidrocarburo a la siguiente estación ubicada a 86 Km de Rubiales. En esta estación inicia el monitoreo de operaciones del oleoducto siendo una instalación significativa para la compañía EBR es el inicio de operaciones del sistema de transporte de ODL. Por esta razón sus equipos deben estar en óptimas condiciones y con disponibilidad de operar bajo cualquier circunstancia.

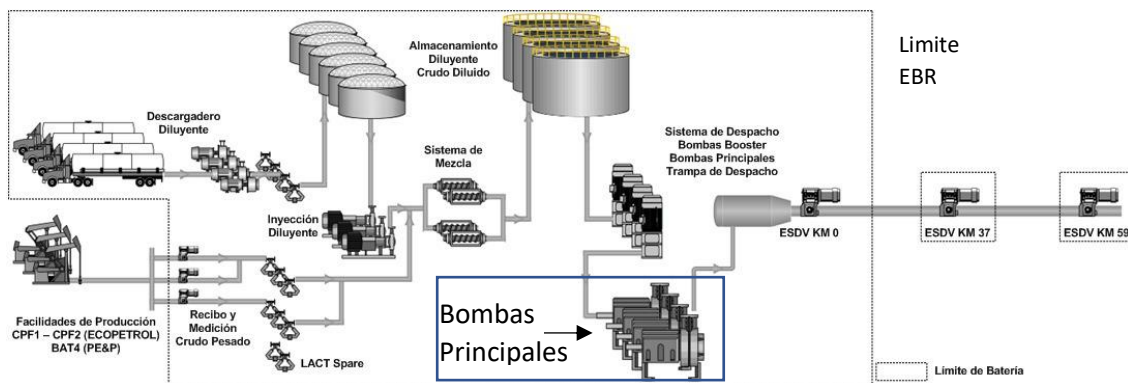
La estación de bombeo rubiales cuenta con las siguientes áreas:

- Tanques de almacenamiento
- Área de recibo de crudo
- Zona de descargue de Carro tanques
- Laboratorios de medición
- Área para mezcla de diluyentes
- Zona de bombas y despacho de hidrocarburos

A continuación, se encuentra el mapa de procesos de la estación de Bombeo Rubiales donde se puede ver el proceso desde que la estación recibe el crudo hasta su despacho a la siguiente estación.

Figura 4.

Mapa de procesos EBR



Nota. La figura muestra el mapa de proceso de la estación delimitada por línea punteada y donde se encuentra señalado el sistema representativo. Suministrado por: ODL (Gestión de Activos).

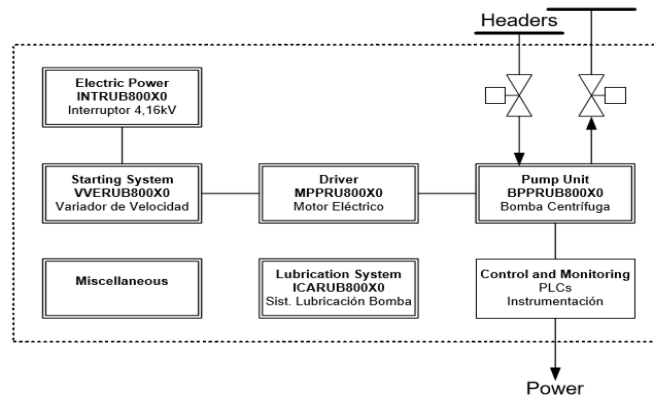
El presente documento busca la optimización del plan de mantenimiento del sistema de bombas principales, se tomará las fronteras que la empresa ODL tiene de estos equipos donde adapta los límites de frontera establecidos por la norma ISO-14224.[2] para bombas.

Se considera que hay componentes que son importantes para el sistema de bombeo por tal razón se delimita la frontera incluyéndolos tales como el interruptor eléctrico, el variador de velocidad y las válvulas de entrada como de descarga, involucrar todos los componentes en la frontera garantiza un mantenimiento homogéneo en toda la unidad.

Esto con el fin de incluir todo en el mantenimiento total de cada sistema de bombeo. A continuación, la delimitación del sistema de frontera para el sistema de bombas principales.

Figura 5.

Delimitación del sistema de fronteras para el equipo bomba



Nota. La ilustración describe como está delimitado el equipo bomba por línea punteada. Imagen tomada de: O.MOTATO, “Impacto en los indicadores CMD de las bombas principales de la estación EBR, por cambio de las propiedades físico-químicas del crudo transportado por el oleoducto, Especialización, UIS, Bogotá 2016.

El sistema principal de bombeo cuenta con 6 Bombas conectadas en paralelo y su esquema de operación se adapta según sus requerimientos, actual mente este sistema se encuentra dividido en dos grupos denominados fase 1 y fase 2.

Fase 1 se compone de los equipos:

- Unidad de Bombeo #6/BPC-3460
- Unidad de Bombeo #5/BPC-3450

Estas 2 bombas centrifugas multietapa son marca Sulzer con capacidad de 1750 gpm, cabeza 4800 pies, motor Siemens de 3500 Hp, 4160 V, 3580 rpm.

Actualmente ODL envió los equipos de fase 1 a estados de conservación con el fin de reducir las actividades de mantenimiento y estos activos entran en operación cuando la compañía requiere de mayor capacidad o cuando los equipos de fase 2 se encuentran en mantenimiento.

Fase 2 se compone de los equipos:

- Unidad de Bombeo #4/BPC-3440
- Unidad de Bombeo #3/BPC-3430
- Unidad de Bombeo #2/BPC-3420
- Unidad de Bombeo #1/BPC-3410

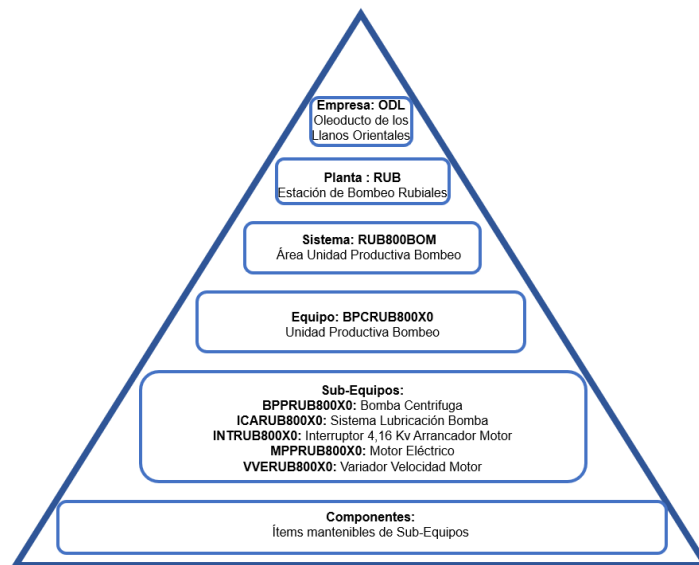
Las 4 bombas centrifugas multietapa son marca Sulzer con capacidad de 2450 gpm, Cabeza 3920 pies, motor Siemens de 3500 Hp, 4160 V, 3580 rpm.

Esta fase se encuentra totalmente operativa y es la encargada de transportar la cantidad de crudo requerido por la compañía teniendo un trabajo pesado y continuo, siendo un sistema critico en intervenciones de mantenimiento ya que paradas de emergencias por daños o intervenciones correctivas afectan la disponibilidad del equipo en el sistema.

1.3.1 Taxonomía de EBR

Para clasificar los activos de la compañía es necesario generar una estructura jerárquica que contenga información confiable que permita identificar los sistemas, subsistemas, componentes y repuestos, para este proyecto se aprovechara de la estructura que actualmente la empresa utiliza. basada en la norma ISO 14224. La cual muestra su taxonomía de equipos.

Figura 6.
Taxonomía de EBR



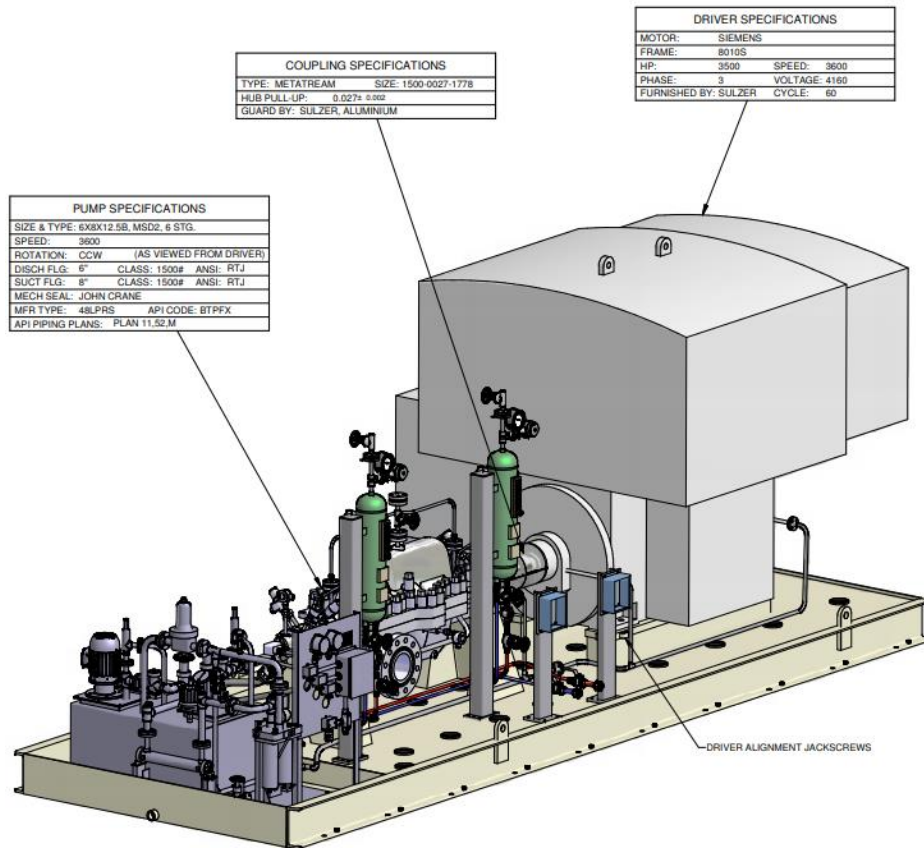
Nota. LA figura muestra el orden de jerarquía como se encuentran establecidos los equipos en la empresa tomado de: O.MOTATO, “Impacto en los indicadores CMD de las bombas principales de la estación EBR, por cambio de las propiedades físico-químicas del crudo transportado por el oleoducto, Especialización, UIS, Bogotá 2016.

Analizando la taxonomía de la empresa, se desglosa fácilmente los componentes de la estación rubiales para el sistema de bombeo encontramos equipos hidráulicos, mecánicos, eléctricos, adicionalmente ítems mantenibles de los sub-equipos. Esto facilita la implementación de rutas de mantenimiento o tareas periódicas como inspecciones de rutina, asegurando que se le está prestando servicio a la unidad correcta

La disposición de los equipos que se encuentran en el sistema de bombas principales se muestra a continuación:

Figura 7.

Equipo bomba centrífuga



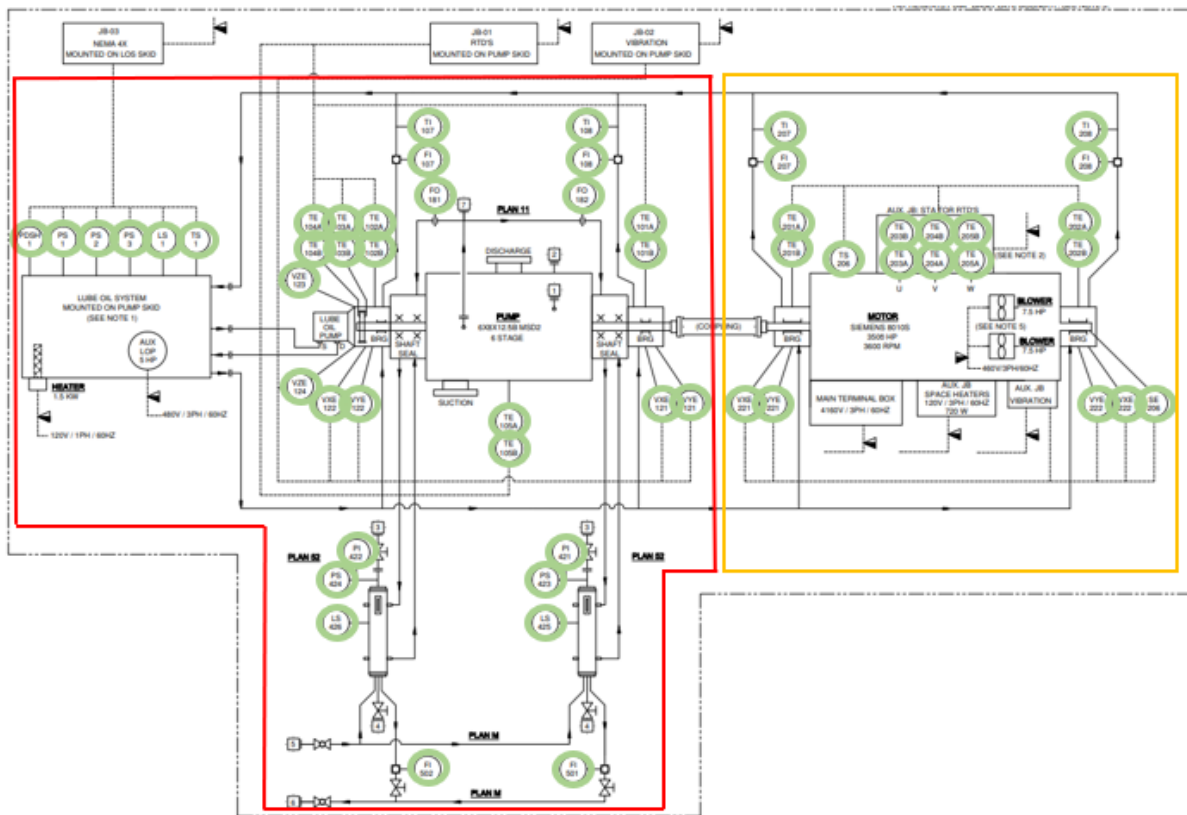
Nota. La figura representa el equipo de bomba centrífuga tomado de: Sulzer Pumps. The Engineering Dossier. Pag. 92.

A continuación, se detallará una lista de todos los componentes que tiene cada equipo con el fin de tener un inventario del sistema de bombeo principal FASE 2.

En el inventario el equipo BPC-3430 cuenta con la mayor cantidad de componentes enlistados, por esta razón se tomará como referencia para agregar a la lista los componentes que hacen falta en los demás equipos ya que estos equipos cuentan con la misma característica podrían llamarse equipos gemelos.

A continuación, se presenta un diagrama de los sistemas que se encuentran en el equipo de bomba principal:

Figura 8.
Diagrama del equipo



Nota. La figura muestra los diferentes sistemas presentes en el equipo. Basado en: Sulzer Pumps. The Enginering Dossier. Pag. 99.

- Sistema de Control & Instrumentación: Lo conforman todos los componentes que se encargan de la transmisión y medición de variables como temperatura, presión, transmisores y comparadores. Que se encuentran en los sub-equipos motor eléctrico, bomba centrífuga y lubricación.
- Sistema Mecánico: Conformado por los sub-equipos bomba centrífuga y sistema de lubricación
- Sistema Eléctrico: se compone de dos motores eléctricos uno para el arranque y otro de media tensión.

A continuación, se enlistan los códigos de identificación de instrumentos que se encuentran en cada sistema que presenta el equipo bomba centrífuga los instrumentos implementados en el sistema de control permite un monitoreo total del equipo.

Tabla 2.
Código de instrumentos

PDSH	Interruptor Diferencial de presión Alta
PS	Interruptor de Presión
LS	Interruptor de Nivel
TS	Interruptor de Temperatura
TI	Indicador de Temperatura
PI	Indicador de Presión
FI	Indicador de Flujo
FO	Restricción de Flujo (mirilla)
TE	Sensor de Temperatura
SE	Sensor de Velocidad
VZE	Sensor de Vibración eje z
VXE	Sensor de vibración eje X
VYE	Sensor de vibración eje Y

Nota. La imagen muestra los códigos de instrumentación para los componentes en verde mostrados en la figura 8. Elaboración propia.

2. CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO Y PMO

2.1 El Mantenimiento

Se define el mantenimiento como el conjunto de acciones necesarias que tienen como objetivo la preservación del activo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo las funciones requeridas. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes durante el ciclo de vida de un activo.

Para llevar a cabo el mantenimiento es necesario el monitoreo de las condiciones del equipo para diagnosticar e identificar el problema, una vez encontrado es fácil asignar un trabajo al operario. El mantenimiento justo a tiempo elimina pérdidas de tiempo y otros, teniendo una exigencia de compromiso para el suministro de los insumos necesarios en la cantidad solicitada y en el momento oportuno.[3]

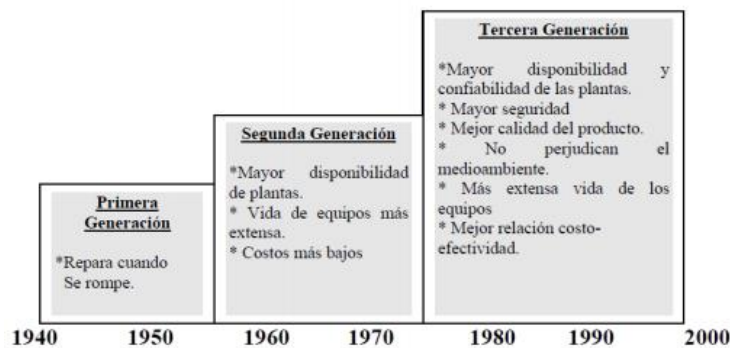
2.1.2 Historia del mantenimiento

El primer mantenimiento en la historia se conoce como el mantenimiento correctivo, ya que este se realizaba a las maquinas cuando presentaban un tipo de falla y estas necesitaban una reparación para continuar con su funcionamiento, luego de esto los fabricantes incluirían una serie de recomendaciones de mantenimiento con el fin de prolongar la vida útil de los equipos, a esto se le conoció como mantenimiento preventivo. Entre la década de los 70s y 80s nacen en Japón nuevos modelos de mantenimientos con el fin de mejorar la calidad, la excelencia y el mejoramiento continuo, a estos modelos se conocen como: TPM, PMO, 5S, Y RCM.

Estos modelos hacen parte de la 5ta generación del mantenimiento y para poder ser aplicados se deben adaptar al tipo de industria, proceso que se lleva a cabo en cada organización y el contexto de operación.

Figura 9.

Evolución de las técnicas de mantenimiento



Nota. La imagen representa las generaciones de mantenimiento a lo largo del tiempo. Tomado de: <http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/14417610294.pdf>. [Acceso: 18 de julio del 2020]

2.1.3 Mantenimiento Preventivo

Este tipo de mantenimiento se ejecuta de una forma planificada y programada, realizando inspecciones periódicas de los equipos que revelan posibles defectos que pueden ocasionar paros imprevistos por daños que afecten la vida útil del activo.[4]

Realizar un correcto análisis y planificación es la mejor estrategia para la programación del mantenimiento preventivo, posteriormente la correcta documentación permite disponibilidad de la información y ejecución de estrategias nuevas.

2.1.4 Mantenimiento Basado en Condición

Este mantenimiento se basa en el predictivo y lo que su busca es corregir un equipo que funciona mal antes de que ocurra una falla, es decir este puede funcionar, pero es necesario realizarle una intervención pronta para no perder la disponibilidad del activo.

2.1.5 Mantenimiento Correctivo

Este tipo de mantenimiento surge cuando el equipo funciona hasta llegar a un punto en el que no puede desempeñar su trabajo con normalidad, este es sometido a reparaciones hasta corregir sus defectos y problemas para su correcto funcionamiento hasta que vuelva a presentar la falla. Este tipo de mantenimiento requiere alta información y conocimiento del equipo.

Este tipo de mantenimiento genera grandes pérdidas operativas ya que no tiene en cuenta las paradas de producción que se generan cuando se realiza la intervención del equipo, el mantenimiento correctivo se justifica cuando el equipo no se encuentra en la línea de producción o en un punto crítico del proceso.

2.2. Plan De Mantenimiento Optimizado (PMO)

2.2.1 Concepto de PMO

Diferentes puntos de vistas que definen el Plan de Mantenimiento Optimizado pero que soportan una misma interpretación.

Olivero García lo define:

«Método diseñado para revisar los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación. El PMO facilita el diseño de un marco formal de trabajo racional y rentable basado en confiabilidad».[5]

Pedro Eliseo Silva lo define en su libro Mantenimiento en la práctica:

«Una herramienta que se refiere a la búsqueda de optimizar los planes de mantenimiento ya sea por medio de la adición o eliminación de algunas tareas».[6]

El Plan de Mantenimiento Optimizado es una herramienta que permite revisar de forma eficiente los sistemas y equipos que presentan un historial de fallas, esto con el fin de mejorar las actividades de mantenimiento necesarias para que los activos cumplan con sus funciones teniendo en cuenta posibles cambios de contexto operativos

2.2.2 Historia del PMO

El Plan de Mantenimiento Optimizado surge como modelo de mejora de metodologías previamente implementados en la industria para la gestión del mantenimiento, una vez se cuenta con un modelo de mantenimiento ya sea RCM, TPM o AMEF, estos a través del tiempo requieren mejoras que se adapten a nuevos procesos que pueden producir más esfuerzos en las maquinas o por el contrario actividades que generan más mantenimiento del que se necesita y por consiguiente gastos innecesarios. El PMO nace como necesidad a la mejora continua de los procesos, dependiendo de un área de mantenimiento.

2.2.3 Metodología PMO

Steve Turner es un ingeniero profesional y tiene Maestría en Administración de Negocios. Es el fundador y director de OMCS Internacional es la compañía que desarrolló la metodología del PMO2000 y subsecuentemente un acercamiento altamente exitoso en la Certeza de la Confiabilidad para activos previos. Estos acercamientos han sido aplicados en cientos de lugares alrededor del mundo y ahora por corporaciones coordinadas a través de muchos lugares.[7]

Con el desarrollo de esta metodología se contemplarán los siguientes factores:

- Solución de problemas con la información exacta
- Mejorar y efectividad en el uso de los recursos
- Aumentar la productividad de los operarios y del personal de mantenimiento
- El sistema se adapta a las situaciones operativas y a las necesidades disponibles
- Optimizar el PM motiva al personal.

Con el fin de implementar una optimización moderna y confiable se realizará una combinación de los pasos más importantes de las literaturas estudiadas donde se establecen nueve pasos adaptados a las recomendaciones de Steve Turner y Pedro Eliseo Silva que se muestran a continuación:

PASO 1: Preparar PMO.

- Establecer sistema de clasificación de criticidad, disponibilidad o confiabilidad
- Selección de equipos de acuerdo con el sistema seleccionado

PASO 2: Análisis de modo de fallas (FMA)

- Recopilar información de equipos o sistemas
- Clasificar información
- Establecer los modos de falla
- Analizar la información

PASO 3: Racionalización y revisión del FMA

- Revisar las tareas existentes en el plan actual
- Comprobar que todos los modos de fallas estén cubiertos por alguna tarea
- Examinar que tareas se pueden remover
- Optimización de tareas
- Revisar recomendaciones de fabricante

PASO 4: Análisis funcional (opcional)

- Funciones que se pierden con cada falla

PASO 5: Evaluación de consecuencia

- Efecto que genera la falla perdida operacional

PASO 6: Definición de políticas de mantenimiento

- Revisión de ordenes de trabajo y personal de intervención
- Inventario de repuestos y herramientas
- Frecuencia y tarea

PASO 7: Revisión y agrupación de procesos funcionales

PASO 8: Aprobación e implementación del programa

PASO 9: Programa de vida y mejoramiento continuo

Por Efectos académicos esta metodología se llevará a cabo hasta el PASO 7 donde se podrá dejar una clara evidencia de la optimización del plan de mantenimiento sin tener que ser implementada por la empresa ya que la ejecución de este requiere de más tiempo de estudio para evaluar la optimización por un periodo de tiempo establecido.

2.3 Mantenimiento en ODL

2.3.1 RCM en ODL

ODL hace parte del grupo Ecopetrol en el escalafón de transporte de crudos, en el año 2009 se inicia la fase de construcción del proyecto oleoducto de los llanos, ODL comprendido la necesidad de realizar buenas prácticas de mantenimiento con el fin de preservar la vida útil de sus activos que entrarían en operación una vez terminada la fase de construcción de dicho proyecto, dada la experiencia y la trayectoria de Ecopetrol en la que ha tenido buenos resultados ODL opta por elegir RCM como su modelo de mantenimiento.

El inicio de operación en EBR lleva a la aplicación de RCM con un grupo mixto de trabajo de ambas compañías, este grupo de trabajo se basó en los manuales operativos entregados por el fabricante, ya que no se tenía conocimiento del comportamiento de los equipos, al surgir las primeras fallas ODL crea su grupo de trabajo denominado taller RCM para la generación de planes de mantenimiento que generan los cambios operativos por incremento de fallas o nuevas averías.

2.3.2 Implementación de PMO en EBR

Una razón clara de porque la metodología PMO es mucho mejor principalmente radica en lo rápido y eficiente que es agrupando fallas y analizándolas conjuntamente, mientras que el RCM analiza cada modo de falla por separado, el PMO comienza con las tareas de mantenimiento esto con el fin de dar solución a varios modos de fallas que pueden ser solucionados con la misma tarea el PMO resulta ser altamente efectivo cuando tienen numerosas fallas.

ODL cuenta con un plan de mantenimiento basado en confiabilidad sólido, pero este se ve afectado cuando los cambios operativos surgen causando el incremento de las fallas en los equipos.

ODL implemento un PMO en el año 2017 debido al cambio de contexto operativo para esa fecha donde opto por reducir el mantenimiento a equipos menos críticos y el envió a fase de conservación a activos no críticos, donde se dieron cuenta que la optimización mejoro considerablemente la gestión de activos y el manejo adecuado del presupuesto para momentos de crisis.

2.4 Justificación de la Implementación del PMO2020 en EBR

Se tienen 3 aspectos importantes, el primero es la Gestión de activos y del mantenimiento ya que la empresa está llevando los equipos a falla realizando mantenimiento correctivo, esto genera un incremento en los costos de mantenimiento y pérdida de disponibilidad en los equipos. Con el PMO se quiere migrar del mantenimiento correctivo al preventivo buscando reducir un 20% los costos de mantenimiento asegurando que no ejecutara más mantenimiento del que requiere. El segundo aspecto es mejorar la dinámica de los planes de mantenimiento y las actividades que se realizan, con el PMO, se identificarán las tareas innecesarias para reducir las actividades que se realizan mejorando las horas hombre y aprovechando al máximo el operario. El tercer aspecto es la clasificación adecuada de las fallas, con esto se puede cuantificar el mantenimiento correctivo permitiéndole al PMO llevar a cabo la migración del mantenimiento.

La solución de problemas de mantenimiento se basa principalmente en cuatro áreas: el mantenimiento de los sistemas críticos, solucionar el problema pronto y más rápido que la última vez, determinar qué está causando que la falla suceda con frecuencia, e identificar las averías que consumen sus recursos. Al optimizar el plan de mantenimiento es necesario tener en cuenta factores como: el coste de una parada de producción, su influencia en la seguridad, el coste de una reparación, entre otros, esto determina las tareas de mantenimiento conveniente para los equipos.

Beneficios de realizar un PMO

- ✓ Reduce sustancialmente los costos de mantenimiento
- ✓ Mejoras el tiempo de actividades
- ✓ Priorización de actividades y recursos
- ✓ Solución de problema más rápido
- ✓ Identificación de las averías que consumen más recursos

3. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO EBR

Para diagnosticar el sistema de bombas principales se puede implementar tres métodos:

- Criticidad
- Disponibilidad
- Confiabilidad

La metodología sugiere escoger un modelo para realizar el diagnóstico en este caso se escoge el método de criticidad ya que este modelo involucra los demás modelos de forma indirecta, al optimizar el plan de mantenimiento por criticidad se mejoran factores como la disponibilidad del equipo y como beneficio se tiene la confiabilidad operacional.

La información obtenida por el estudio de criticidad se puede utilizar para:

- Priorizar las ordenes de mantenimiento
- Diseñar nuevas políticas de mantenimiento
- Priorizar materiales y repuestos en bodega

3.1 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es un método que se utiliza para evaluar y jerarquizar los sistemas más críticos que existen, donde se tiene en cuenta diferentes aspectos como la frecuencia de fallas, los costos de mantenimiento, el impacto en la operación, impacto en el medio ambiente y flexibilidad operacional. Esto nos permite tomar decisiones rápidas al momento de realizar el mantenimiento de los equipos.

- Equipos de bombas principales Fase 1:
 - Unidad de Bombeo #6/BPC-3460
 - Unidad de Bombeo #5/BPC-3450
- Equipos de bombas principales Fase 2:
 - Unidad de Bombeo #4/BPC-3440
 - Unidad de Bombeo #3/BPC-3430
 - Unidad de Bombeo #3/BPC-3420
 - Unidad de Bombeo #3/BPC-3410

Las siguientes tablas muestra las plantillas que se utilizaran para evaluar la criticidad de los equipos que conforman el sistema de bombas principales:

La tabla de criticidad [8] cuenta con una puntuación máxima de 100 puntos, dando entender que es un sistema o equipo sumamente crítico, para esto se establecerá una escala de criticidad teniendo que aquel que sobrepase 50 puntos se considera crítico y aquel que se encuentre por debajo de dicho valor se considerara estable.

Tabla 3.
Plantilla de criticidad

Plantilla de Criticidad de Equipo					
Sistema: --					
Equipo: --					
VALOR	Frecuencia de Falla	Costo de Mantenimiento		VALOR	
6	ALTA : Mas de 5 fallas por año	US \$1.00 a US \$5.000		1	
4	PROMEDIO: 2 a 4 fallas por año	US \$5.001 a US \$10.000		5	
2	BAJA: 1 a 2 fallas por año	US \$10.001 a US \$13.000		12	
1	EXCELENTE : Menos de 1 falla por año	Mas de US \$13.000		28	
VALOR	Impacto Operacional	Impacto Seguridad y Medio Ambiente		VALOR	
16	Parada inmediata de toda la planta	Afecta la seguridad Humana tanto interna como externa		40	
8	Parada inmediata de un sector de la linea productiva	Afecta el medio ambiente produciendo daños severos		30	
4	Impacta los niveles de produccion	Afecta las instalaciones causando daños severos		24	
2	Repercute en costos operacionales adicionales asociado a la disponibilidad del equipo	Provoca danos menores (accidentes e incidentes) personal propio		18	
1	No genera ningun efecto significativo sobre operaciones y produccion	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales		12	
		No provoca ningun daño a la persona, instalacion y medio ambiente		0	
VALOR	Flexibilidad Operacional				
10	No existe opcion de produccion no existe funcion de respaldo (backup)				
5	Existe opcion de respaldo compartido				
1	Existe opcion de respaldo disponible				
TOTAL					

Nota. La imagen de la plantilla está basada en: P. Silva, “Confiabilidad en la práctica”, Colombia, Pag. 209.

3.2 Resultados Análisis de Criticidad

la siguiente tabla muestra los valores arrojados en cada indicador por los equipos que conforman el sistema principal de bombeo.

Tabla 4.
Valores Criticidad

Equipo/Valor Indicador	Frecuencia de falla	Costo de mantenimiento	Impacto operacional	Impacto seguridad y medio ambiente	Flexibilidad operacional	TOTAL
BPC-3460	2	1	1	30	5	39
BPC-3450	6	1	1	30	5	43
BPC-3440	6	12	1	30	5	54
BPC-3430	6	12	1	30	5	54
BPC-3420	6	28	1	30	5	70
BPC-3410	6	5	1	30	5	47

Nota. Muestra los resultados obtenidos con la plantilla de criticidad

El sistema principal de bombeo cuenta con 6 bombas conectadas en paralelo la operación no requiere que todas estén en funcionamiento al mismo tiempo por esta razón

el impacto operacional de las bombas es bajo ya que se cuenta con un respaldo lo cual no para la planta si uno de estos equipos tiene una parada de emergencia, teniendo en cuenta que el fluido es crudo y afecta de manera directa ambientalmente y al operario todos los equipos son clasificados con el mismo valor.

Los equipos fase 1 tienen una puntuación de criticidad promedio de 41,5 ya que estos equipos se encuentran en fase de conservación y se utilizan como equipos suplentes en momentos que requieran más capacidad de bombeo o cuando los equipos de fase 2 se encuentran en mantenimiento, por esta razón los costos de mantenimiento son relativamente bajos. Por lo tanto, los activos de esta fase se consideran estables.

La Fase 2 tiene activos más críticos debido a la carga de trabajo que se le asigna a los equipos de este sistema, esta fase cuenta con una puntuación promedio de criticidad de 56,2 por lo tanto se realizara un análisis profundo de los tipos de fallas y los modos de falla que se están presentando en esta fase. La unidad de bombeo #2-BPC3420 es uno de los activos que más consume en costos de mantenimiento.

3.3 Análisis de Tipos de Fallas y efecto del modo de falla sobre los equipos más críticos de la estación Rubiales.

3.3.1 Tipos de Fallas

Los tipos de fallas no permite caracterizar la falla de un equipo y agrupar adecuadamente las fallas, en la estación Rubiales se opta por clasificar los tipos de fallas de tres formas:

- Falla Eléctrica
- Falla Mecánica
- Falla de control & instrumentación

Estas agrupan los modos de fallas que generan los tipos de fallas anteriormente mencionados.

ODL maneja 3 modos de fallas las cuales son:

- RB3TBCON
- RB3TBMEC
- RB3TBELE

Donde:

RB hace referencia a la estación Rubiales, 3 código de la actividad, TB puesto responsable Técnico Básico, CON falla de Control & Instrumentación, MEC falla Mecánica y ELE falla Eléctrica.

3.3.2 Fallas Funcionales

En el RCM, se denomina falla funcional cuando ocurre una falla y el equipo no puede cumplir su función que fue otorgada como operación normal que el operario considera aceptable, con el PMO se establecerán las fallas funcionales y los modos de fallas que generan estas fallas para reducir la parada del equipo.

Para efectos de este estudio se realizará un análisis del mantenimiento realizado en el periodo 2018-2019 al sistema de bombas principales durante este periodo se llevaron a cabo 535 actividades de las cuales se tienen:

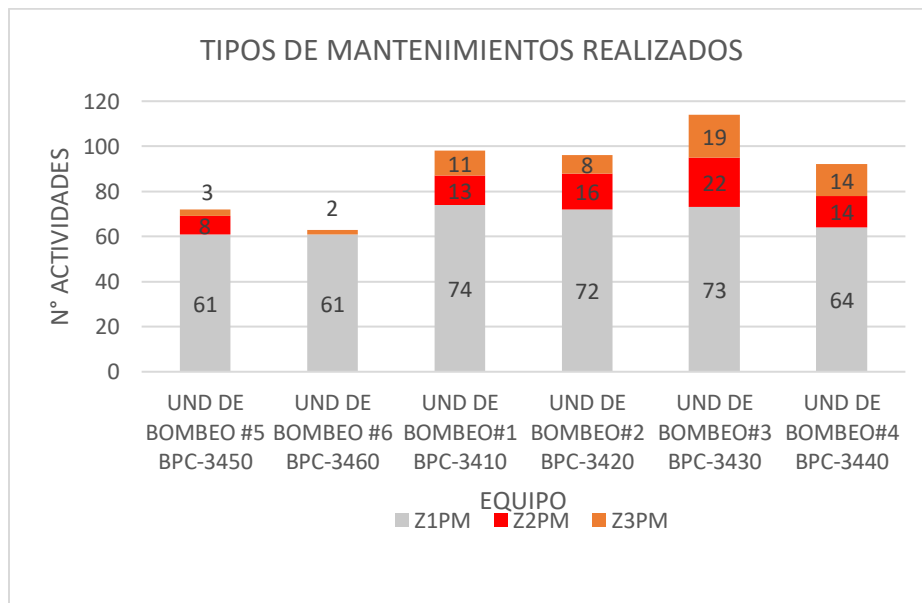
- 405 actividades de mantenimiento Preventivo
- 73 actividades de mantenimiento Correctivo
- 57 actividades de mantenimiento Basado en Condición

ODL representa los tipos de mantenimiento de la siguiente manera

- Z1PM: Mantenimiento Preventivo, son todas las actividades de inspección o recambio que se realiza en los equipos
- Z2PM: Mantenimiento Correctivo, intervención de mantenimiento del equipo para reponer componentes que afectan el funcionamiento normal del activo
- Z3PM: Mantenimiento Basado en Condición: El equipo presenta una avería y hay que intervenirlo para que no falle

Grafica 1.

Tipos de mantenimientos realizados en los equipos



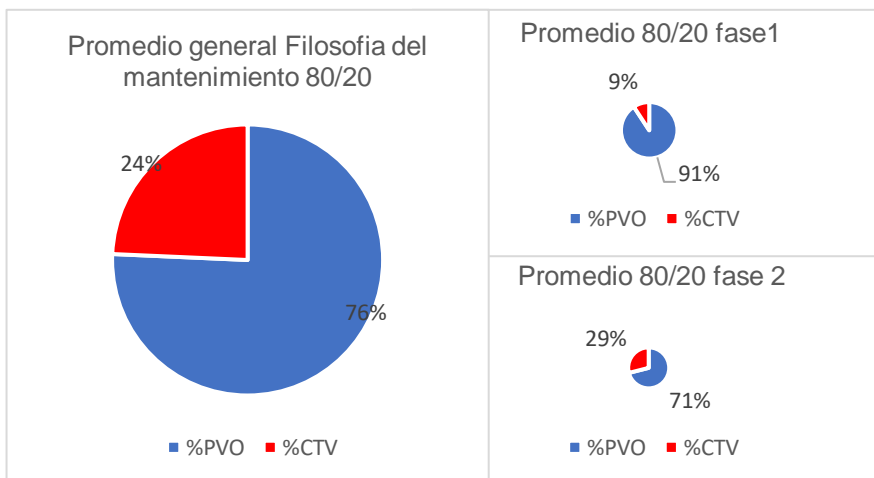
Nota. Esta grafica muestra las actividades realizadas por categoría.

La grafica 1 muestra el número de actividades realizadas en los equipos por tipo de mantenimiento dejando en evidencia que se realiza más cantidad de mantenimiento correctivo y basado en condición en el sistema principal de bombeo fase 2 compuestos por los equipos BPC3410 al BPC3440. La empresa opta por una filosofía de mantenimiento basada en el Pareto 80/20 queriendo decir que se realiza un 80% de actividades preventivas y un 20% de actividades correctivas.

Realizando un estudio de las actividades presentadas en la gráfica 1 y la filosofía de mantenimiento que maneja la empresa se tiene la siguiente gráfica:

Grafica 2.

Filosofía del mantenimiento 80/20 actual

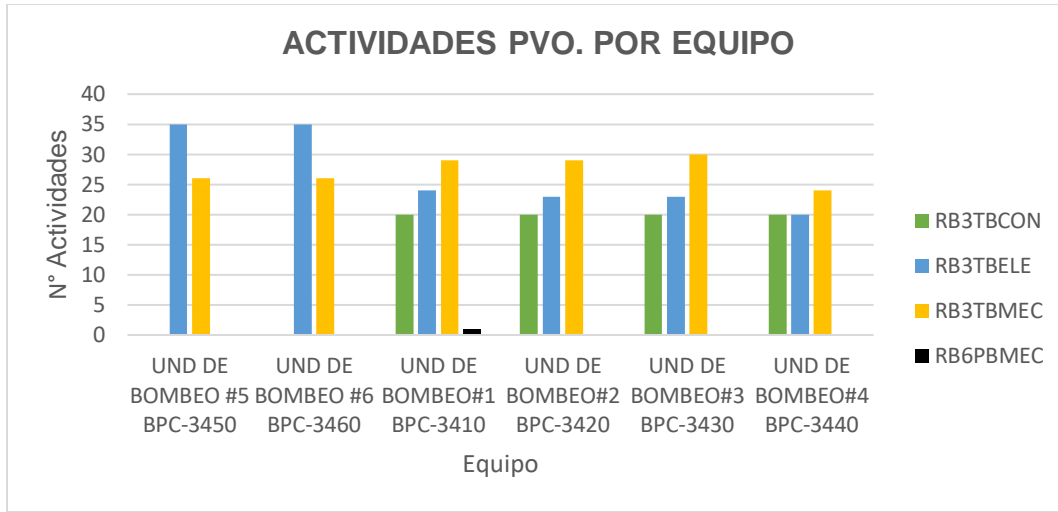


Nota. La grafica muestra los paretos de mantenimiento preventivos y correctivos.

La grafica 2 demuestra que en general la filosofía de mantenimiento 80/20 presenta un ligero desfase en el mantenimiento realizado en los equipos al hacer un estudio del promedio por fase se encuentra que realmente se tiene un Pareto con desfase mayor y esto permite la corrección general queriendo decir que se debe mejorar el mantenimiento preventivo en los equipos de fase 1 eliminando actividades y para los equipos de fase 2 realizar más actividades de carácter preventivo para disminuir los mantenimientos correctivos.

Grafica 3.

Mantenimiento PVO

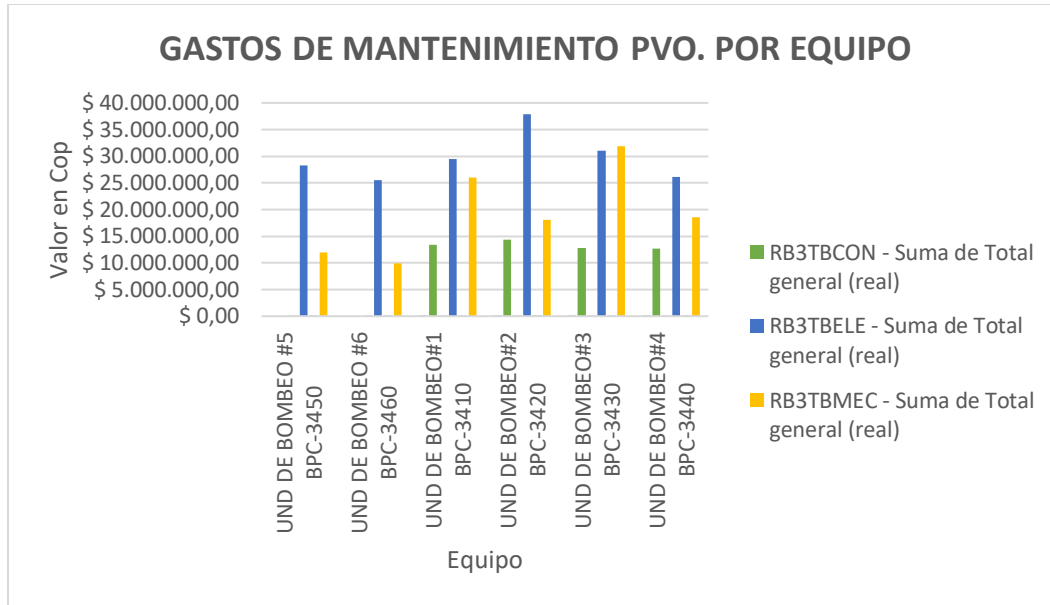


Nota. La gráfica muestra las actividades preventivas.

La grafica 3 muestra el número de actividades realizadas en la especialidad de cada sistema y por equipo, en los equipos de fase 1 resalta una cantidad importante de actividades preventivas de tipo eléctrica y mecánica, también se observa que estos equipos no presentan actividades en la especialidad control, la fase 1 se encuentra en estado de conservación y por lo tanto los equipos son eventualmente requeridos para la operación, como primera medida se recomienda verificar estas actividades para reducir el número de actividades en la espacialidad eléctrica y verificar si requiere actividades en la especialidad de control.

Grafica 4.

Costos de mantenimiento PVO



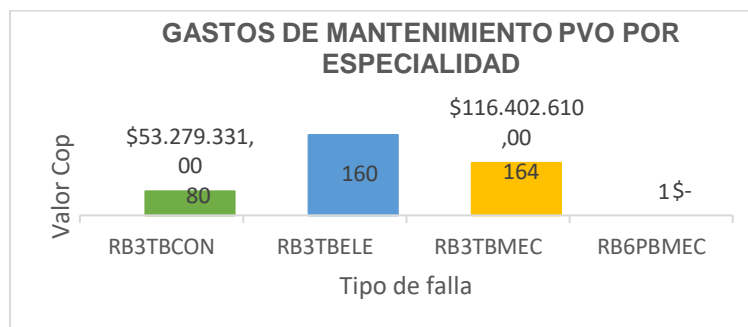
Nota. La grafica representa los costos que tienen las actividades de mantenimiento.

Elaboración Propia

La grafica 4 evidencia los gastos de mantenimiento preventivo por equipo en cada especialidad, como muestra la gráfica 4 los equipos de fase 1 presentan la misma cantidad de actividades en cada una de sus especialidades, pero en esta grafica se demuestra que no se asumen los mismos costos de mantenimiento. En la fase 2 el equipo #3 presenta los costos más elevados de este tipo de mantenimiento, el equipo#2 tiene costos elevados en la especialidad eléctrica.

Grafica 5.

Costos de mantenimiento PVO en cada especialidad

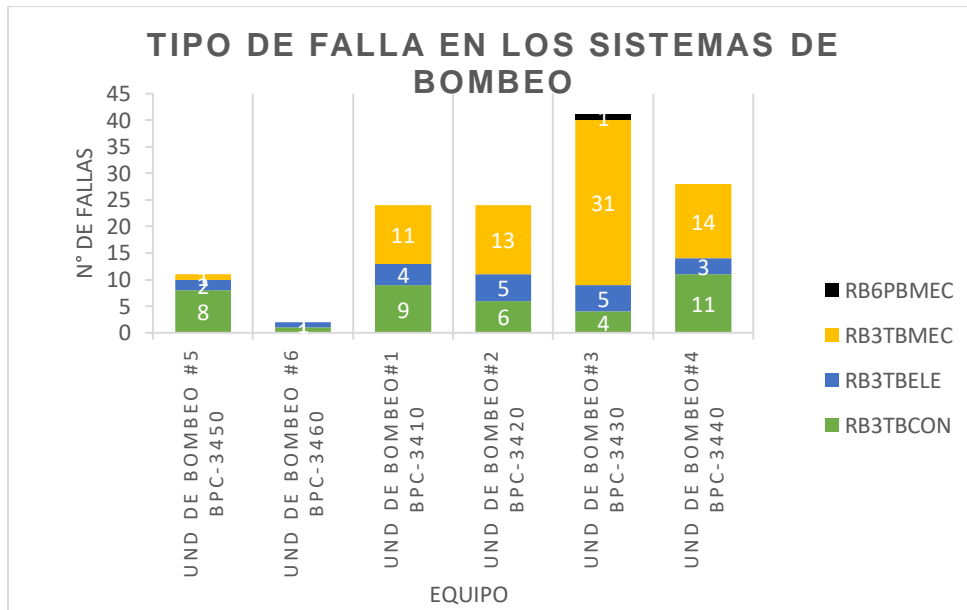


Nota. Muestra las diferentes especialidades de mantenimiento.

La grafica 5 presenta la cantidad de actividades realizadas por especialidad y los costos que estas generan en el sistema de bombeo principal resaltando que la especialidad preventiva Eléctrica consume una cantidad importante de presupuesto a pesar de no ser la especialidad que más actividades presenta en el sistema.

Grafica 6.

Fallas presentes en el sistema

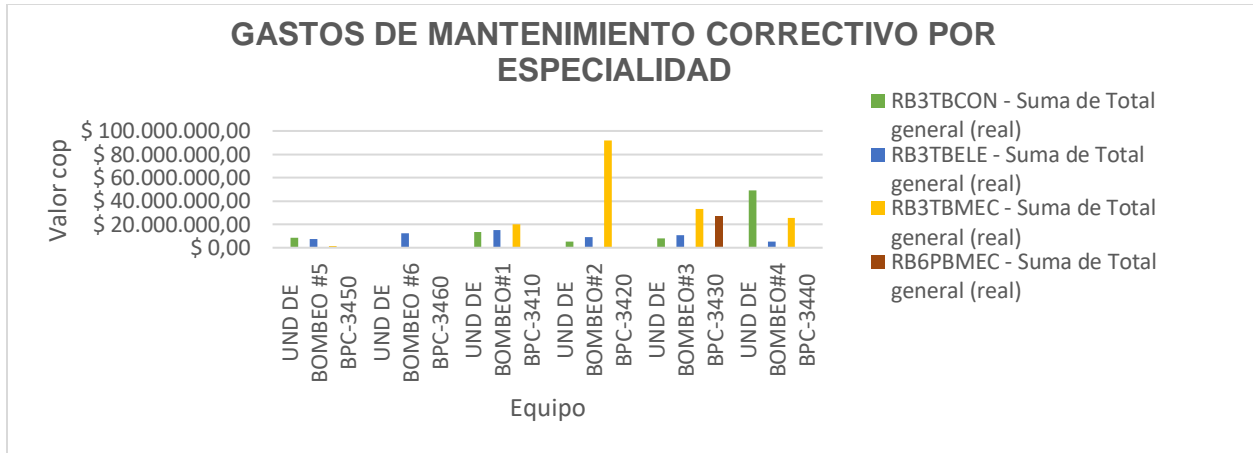


Nota. La grafica enlista los tipos de fallas presentes.

La grafica 6 muestra el tipo de falla y la cantidad que se presentaron en los equipos del sistema principal de bombeo siendo el equipo#3 el que presento más paradas correctivas, se evidencia la falla mecánica como la más representativa en los equipos que conforman la fase 2 seguida de la falla de control. Se presentan unas fallas de tipo control que afecto al equipo#5 de fase 1 y en la gráfica 3 se evidencia que en estos equipos no se les realizo ninguna actividad preventiva en la especialidad de control. También se puede ver que las fallas mecánicas se presentan 1 sola vez en la fase1 y se realizó una cantidad importante de mantenimiento preventivo en dicha especialidad como lo muestra la gráfica 3. Adicionalmente la gráfica 6 muestra que los equipos de Fase 1 y Fase 2 presentaron un total de 130 fallas en el periodo 2018-2019. Se pone en evidencia una falla mal clasificada en la unidad de bombeo #3

Grafica 7.

Costos de mantenimiento correctivos

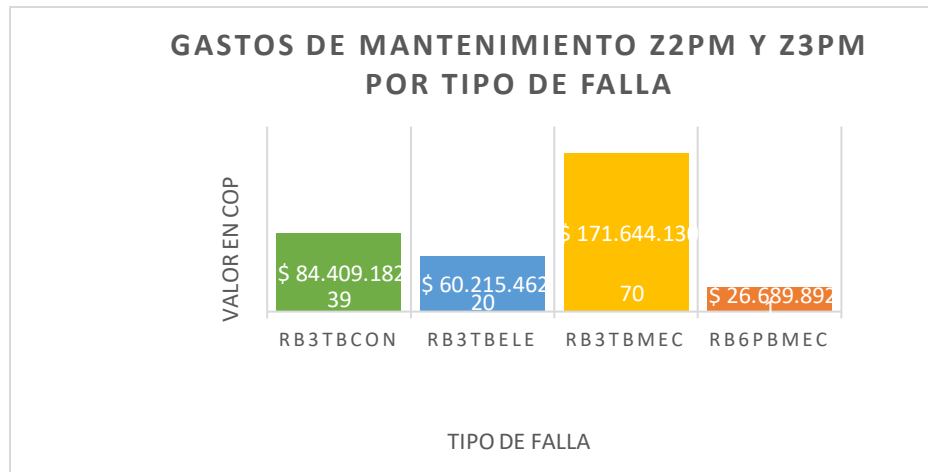


Nota. Muestra los costos de las fallas que se generaron.

La grafica anterior muestra los costos que genero cada tipo de falla en cada uno del equipo donde se puede ver que con respecto a la gráfica 6 el equipo#2 presento 13 fallas de tipo mecánica con gastos representativos en comparación con el equipo#3 que reflejo 31 fallas de tipo mecánico con valores más bajos de reparación.

Grafica 8.

Costo de mantenimiento correctivo por especialidad



Nota. La grafica 8 muestra el numero de actividades que se realizaron en los tipos de mantenimiento Z2PM Y Z3PM y los gastos que se generaron.

De 130 fallas generadas en los equipos del sistema principal de bombeo, 70 son fallas mecánicas, 39 fallas de control y 20 fallas eléctricas también se presenta 1 falla mal clasificada. La falla mecánica representa para la compañía un costo elevado de mantenimiento correctivo seguida de la falla de control, debido a que estos equipos se encuentran totalmente monitoreados.

3.4 Análisis Modos de Falla (FMA)

3.4.1 Modos de fallas

Son los eventos razonables que pueden causar las fallas. Para identificar los modos de falla es necesario incluir los posibles hechos que han ocurrido en los equipos similares o en afinidad de contexto operacional y todo tipo de falla que se controla en el mantenimiento o que aún no esté en el programa de mantenimiento pero que puede ser posible.

Se estudiarán los modos de fallas en todos los equipos de bombeo dándole prioridad a los equipos críticos ya que estos presentaron una mayor cantidad de fallas que se pueden replicar en los demás equipos. Las siguientes tablas muestra las fallas ordenado por equipo y la especialidad donde se presenta la falla.

A partir de la información suministrada en el texto breve se puede establecer el modo de falla el cual se unificará y la denominación del objeto técnico indica el lugar donde se presentó la falla también se establecerá la frecuencia con la que esta se presenta en el equipo.

Las tablas 5 y 6 muestra resaltado en color las fallas con características similares con el fin de agruparlas y establecer la frecuencia de los efectos.

Tabla 5.

Lista de fallas FASE 1 y FASE 2

Aviso	Orden	Pto.tbjo.responsable	Clase de orden	Texto breve	Denominación de la ubicación técnica	Denominación de objeto técnico
12002966	40001123	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3410. FUGA FIGURA 8 DRENAJE LIN DESC	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #1
14000364	40001836	RB3TBMEC	Z3PM	BPC3410 ALTO NIVEL DE RESERVORIOS	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	RESERVORIO SELLOS BPC-3410 LADO ACOPLE
12003713	300002064	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3410 FUGA RESERVORIO SELLO INTERNO	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	RESERVORIO SELLOS BPC-3410 LADO ACOPLE
12001755	300001037	RB3TBMEC	Z2PM	ASISTENCIA CAMBIO SELLOS LI/LA BPC-3410	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	RESERVORIO SELLOS BPC-3410 LADO LIBRE
12004088	300002269	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3410. ALTO NIVEL RESERVORIO L. ACOPL	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	RESERVORIO SELLOS BPC-3410 LADO LIBRE
12001686	400000495	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3410. ALTO NIVEL RESERVORIO L. LIBRE	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	RESERVORIO SELLOS BPC-3410 LADO LIBRE
12001627	300000920	RB3TBMEC	Z2PM	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC3410	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	RESERVORIO SELLOS BPC-3410 LADO LIBRE
12003453	300001930	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3410 PRESENTA BAJO NIVEL RESERVORIOS	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3410
14000344	400001807	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3410. ALTO NIVEL RESERVORI L/L y L/A	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3410
14000254	300002275	RB3TBMEC	Z2PM	CAMBIO LIQ RESER BPC-3410 MTTTO PVO	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3410
12001835	300001084	RB3TBMEC	Z2PM	LIMPIEZA CAMBIO LIQ. RESERVORIO BPC3420	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3410
12002801	400001035	RB3TBELE	Z3PM	BPC-3410. FUGA ACEITE MOTOR	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	BPC-3410 MOT ELECTR 3500HP 3581RPM UN#1
14000347	400001819	RB3TBELE	Z3PM	FUGA ACEITE BPC-3410 MOT ELECTR 3500HP	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	BPC-3410 MOT ELECTR 3500HP 3581RPM UN#1
12001460	400000424	RB3TBELE	Z3PM	FUGA DE LUBRICACION BPC-3410 MOT ELECTR	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	BPC-3410 MOT ELECTR 3500HP 3581RPM UN#1
12002319	400000813	RB3TBELE	Z3PM	REPARACION PLATO SUJECCION BLOWER	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	CBF2 MOT ELE 7,5HP ENFRIADOR#2 BPC-3410
12003668	300002053	RB3TBCON	Z2PM	BPC 3410 RTD TE3415 ABIERTA	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #1
12002323	400000828	RB3TBCON	Z3PM	PERDIDA DE DISPONIBILIDAD BPC3410	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #1
12001924	300001139	RB3TBCON	Z2PM	BPC-3410 Perdida disponibilidad	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	CBF1 MOT ELE 7,5HP ENFRIADOR#1 BPC-3410
12001606	400000473	RB3TBCON	Z3PM	MATER BPC-3410 VALVULA CONTROL FCV 3411	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	FCV-3411 V CONTR FLUJ GABEZAL REC/LACION
12002210	400000772	RB3TBCON	Z3PM	FIT3411- FLUJO BPC3410- FUGA PRODUCTO	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	FIT-3411 TR FLUJO L-L DESCARGA BPC-3410
12003682	300002055	RB3TBCON	Z2PM	BPC-3410 ALARMA ALTA TEM TSH-3411	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	P2-PDSH-1 SW PRES DIF LUBE SYS BPC-3410
12002575	300001468	RB3TBCON	Z2PM	BPC-3410. SEÑAL ERRONEA NIVEL RESERVORIO	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	RESERVORIO DEL LUBE OIL SYSTEM BPC-3410
12003173	300001788	RB3TBCON	Z2PM	BPC 3410 PERDIDA DE DISPONIBILIDAD	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3410
12002089	300001194	RB3TBCON	Z2PM	BPC-3410 - PERDIDA DISPONIBILIDAD	UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3410
12001598	300000907	RB3TBMEC	Z2PM	REPARACION VASTAGO VALVULA DESC BPC-3420	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	MOV-3422 V COMP 12"X150 DESC BPC-3420
12002205	300001236	RB3TBMEC	Z2PM	FUGA RESERVORIO LADO ACOPLE BPC - 3420	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	RESERVORIO SELLOS BPC-3420 LADO LIBRE
12002359	300001317	RB3TBMEC	Z2PM	FLUSHING SISTEMA DE SELLADO BPC-3420	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	SISTEMA LUBRICACION UND BOMBEO BPC-3420
12004125	300002304	RB3TBMEC	Z2PM	CAMBIO DE SELLO LA BPC-3420	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	RESERVORIO SELLOS BPC-3420 LADO ACOPLE
12002477	300001413	RB3TBMEC	Z2PM	BPC3420 - FUGA LIQ. BARRERA LADO ACOPLE	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	RESERVORIO SELLOS BPC-3420 LADO ACOPLE
12002643	300001526	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3420. PERDIDA DE LIQUIDO LADO LIBRE	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	RESERVORIO SELLOS BPC-3420 LADO LIBRE
12004472	300002569	RB3TBMEC	Z2PM	APOYO INSTRUMENT. VIBR BPC-3420	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	BPC-3420 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #2
12002422	300001377	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3420. ALTO NIVEL RESERVORIO L. ACOPL	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	SISTEMA LUBRICACION UND BOMBEO BPC-3420
12002125	300001201	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3420 LIMPIEZA CAMBIO LIQ. RESERVORIO	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	RESERVORIO LUBE OIL SYSTEM BPC-3420
12004089	300002270	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3420 ALTO NIVEL RESERVORIO L.A y L.L	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	SISTEMA LUBRICACION UND BOMBEO BPC-3420
12003883	400001589	RB3TBMEC	Z3PM	FUGA LIQUIDO BARRERA BPC3420	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3420
14000030	400000555	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3420 HALLAZGO ANALISIS CBM	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	BPC-3420 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #2
14000063	400000900	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3420 CAMBIO DE SELLOS MECANICOS	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3420
12002257	300001259	RB3TBELE	Z2PM	BPC-3420 FALLA DE LIMITE DE VELOCIDAD	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	VFD-B VARIADOR VEL DV/DF M PPAL BPC-3420
13000113	400001042	RB3TBELE	Z3PM	ACOMPANAMIENTO SKF VIBRACIONES-TERMOGRAF	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	VFD-B VARIADOR VEL DV/DF M PPAL BPC-3420
12002817	400001036	RB3TBELE	Z3PM	BPC-3420. FUGA ACEITE MOTOR LADO LIBRE	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	BPC-3420 MOT ELECTR 3500HP 3581RPM UN#2
12002129	400000739	RB3TBELE	Z3PM	BPC-3420 Falla comunicacion Ventilador 2	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	CBF1 MOT ELE 7,5HP ENFRIADOR#1 BPC-3420
14000079	400001050	RB3TBELE	Z3PM	BPC-3420 CBM ALTA TEMPERATURA CONEXION	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	BPC-3420 MOT ELECTR 3500HP 3581RPM UN#2
12003020	300001693	RB3TBCON	Z2PM	FALLA SISTEMA DE INSTRUMENTAC BPC-3420	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3420
12003293	300001848	RB3TBCON	Z2PM	Falla red fuelbus instrument BPC's/BB's	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3420
12001483	300000887	RB3TBCON	Z2PM	CORRECCION FALLA FIT3421 BPC3420	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	FIT-3421 TR FLUJO L-L DESCARGA BPC-3420
12002000	300001147	RB3TBCON	Z2PM	BPC-3420 FALLAS SEÑALES VIBRACION HMI	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3420
12002692	300001542	RB3TBCON	Z2PM	BPC-3420 ALTA VIBRACION BOMBA LA	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3420
12002211	400000771	RB3TBCON	Z3PM	FIT3421- FLUJO BPC3420- FUGA PRODUCTO	UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	FIT-3421 TR FLUJO L-L DESCARGA BPC-3420
12004038	300002237	RB6PBMEC	Z2PM	ESP Reparación Vástago-Tuerca	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	
12002229	300001249	RB3TBMEC	Z2PM	CAMBIO LIQUIDO RESERVORIO BPC 3430	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3430
12002309	300001294	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3430 FUGA POR RACOR RESERVORIO	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVORIO SELLOS BPC-3430 LADO ACOPLE
12002352	300001312	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3430 CAMBIO LIQUIDO RESERVORIO	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3430
12002421	300001379	RB3TBMEC	Z2PM	ALTO NIVEL RESERVORIOS BPC 3430	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVORIO SELLOS BPC-3430 LADO LIBRE
12002497	300001418	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3430 - REV. Y CAMBIO LIQU RESERVORIO	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVORIO DEL LUBE OIL SYSTEM BPC-3430
12002611	300001501	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3430. ALTO NIVEL RESERVORIOS	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3430
12002728	300001552	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3430. ALTO NIVEL RESERVORIOS	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVORIO SELLOS BPC-3430 LADO ACOPLE
12003076	300001736	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3430. ALTO NIVEL RESERVORIO LADO ACOP	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVORIO SELLOS BPC-3430 LADO ACOPLE
12003197	300001804	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3430. ALTO NIVEL RESERVORIOS	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3430
12003493	300001956	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3430 FALLA VALVULA DESCARGA MOV-3432	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	MOV-3432 V COMP 12"X900 DESC BPC-3430
12003540	300001988	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3430. ALTO NIVEL RESERVORIOS	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3430
12003790	300002107	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3430 ALTO NIVEL RESERVORIOS SELLOS	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVORIO SELLOS BPC-3430 LADO ACOPLE
12003821	300002120	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3430. ALTO NIVEL RESERVORIOS	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVORIO SELLOS BPC-3430 LADO ACOPLE
14000217	300002193	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3430 RESERVORIO SATURADO/ALTO NIVEL	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVORIO SELLOS BPC-3430 LADO ACOPLE
12004084	300002268	RB3TBMEC	Z2PM	ALTO NIVEL RESERVORIO BPC 3430 LADO ACOP	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVORIO SELLOS BPC-3430 LADO LIBRE
12004302	300002465	RB3TBMEC	Z2PM	ALTO NIVEL DE RESERVORIO BPC 3430	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3430

Tabla 5. Continuación

12001695	40000503	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3430. FUGA LEVE LINEA LUBRICACION	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	800-LPM1-PM2C BOMBA LUBE SYS BPC-3430
12001776	40000526	RB3TBMEC	Z3PM	LIMPIEZA RESERVIORIOS BPC-3430	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3430
14000029	40000554	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3430 HALLAZGO ANALISIS CBM	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	BPC-3430 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #3
12002043	40000696	RB3TBMEC	Z3PM	ALTO NIVEL RESERVIORIO BPC3430 LADO LIBRE	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVIORIO SELLOS BPC-3430 LADO LIBRE
12002561	40000913	RB3TBMEC	Z3PM	BPC 3430 ALTO NIVEL DE RESERVIORIOS	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVIORIO SELLOS BPC-3430 LADO ACOPLA
12002859	40001053	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3430. ALTO NIVEL RESERVIORIOS	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3430
12003085	40001171	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3430. FUGA ACEITE LADO ACOPLA	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	BPC-3430 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #3
12003669	40001446	RB3TBMEC	Z3PM	BPC3430 ALTO NIVEL RESERVIORIOS	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVIORIO SELLOS BPC-3430 LADO ACOPLA
13000225	40001684	RB3TBMEC	Z3PM	Cambio Sellos laberinto BPC 34030	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	BPC-3430 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #3
12004247	40001785	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3430. ALTO NIVEL RESERVIORIOS	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3430
14000343	40001808	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3430.ALTO NIVEL DE LIQUIDO BARRERA	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3430
14000363	40001837	RB3TBMEC	Z3PM	BPC3430 ALTO NIVEL DE RESERVIORIOS	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVIORIO SELLOS BPC-3430 LADO ACOPLA
14000372	40001846	RB3TBMEC	Z3PM	ALTO NIVEL RESERVIORIO BPC3430	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVIORIO DEL LUBE OIL SYSTEM BPC-3430
12004445	40001870	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3430. ALTO NIVEL RESERVIORIO LADO LIB	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVIORIO SELLOS BPC-3430 LADO LIBRE
14000480	40002004	RB3TBMEC	Z3PM	SISTEMA LUBRICACION UND BOMBEO BPC-3430	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	RESERVIORIO DEL LUBE OIL SYSTEM BPC-3430
12002436	30001378	RB3TBLE	Z2PM	FUGA DE ACEITE LUBRICANTE MOTOR BPC 3430	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	AGRUPA RDTDS CHUMACER BOMBA Y MOTOR UND#3
14000390	30002566	RB3TBLE	Z2PM	CBM-TI AJUSTAR CONEXIONES - CAMBIO TERMI	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	BPC-3430 MOT ELECTR 3500HP 3581RPM UN#3
12003360	40001289	RB3TBLE	Z3PM	MOV-3432 CORRECCION FUGA DE ACEITE BPC-3	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	MOV-3432 ACT ELECTRICO V DESC BPC-3430
14000346	40001820	RB3TBLE	Z3PM	FUGA ACEITE BPC-3430 MOT ELECTR 3500HP	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	BPC-3430 MOT ELECTR 3500HP 3581RPM UN#3
14000036	40000676	RB3TBLE	Z3PM	BPC-3430 CBM PUNTO CALIENTE TERMOGRAFIA	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	BPC-3430 MOT ELECTR 3500HP 3581RPM UN#3
12000069	30000045	RB3TBCON	Z2PM	Cambio Monit HMI Bentley N BPC-3430.	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	SISTEMA DE RODAMIENTO BPC-3440
12003607	300002025	RB3TBCON	Z2PM	BPC3430 PIERDE DISPONIBILIDAD EN ARRANQU	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3430
12001925	30001136	RB3TBCON	Z2PM	BPC-3430 Perdida disponibilidad	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	CBF 1 ARRANCADOR ELE 7.5HP ENFRIADOR#1 UN#3
12003666	40001697	RB3TBCON	Z3PM	BPC-3430 NO REGISTRA TIEMPO PRELUBRICACI	UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	ARRANCADOR ELE BOM LUBE SYST BPC-3430
12004546	300002641	RB3TBMEC	Z2PM	SISTEMA LUBRICACION UND BOMBEO BPC-3440	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	SISTEMA LUBRICACION UND BOMBEO BPC-3440
12003101	30001745	RB3TBMEC	Z2PM	BPC3440 FUGA SELLO INTERNO LADO ACOPLA	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3440
12003613	300002023	RB3TBMEC	Z2PM	ALTO NIVEL RESERVIORIOS BPC3440	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3440
12003635	300002034	RB3TBMEC	Z2PM	ALTO NIVEL RESERVIORIOS BPC3440	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3440
12003077	30001737	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3440. ALTO NIVEL RESERVIORIO LADO ACOP	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	RESERVIORIO SELLOS BPC-3440 LADO ACOPLA
12004435	300002539	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3440. ALTO NIVEL RESERVIORIO LADO LIB	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	RESERVIORIO SELLOS BPC-3440 LADO LIBRE
12003322	30001862	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3440 PRESENTA ALTO NIVEL RESERVIORIOS	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	RESERVIORIO SELLOS BPC-3440 LADO ACOPLA
12003982	300002225	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3440 FUGA ACEITE RODAMIENTO BOMBA	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	RESERVIORIO SELLOS BPC-3440 LADO ACOPLA
13000073	40000848	RB3TBMEC	Z3PM	Mtto PVO 500 horas bomba BPC-3440	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	RESERVIORIO DEL LUBE OIL SYSTEM BPC-3440
12003671	400011445	RB3TBMEC	Z3PM	BPC3440 ALTO NIVEL RESERVIORIOS	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	RESERVIORIO SELLOS BPC-3440 LADO ACOPLA
12002837	40001043	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3440. FUGA ACEITE LADO LIBRE MOTOR	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	BPC-3440 MOT ELECTR 3500HP 3581RPM UN#4
14000216	40001644	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3440 RESERVIORIO SATURADO/ALTO NIVEL	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	RESERVIORIO SELLOS BPC-3440 LADO ACOPLA
14000253	40001698	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3440 Mttto PVO de sistema sellado	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3440
14000231	40001634	RB3TBMEC	Z3PM	BPC-3440 CAMBIO DE SELLOS MECANICOS	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	SISTEMA DE SELLADO BOMBA BPC-3440
12002944	30001658	RB3TBLE	Z2PM	BPC-3440. FUGA ACEITE MOTOR LADO ACOPLA	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	BPC-3440 MOT ELECTR 3500HP 3581RPM UN#4
12002259	300001258	RB3TBLE	Z2PM	BPC-3440 PERDIDA DE CALIDAD INSTRUMENTOS	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3440
12002362	40000849	RB3TBLE	Z3PM	ALARMA VARIADOR DE VELOCIDAD BPC-3440	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	VFD-D VARIADOR VEL DV/DF M.PPAL BCP-3440
12001802	300001058	RB3TBCON	Z2PM	CORRECCION FALLA DISPONIBILIDAD BPC 3440	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3440
12002759	300001566	RB3TBCON	Z2PM	BPC3440 PS2 SWITCHE PRESION EN FALLA	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	P2-PSL-1-2-3 SW PRES LUBE SYST BPC-3440
12004033	300002233	RB3TBCON	Z2PM	BPC-3440 FALLA DE PERDIDA DISPONIBILIDAD	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	VFD-D VARIADOR VEL DV/DF M.PPAL BCP-3440
12003235	30001821	RB3TBCON	Z2PM	BPC-3440 FALLA DE ALTAS VIBRACIONES	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	ACOPLA MEC METASTREAM BOMBA-MOTOR UND#4
12001084	400000276	RB3TBCON	Z3PM	Mater BPC-3440 Sistema control PLC	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	VFD-D VARIADOR VEL DV/DF M.PPAL BCP-3440
12003338	40001292	RB3TBCON	Z3PM	BPC3440 PRESENTA FALLA DE COMUNICACIONES	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3440
12003087	40001167	RB3TBCON	Z3PM	BPC-3440. FALLA LSH RESERVIORIO LADO ACOP	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	P2-LS-1 SWT DE NIVEL LUBE SYST BPC-3440
12002691	40000977	RB3TBCON	Z3PM	BPC-3440 LINEA DE LUBRICACION MOTOR LA	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	SISTEMA DE RODAMIENTO BPC-3440
12004173	40001761	RB3TBCON	Z3PM	BPC-3440 FALLA SENSOR VIBRACION BENTLY	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	BPC-3440 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #4
12003667	40001481	RB3TBCON	Z3PM	BPC-3440 CAMBIO ALARMA BAJO NIVEL SELLOS	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	P2-LS-1 SWT DE NIVEL LUBE SYST BPC-3440
14000492	400002035	RB3TBCON	Z3PM	BPC-3440 AJUSTE O RPMs EN HMI	UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3440
12001922	30001121	RB3TBMEC	Z2PM	BPC-3450 CAMBIO VISOR Y LIQ. RESERVIORIO.	UND DE BOMBEO #5 BPC-3450	RESERVIORIO SELLOS BPC-3450 LADO ACOPLA
12001732	30001024	RB3TBLE	Z2PM	CORRECCION PUNTO CALIENTE CONEX BPC3450.	UND DE BOMBEO #5 BPC-3450	BPC-3450 MOT ELECTR 3500HP 3600RPM UN#5
12001761	40000522	RB3TBLE	Z3PM	REV. MOTOR ELE BPC3450 ALTA TEMPERATURA	UND DE BOMBEO #5 BPC-3450	AGRUPA RDTDS CHUMACER BOMBA Y MOTOR UND#5
12003893	300002279	RB3TBCON	Z2PM	VERIFICAR ALARMAS PRESENTES BPC3450	UND DE BOMBEO #5 BPC-3450	SISTEMA LUBRICACION UND BOMBEO BPC-3450
12001410	30000835	RB3TBCON	Z2PM	REVISION MENSAJE ALARMA BPC3450	UND DE BOMBEO #5 BPC-3450	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3450
12001958	30001135	RB3TBCON	Z2PM	PERDIDA DISPONIBILIDAD BPC 3450	UND DE BOMBEO #5 BPC-3450	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3450
12001422	30000841	RB3TBCON	Z2PM	LUBRICACION NO APAGA BPC 3450	UND DE BOMBEO #5 BPC-3450	SISTEMA LUBRICACION UND BOMBEO BPC-3450
12001742	300001025	RB3TBCON	Z2PM	falla del controlador PID bpc3450	UND DE BOMBEO #5 BPC-3450	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3450
12003986	300002234	RB3TBCON	Z2PM	BPC-3450. FALLA LECTURA FIT-3451	UND DE BOMBEO #5 BPC-3450	FIT-3451 TR FLUJO L/L DESCARGA BPC-3450
12003021	40001168	RB3TBCON	Z3PM	FALLA INSTRUMENTACION BPC-3450	UND DE BOMBEO #5 BPC-3450	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3450
14000491	400002036	RB3TBCON	Z3PM	BPC-3450 ERROR ESTADOS FACEPLATE	UND DE BOMBEO #5 BPC-3450	SISTEMA DE INSTRUMENTACION BPC-3450
12002123	400000741	RB3TBLE	Z3PM	MOV-3462 ACT VALVULA DESCARGA BPC-3460	UND DE BOMBEO #6 BPC-3460	MOV-3462 ACT VALVULA DESCARGA BPC-3460
12002164	400000758	RB3TBCON	Z3PM	BPC-3460. FALTA DE ELEMENTOS DE CONTROL	UND DE BOMBEO #6 BPC-3460	

Nota. La tabla muestra las fallas que se presentaron en los equipos.

La síntesis de la información recogida en la tabla de lista de fallas para establecer los modos de falla se observa en las siguientes tablas mostrando donde se produce la falla, la frecuencia y el modo de falla en el equipo y sub-equipo.

Tabla 6.

Modos de falla

Modos de Falla						Modos de Falla											
Equipo	Sub-Equipo	Tipo de falla	Ubicación	Modo de falla	Frecuencia	Equipo	Sub-Equipo	Tipo de falla	Ubicación	Modo de falla	Frecuencia						
BPC-3430	Bomba Centrifuga	Mecanica	Sistema de Sellado	El sistema presenta un alto nivel de Reservorio	7	BPC-3440	Bomba Centrifuga	Mecanica	Sistema de Sellado	Fuga de liquido lado acople	1						
				Cambio de liquido Reservorio	2					Alto nivel de reservorio	2						
				Limpieza de reservorio	1					Cambio de sellos PVO MTTO	1						
				Cambio de sellos	1					fuga rodamiento	1						
				Presenta altos niveles de reservorio en el lado acople bomba centrifuga-motor electrico generando fugas	8					Reservorio de sellos L.A	Alto nivel de reservorio	4					
			Fuga reservorio	2	Reservorios				Alto nivel de reservorio L.L	1							
	Sistema de lubricacion	Control	Reservorio LUBE. OIL SYSTEM	Presenta altos niveles de reservorio en el lado libre de la bomba centrifuga generando fugas	4		Motor Electrico	Electrico	Fuga de Aceite motor	fuga de aceite lado libre	1	Variador de Vel	Alarma de velocidad	1			
				No registra modo de falla	1					Fuga de Aceite motor	fuga de aceite lado Acople	1	Bomba Centrifuga	Control	Sistema de intrumentacion	perdida de calidad de instrumentos	1
				Altos niveles de liquido lubricante generando fugas	4					Sensor de vibracion	Alta vibracion Bomba	2					
	Motor Electrico	Electrico	Arranque bomba lub	No registra tiempo de lubricacion	1		Motor Electrico	Control	sistema de lubricacion motor electrico	Reservorios LA y LL	falla LSH	1					
				Terminales motor electrico	Desajuste conexión					1	Sistema de lubricacion	Control	Reservorios LA y LL	falla LSH	1		
				Motor electrico calentamiento de componentes	Punto caliente					1							
Fuga de Aceite	Fuga aceite lubricante motor	3															
Control	Arranque	Arranque	Perdida de disponibilidad en el arranque	2	Modos de Falla												
			Equipo						Modos de Falla								
			Equipo						Modos de Falla								
BPC-3420	Bomba Centrifuga	Mecanica	Sistema de Sellado	Fuga de liquido	1	BPC-3410	Bomba Centrifuga	Mecanica	Sistema de Sellado	Alto nivel de reservorios L.L y L.A	1						
				Cambio de sellos	1					Bajo nivel de reservorio	1						
				Reservorio de sellos L.A	Alto nivel de reservorio					2	Limpieza y cambio liquido reservorios	1					
				Cambio de sellos	1					CAMBIO LIQUIDO PVO MTTO	1						
				Reservorio de sellos L.L	Perdida de liquido por fuga					2	Alto nivel reservorios	1					
			Reparacion vastago	No registra modo de falla	1				fuga sello interno	1							
	Sistema de lubricacion	Control	Reservorio LUBE. OIL SYSTEM	Vibracion instrumento de apoyo	1		alto nivel lado acople	1									
				Reservorios LA y LL	Alto nivel de reservorio		3	Reservorio de Sellos L.L	alto nivel lado libre	1							
				Limpieza y cambio reservorios	1		cambio liquido	1									
	Bomba Centrifuga	Control	sistema de instrumentacion Bomba	Alta vibracion Bomba	4		cambio sellos	1									
				L descarga	Fuga producto		1	Drenaje	fuga linea descarga	1							
				Lado libre	fuga de aceite		1	Sistema de instrumentacion reservorios	Perdida de disponibilidad	3							
Motor Electrico	Electrico	Variador de Vel	falla limite de velocidad	1	transmisor de flujo	señal erronea de nivel	1										
			ventilador2	comunicaciones	1	Valvula de control	fuga de producto	1									
			Variador de Vel	Termografia por calentamiento	1	diferencial de presion	alarma Alta	1									
Modos de Falla						Modos de Falla											
Equipo						Equipo											
Equipo						Equipo											
BPC-3460	Bomba Centrifuga	Control	sistema de instrumentacion	Actuador	1	BPC-3450	Bomba Centrifuga	Control	Reservorio Sellos	Daño en el visor y cambio de liquido	2						
				falla de elementos de control	1					Error de alarmas	1						
Motor Electrico	Electrico	Chumacera bomb-motor	Motor electrico calentamiento de componentes	Punto caliente en conexión	1					Bomba Centrifuga	Control	sistema de instrumentacion	perdida de disponibilidad no apaga lubricacion	1			
													falla de controlador y lectura	3			
													Alta temperatura	1			
									Alta temperatura				1				
							Alta temperatura	1									
							Alta temperatura	1									

Nota. La tabla agrupa las fallas en la ubicación y frecuencias.

El equipo presenta una mala clasificación de algunos modos de fallas, resaltando el modo de falla catalogado como sistema de sellado en la descripción hace referencia al reservorio de los sellos y sus niveles de líquidos. La falla de reservorios en la especialidad mecánica es la que más frecuencia presenta en la mayoría de los equipos

3.5 Actividades de mantenimiento

Siguiendo los pasos sugeridos por la metodología de PMO, el paso 3, indica que se debe realizar una revisión de las tareas existentes en el plan de mantenimiento, se iniciara por el mantenimiento preventivo que se realizan en los equipos.

Estos mantenimientos se realizan bajo la condición del horómetro del equipo, es decir, cuando el equipo entra en operación y completa la cantidad de horas establecidas por el área de gestión de mantenimiento que establece las actividades, este será intervenido por un operario de la especialidad que se programa para ejecutar la actividad de mantenimiento.

Tabla 7.
Actividades de mantenimiento específicos de los equipos

Etiquetas de fila	Cuenta de Denominación de la ubicación técnica
UND DE BOMBEO #5 BPC-3450	6
RB3TBELE	4
RB3TBMEC	2
UND DE BOMBEO #6 BPC-3460	6
RB3TBELE	4
RB3TBMEC	2
UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	23
RB3TBCON	10
RB3TBELE	8
RB3TBMEC	5
UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	23
RB3TBCON	10
RB3TBELE	8
RB3TBMEC	5
UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	23
RB3TBCON	10
RB3TBELE	8
RB3TBMEC	5
UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	23
RB3TBCON	10
RB3TBELE	8
RB3TBMEC	5
Total General	104

Nota. La tabla muestra que para los equipos conformado por la fase 2 cuentan con 23 actividades de mantenimiento preventivo distribuidos en las 3 especialidades, para los equipos de fase 2 se cuenta con 6 actividades repartidos en 2 especialidades. Teniendo en cuenta que todas las bombas presentan la misma cantidad de actividades se presentaran a continuación las 23 actividades realizadas en los equipos.

Tabla 8.
Lista de actividades específicas

Descripción posición de mantenimiento	Equipo	Pto.tbjo.responsable	Ultima orden	Denominación de objeto técnico	Denominación de la ubicación técnica
RB-PVO-V Cont Presion/Flujo Bom BPC-3410		RB3TBCON	200049464		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO-Indicad Temp Lube System BPC-3410		RB3TBCON	200049467		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO-Indic Presion Lube Syste BPC-3410		RB3TBCON	200049466		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO RTDs Chumaceras Mot-Bom BPC-3410		RB3TBCON	200049471		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO- Tr Temp Un Bombeo BPC-3410		RB3TBCON	200049461		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO- Tr Presion Un Bomb BPC-3410		RB3TBCON	200049460		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO-Sw Presion Dif Lube Syst BPC-3410		RB3TBCON	200049462		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO-Sw de Nivel Lube System BPC-3410		RB3TBCON	200049465		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO-Sw Presion Dif Lube Syst BPC-3410		RB3TBCON	200049468		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO-Tr de Flujo Unid Bombeo BPC-3410		RB3TBCON	200049463		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO Variad Veloc. Vfd-A 4160V Bpc-3410		RB3TBELE	200049457		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO Interruptor (+L06) 4160V BPC-3410		RB3TBELE	200049455		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO Arrancad Ele Mot Bom Lub Bpc-3410		RB3TBELE	200039364		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO Arranc Ele Mot Refrig de Mot Pal		RB3TBELE	200039360		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO MOT ELE 3500HP UND BOM BPC-3410		RB3TBELE	200049456		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO Mot Ele de Bomba Lubric Bpc-3410		RB3TBELE	200039363		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO Mot 7.5HP Refrig Mot Pal BPC-3410		RB3TBELE	200039359		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO Actuador Mov Suc-Desc BPC-3410		RB3TBELE	200045853		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO Val Comp Succ-Desc Bpc-3410		RB3TBMEC	200045854		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO Sistema Sellado Bomba Bpc-3410		RB3TBMEC	200049459		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO Sis Lubricacion U Bombeo Bpc-3410		RB3TBMEC	200049470		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO Bom Centrifuga#1 Ppal Bpc-3410		RB3TBMEC	200017662		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410
RB-PVO Intercamb Calor Lube Sis Bpc-3410		RB3TBMEC	200049469		UND DE BOMBEO#1 BPC-3410

Nota. La tabla 8 muestra la posición donde se realiza la actividad preventiva en la columna de descripción de la posición se toma de ejemplo las actividades del equipo BPC-3410.

3.6 Gestión del mantenimiento

La forma de administrar correctamente y de forma eficiente el mantenimiento se lleva a cabo con la incorporación de software, en la práctica del mantenimiento esto permite el registro y control de actividades, manejo de inventario, manejo de personal, localización de los puestos de trabajos para intervención. ODL maneja el sistema SAP ya que la potencialidad de esta herramienta puede integrar todos los procesos de la organización y la ejecución del mantenimiento está catalogado como uno de los procesos de valor de la compañía.

3.6.1 Sistema SAP

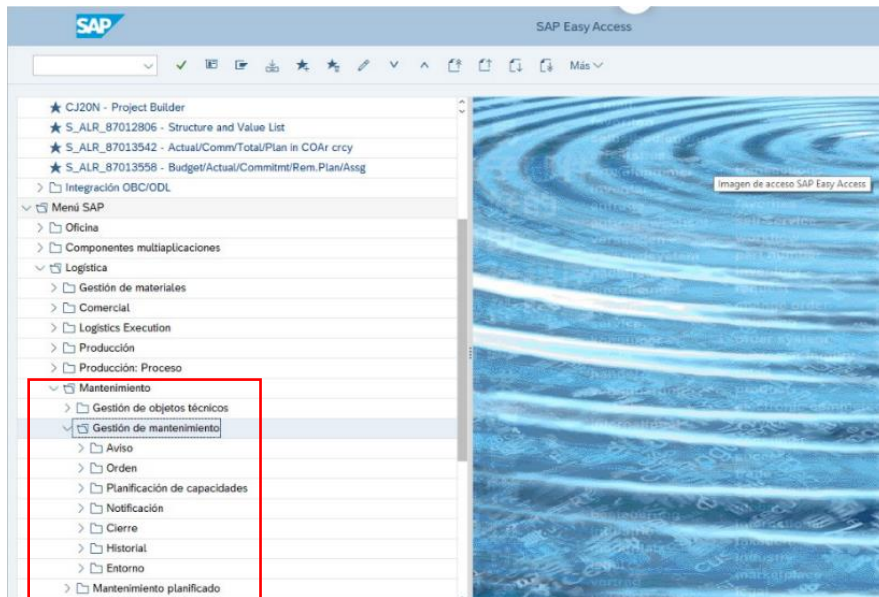
SAP (Sistema de Aplicaciones y Productos) este software maneja todos los procesos pertinentes a la compañía para efectos de estudios de este proyecto se centrará en el área de mantenimiento, el software proporciona reportes de:

- ✓ Datos de las actividades preventivas, correctivas.
- ✓ Avisos de mantenimientos.
- ✓ Ordenes de trabajos que son generadas para los operarios.
- ✓ Información del stand de repuesto, material requerido.
- ✓ Informe general después de realizada la actividad respectiva.
- ✓ Costos de la orden de mantenimiento

La imagen mostrada a continuación muestra los diferentes procesos que maneja la compañía en el software SAP donde la casilla seleccionada en rojo muestra todas las acciones pertinentes en el área de mantenimiento. Los datos generados por los equipos se denominan avisos y las actividades respectivas de mantenimiento denominadas órdenes.

Figura 10.

Sistema SAP



Nota. La figura muestra el esquema del software. Suministrado por:
ODL (Gestión de Activos)

La siguiente imagen muestra las ventanas donde el operario puede interactuar o visualizar las actividades por el estado del aviso ya sean pendientes, realizadas o en ejecución seleccionado con el color naranja, para generar una búsqueda exacta es necesario tener la información del aviso o el número de orden seleccionada con el color verde, si no se cuenta con estos datos la búsqueda se vuelve más extensa ya que se tendrá que generar la información por equipo, ubicación, clase de aviso o entre otros filtros seleccionado con el color amarillo y los datos seleccionados con el color azul sirven para la gestión de la orden de mantenimiento donde el operario llenara los campos seleccionados

Figura 11.
Operaciones SAP

The screenshot shows the SAP interface for 'Visualizar avisos: Selección avisos'. The top navigation bar includes the SAP logo and a title. Below the navigation bar, there are several icons and a 'Cancelar Más' button. The main content area is divided into four sections:

- Status del aviso (orange border):** Contains radio buttons for 'Pendiente', 'Pospuesto', 'En tratam.', and 'concluido'. There is also a search field labeled 'Esquema se' and a 'Dir.' button.
- Selección de aviso (yellow border):** A table with columns for 'Aviso', 'Clase de aviso', 'Ubicación técnica', 'Equipo', 'Material', 'Número de serie', 'Dat.adic.disposit.', and 'Orden'. Each row has input fields and a search icon.
- Orden (green border):** Contains a search field for 'Orden', a date field 'Fecha de aviso' with the value '25.07.2020', a time field 'hst' with the value '23.10.2020', and an 'Interloc' dropdown menu.
- Datos generales/datos de gestión (blue border):** A table with columns for 'Descripción', 'Creado por', 'Creado el', 'Hora del aviso', 'Fecha de referencia', 'Codificación', 'Cód.codificación', and 'Prioridad'. Each row has input fields and a search icon.

Nota. La figura muestra las posibilidades de interacción del operario.
Suministrado por: ODL (Gestión de Activos)

Figura 12.

Visualización de la ubicación

Visualizar ubicación técnica: Lista de estructura

Nivel hacia arriba Detalles completos

Ubicación técnica: STL Válido de: 29.10.2020

Denominación: SISTEMA DE TRANSPORTE ODL

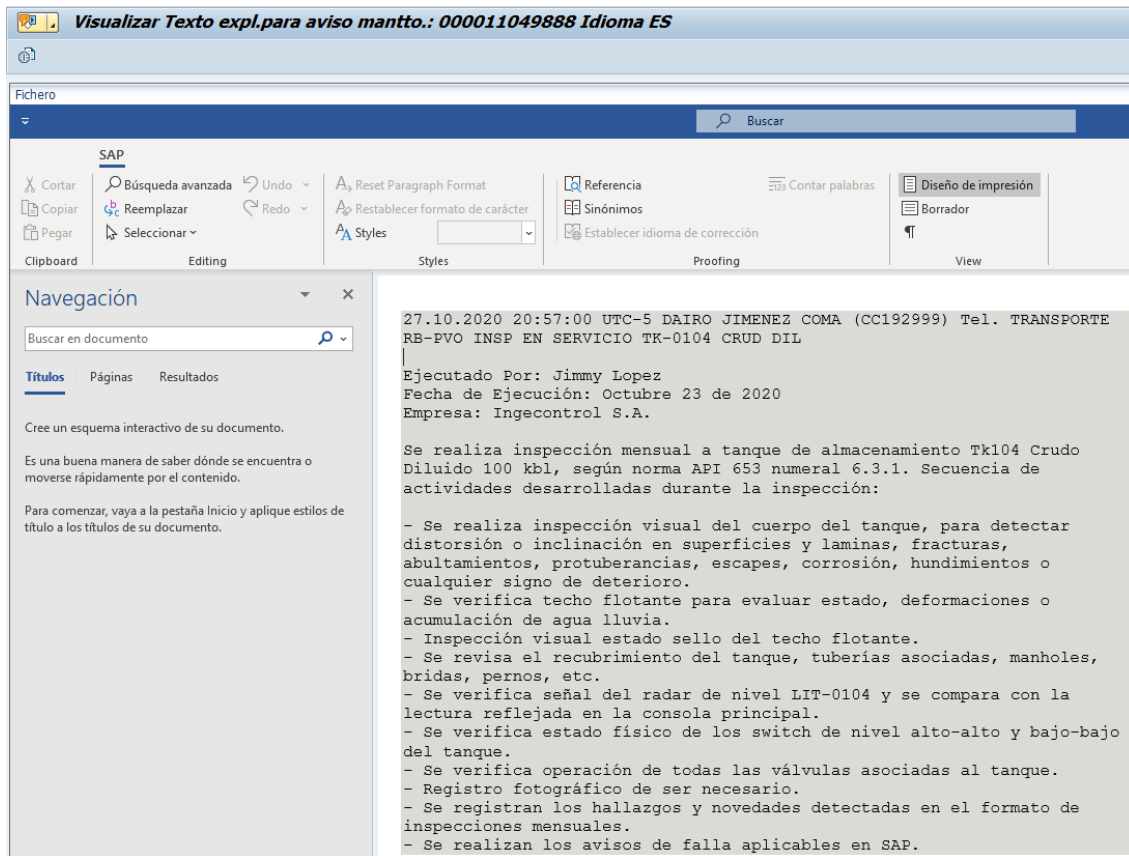
STL-PRUB	PLANTA RUBIALES
STL-PRUB-SALM	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO
STL-PRUB-SALM-ALMH	ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS
STL-PRUB-SALM-ALMH-TKAL_01	TANQUE ALMAC/MNTO CRUDO DIL TK-0104

• 100000517	AG-0103 ARRANC ELE AGITADOR#1 TK-0104
• 100000518	AG-0104 ARRANC ELEC AGITADOR#2 TK-0104
• 100000782	MOV-0107 ACT V ENTRADA CRUDO DE MEZCL
• 100000917	MOV-0128 ACT ELE V ENTRADA CR DIL DESC/D
• 100001212	AG-0103 MOT ELE 20HP AGITADOR#1 TK-0104
• 100001213	AG-0104 MOT ELE 20HP AGITADOR#2 TK-0104
• 100002503	ZS-103 IND POSICION VALV SALIDA TK-0104
• 100004185	PVV-0101 VALVULA PRESION Y VACIO TK-0104
• 100004186	PV-0102 VALVULA PRESION Y VACIO TK-0104
• 100004209	PV-0103 VALVULA PRESION Y VACIO TK-0104
• 100004210	PV-0104 VALVULA PRESION Y VACIO TK-0104
• 100004211	PV-0105 VALVULA PRESION Y VACIO TK-0104
• 100004212	PV-0106 VALVULA PRESION Y VACIO TK-0104
• 100004345	AG-0103 AGITAD#1 MEZ/DOR CRUDO TK-0104
• 100004346	AG-0104 AGITAD#2 MEZ/DOR CRUDO TK-0104
• 100004530	V CHEQUE 16" ENTRADA CRUDO DIL TK-0104
• 100004531	V CHEQUE ENTRADA DEL TK RELEVO,TK-0104
• 100004532	V CHEQUE ENTRADA DEL TK RELEVO,TK-0104
• 100004533	V CHEQUE ENTRADA DE B. RC/LACION,TK-0104
• 100004534	V CHEQUE ENTRADA DE TK SUMIDERO, TK-0104
• 100004535	V CHEQUE 30"X150 SALIDA CRUDO DE TK-0104
• 100004557	V CHEQUE ENTRADA CRUDO DILUIDO TK-0104
• 100004772	V CHEQUE 8X150 ENTRADA CRUDO DIL DESC/D
• 100005507	MOV-0128 V BOLA 8X150 ENTRAD CR DIL DESC
• 100005622	V COMP 16"X150 ENTRADA CR DILUIDO A TK

Nota. La figura 12 muestra la estructura(taxonomía) de la ubicación donde se genera la orden o el aviso de mantenimiento señalado por un recuadro gris donde se encuentra la planta, el sistema, el quipo y los componentes. Suministrado por: ODL (Gestión de Activos)

Figura 13.

Orden de mantenimiento



Nota. La figura 13 muestra el texto explicativo de la orden de mantenimiento donde se desarrolla el paso a paso de la actividad este texto se puede descargar en formato Word o Excel. Suministrado por: ODL (Gestión de Activos)

3.6.2 Prioridad de mantenimiento

La prioridad de mantenimiento se asigna con el fin de ejecutar el mantenimiento lo más pronto posible por lo general esta prioridad es asignada a los mantenimientos correctivos ya que generan paradas no programadas en el equipo ODL tiene las siguientes descripciones:

- Baja
- Media
- Alta
- Muy Alta

Figura 14.

Prioridades de mantenimiento

	1
Z1PM	1
Alta	404
Z1PM	404
Total general	405
	40
Alta	56
Z2PM	36
Z3PM	20
Baja	2
Z3PM	2
Media	28
Z2PM	10
Z3PM	18
Muy alta	4
Z2PM	3
Z3PM	1
Total general	130

Nota. La figura 14 muestra que las actividades preventivas al ser periódicas programadas muestran una prioridad alta, mientras que las correctivas cuentan con más distribución de las prioridades, por esta razón es necesario capacitar al operario para que las actividades programadas se desarrollen con normalidad mientras que las actividades correctivas tengan más relevancia al asignarle una prioridad.

3.6.3 Indicadores de mantenimiento ODL

Generar indicadores permite evaluar el proceso o la evolución de aspectos importantes de mantenimiento, estos datos son importantes al momento de tomar decisiones, la selección de los indicadores adecuados permite la evolución del departamento de mantenimiento, las categorías que debe involucrar estos indicadores están relacionadas son:

- Personal y rendimiento
- Ordenes de trabajo y su gestión
- Costos de mantenimiento
- Confiabilidad
- Disponibilidad
- Repuestos y consumibles.

Los indicadores que maneja ODL para el departamento de mantenimiento son los siguientes:

Figura 15.
Tablero de indicadores de mantenimiento



Nota. La figura muestra los indicadores que debe diligenciar el operario. Suministrado por: ODL (Gestión de Activos)

3.7 Análisis del diagnostico

La empresa tiene la filosofía del mantenimiento basada en 80/20, 80 % mantenimiento preventivo y 20% mantenimiento correctivo, en general el sistema de bombas principales presenta un Pareto 76/24 realizando un estudio de las fases que integran este sistema en muchos de sus equipos no se ve reflejada esta filosofía, como primera instancia se maneja una cantidad importante de mantenimiento preventivos en los equipos que conforman la fase1 del sistema principal de bombeo teniendo en cuenta que en el estudio de criticidad fueron equipos estables la reducción de actividades de mantenimiento preventivos en esta fase es una opción clara de optimización debido que en el transcurso del periodo estudiado no presentaron fallas frecuentes en las especialidades donde se realizaron las actividades, por otro lado se ve un descuido en la especialidad de control donde se presentaron fallas frecuentes y no se realizó ninguna actividad preventiva dando lugar a la necesidad de agregar actividades que puedan reducir las fallas que se generaron.

Los equipos conformados por la fase 2 cuentan con un alto índice de fallas y frecuencias, el ajuste de actividades preventivas en los tiempos adecuados para mitigar la falla mejoraría considerablemente la disponibilidad de los equipos y en general la fase 2 que es la fase que permanece operativa, mejorar las actividades generan la reducción del mantenimiento correctivo, dado que el mantenimiento correctivo para la falla mecánica es el más costoso del sistema.

El equipo con menor disponibilidad es el BPC-3430 ya que como se muestra en la gráfica 6 presenta una mayor cantidad de fallas en general, pero en la especialidad mecánica es el equipo más afectado.

Realizando un estudio del listado de fallas presentados en el sistema se establece la tabla de los modos de falla esta tabla pone en evidencias varias inconsistencias como actividades preventivas cuando resulta una falla también en la explicación del texto breve la información suministrada por el operario en ocasiones explica la falla y en otras la acción para corregir la falla presente, estos modos de fallas reflejan la frecuencia con que esta ocurre y es necesario una capacitación del personal para para asignar una clasificación adecuada las fallas ya que en algunos equipos la descripción de las fallas

no es claras. Esto mejoraría considerablemente al momento de realizar intervenciones y poder mejorar las roturas de trabajo.

El sistema de gestión de mantenimiento asigna textos de prioridad con el fin de realizar una intervención precisa y de calidad. Asignar prioridades altas a mantenimientos preventivos solo genera una mala lectura de la gestión de mantenimiento, por lo tanto, la prioridad de mantenimiento de las actividades preventivas no debería de estas asignadas como altas ya que estas son actividades periódicas programadas y el operario debe atenderlas y asumirlas como una actividad fundamental, mientras que los mantenimientos correctivos deben de asignarse con prioridades que si afectan directamente la operación.

Los indicadores son la forma adecuada de hacer seguimientos a las mejoras propuestas integrar más indicadores que promuevan la mejora continua incentiva y motiva al operario que es el que está en contacto directo con el equipo al progresar y mejorar las actividades que realiza, por esta razón se priorizara la integración de nuevos indicadores que el operario debe atender.

4. OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE BOMBAS PRINCIPALES.

4.1 Estudio de los modos de falla.

Para realizar el análisis de los modos de fallas que se presentan en el sistema de bombas principales es necesario unificar los modos de fallas relacionando la frecuencia que se genera en el sistema y la reclasificación de estas fallas, la asignación de un código que permita la identificación de la falla que afecta el equipo hace efectiva la interpretación de lo que ocurre en el equipo.

Tabla 9.

Optimización fallas

Sub-Equipo	Tipo de falla	Modos de falla			
		Parte	Efecto	Código	Frecuencia
Bomba Centrifuga	Mecánica	Sistema de Sellos	Cambio de sellos mecanicos	CS01	5
			Taponamiento	F01	1
			Retencion de material particulado	RM01	1
			Fuga de liquido	FL01	9
		Reservorio Sellos	Alto nivel liquido	LL01	30
			Bajo nivel liquido	LL02	1
			Cambio de liquido	CL01	6
		Rodamientos	PVO	NA	2
			Cambio de rodamientos	CR01	
			Fuga de liquido	FL01	1
		Valvula descarga	Reparacion vastago	RV01	2
			Valvula de compuerta	VC01	1
			Falla valvula de compuerta	VC01	1
Electrica		Fuga de producto	FL03	1	
		Falla de actuador	FA01	1	
Sistema de Lubricacion	Mecánica	Reservorio	Alto nivel liquido	LL01	3
			Cambio liquido	CL01	1
			Fuga de liquido	FL02	1
Motor Electrico	Electrica	Linea de lubricacion	Fuga de liquido	FL02	8
		Variador de velocidad	Falla limite de velocidad	LV01	2
		Puntos Calientes	Altas temperaturas	AT01	3
Sistema de Instrumentacion	Control		Perdida de Disponibilidad	PD01	9
			Error de lectura	EL01	14
		Sensor de vibracion	SV01	4	
		Mensajes de alarma	MA01	4	

Nota. La tabla muestra una codificación de las fallas según los efectos que causa en los equipos. Elaboración Propia

Tabla 10.

Descripción del efecto de falla

Codigo	Descripcion del efecto
CS01	La falla se presenta cuando se produce un desgaste en el sello mecanico y este pierde parte de sus características como evitar fugas de fluidos, contener la presión y evitar el ingreso de partículas contaminantes
AT01	Es una falla presente en el sistema cuando el sistema de lubricación no logra reducir las temperaturas del sistema o se establece una mala conexión de los instrumentos
CL01	La falla de reservorios se presenta cuando el sistema de reservorios no está aplicando la lubricación en los puntos del sistema adecuados debido al desfase del sello
EL01	Los errores de lectura se presentan cuando el sistema de control presenta una falla en la comunicación de los instrumentos, dando señales o medidas erróneas que presentan alarmas en el sistema
FA01	La falla en el actuador se presenta cuando este no ejecuta las acciones preestablecidas en la válvula
FL01	Se presenta una fuga en el sistema de sellos por desgaste de elementos blandos
FL02	La fuga de líquidos lubricantes se presenta cuando hay una mala conexión en la línea de lubricación o los puntos de lubricación se encuentran desgastados
FL03	Hace referencia a la fuga del producto debido a desgaste de elementos blandos en la válvula de descarga
LL01	El nivel de líquido alto se presenta cuando el reservorio de los sellos tiene más volumen que el establecido
LL02	Se presenta un Bajo nivel de líquido lubricante en el sistema de reservorios
MA01	Los mensajes de alarma erróneas se presentan por falla en la comunicación en los equipos de instrumentación
PD01	El equipo presenta una falla que produce la desconexión inmediata del equipo, sin la posibilidad de su uso
RV01	La falla se presenta en la válvula cuando no se genera un movimiento de cierre adecuado
SV01	Los sensores de vibración captan señales en el equipo más altas que los parámetros establecidos
VC01	La válvula de compuerta presenta fallas en el actuador
FI01	El interruptor de velocidad presenta averías
RM01	El sistema retiene material particulado en los fluidos.

Nota. La tabla anterior muestra una descripción breve de por qué se producen las diferentes fallas en el sistema y el código es la forma de identificar el efecto que se genera para poder repararla, este efecto que produce la falla genera una consecuencia la cual se ve reflejada operativamente, ambiental o en la seguridad. Elaboración propia

4.2 Efecto de falla

Se busca describir que ocurre en la operación cuando se presenta un modo de fallas con el fin de evidenciar que ocurrió, si representa una amenaza a la seguridad, afecta la producción o la operación, genera daños físicos, como proceder para reparar las fallas.

El análisis de modos de falla y efectos FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) es una metodología que permite prevenir fallas y analizar el riesgo que se produce identificando la causa y efecto con el fin de determinar la acción para depurar la falla.[9]

Tabla 11.

Efecto y consecuencia de la falla

Sub-Equipo	Parte	Modo de falla	Efecto	Consecuencia de falla			
				Seg	Amb	Ope	
Bomba Centrifuga	Sistema de Sellos	Desgaste de los Sellos	CS01			x	
			LL01	x			
			LL02	x			
			FL01		x		
			CL01			x	
	RM01	x					
	Rodamientos	Desgaste de rodamientos	FL01		x		
			CR01			x	
			MA01	x			
			SV01	x			
			AT01	x			
	Valvula descarga	Desgaste de elementos blandos	CL01			x	
			RV01			x	
			VC01	x			
			FL02		x		
FA01					x		
Sistema de Lubricación	Reservorios	No registra el tiempo de lubricación	MA01	x			
			EL01	x			
		Mala conexión en la línea de lubricación	LL01	x			
			LL02	x			
			FL01		x		
	Desgaste en los puntos de lubricación	EL01	x				
		MA01	x				
	Motor Electrico	Variador de Velocidad	Falla de comunicación	LV01			x
		Rodamientos	Desgaste de rodamientos	MA01	x		
				FL01		x	
CR01						x	
MA01				x			
SV01				x			
Sistema de Sellos		Desgaste de los Sellos	AT01	x			
			CL01			x	
			CS01			x	
			LL01	x			
	LL02		x				
Sistema de Instrumentación	Falla de comunicación	FL01		x			
		CL01			x		
		FL01		x			
		RM01	x				
		PD01			x		
			EL01	x			
			MA01	x			
			SV01	x			

Nota. La tabla 11 muestra cómo se establece las consecuencias y la codificación de los efectos. Elaboración propia

4.3 Indicador de mantenimiento

Los indicadores de mantenimiento sirven para la gestión y evaluación de factores importantes en la operación y el proceso de los sistemas un indicador importante para la evaluación de las fallas y el tiempo en el que se deben planificar sus mantenimientos es el indicador MTBF (Mean Time Between Failures) en este caso se estudiara el tiempo en que una misma falla ocurre y se cruzara con la información suministrada para la ejecución de mantenimientos preventivos.[10]

Para efectos prácticos se evaluará de forma lineal dando el primer acercamiento a este tipo de estudio teniendo la siguiente formula

$$\text{Tiempo medio entre falla anual} = \frac{\text{periodo evaluado}}{\text{número de fallas semejantes presentadas}} * 720 \text{ horas}$$

Tabla 12.

Tiempo medio entre falla MTBF

Codigo	MTBF PROM HORAS
AT01	7200
CL01	5580
CS01	7200
EL01	5962
F01	7200
FA01	8640
FL01	4860
FL02	3852
FL03	8640
LL01	1277
LL02	6480
MA01	5940
PD01	4860
RV01	8640
SV01	3240
VC01	8640
FI01	NA

Nota. La tabla muestra el promedio en horas de que ocurra la misma falla de un equipo en el periodo de un año. Elaboración propia

4.4 Revisión de tareas existentes

La siguiente plantilla representa una lista de chequeo que permite la verificación de actividades preventivas y correctivas para cada código asignado donde se tendrá en cuenta el tiempo establecido por la rutina de mantenimiento preventivo ejecutado por la empresa y el tiempo de falla promedio en que se genera.

Tabla 13.

Lista check

Codigo	MTBF PROM HORAS	lista check			N°. ACTIVIDADES POR AÑO	
		Codigo Mtt Preventivo	PERIODICIDAD	MTT Correctivo	mtt PVO	Horas
AT01	7200	5471	4000	SI	2	8640
		55477		SI	2	
CL01	5580	5485	2000	SI	4	
CS01	7200	5464	8640	SI	1	
EL01	5962	N/A		SI	0	
F01	7200	5486	2000	SI	4	
FA01	8640	5463	180/360	SI	2	
FL01	4860	5487	8000	SI	1	
FL02	3852	5469	500	SI	17	
FL03	8640	5464	8640	SI	1	
LL01	1277	5469	500	SI	17	
LL02	6480	5469	500	SI		
MA01	5940	N/A		SI	0	
PD01	4860	5467	2000/8000	SI	2	
		5466	2000/8000/24000		5	
RV01	8640	5463	180/360 DIAS	SI	2	
SV01	3240	5468	1600	SI	5	
VC01	8640	5463	180/360 DIAS	SI	2	
FI01	NA	5465	2000/4000/16000/	SI	5	
TOTAL					70	

Nota. La tabla enlista los códigos de mantenimiento con el fin de evaluar si la falla que se produce cuenta con una actividad que evite el paro del equipo. Elaboración propia

La tabla 13 refleja el código de mantenimiento preventivo y el periodo con el que se realiza la actividad cuando el equipo entra en operación y el horómetro llega a determinadas horas de operación, con estos datos se puede obtener el número de veces que se ejecuta la actividad por año y la frecuencia con la que se produce una falla de ese tipo. Para los códigos EL01 Y MA01 no se encuentra una actividad preventiva que pueda mitigar las fallas presentes.

Considerando un margen de seguridad de 80% con respecto al tiempo en el que puede ocurrir la falla y que se realice la actividad antes de que el equipo falle se puede disminuir las rutinas de trabajos preventivos sin poner en riesgo la integridad del equipo o la

operación, sin embargo, hay actividades de mantenimiento que cuya periodicidad no se pueden cambiar ya que son actividades de carácter operacional y por esta razón se deben realizar en los tiempos establecidos. Por otra parte, el código FI01 no presenta ningún tiempo medio entre falla, pero se aplica un mantenimiento preventivo alto, por consiguiente, se presenta una reducción de la actividad.

Tabla 14.

Mantenimientos PVO optimizados

		lista chek				
Codigo	MTBF PROM HORAS	Codigo Mtt Preventivo	PERIODICIDAD 80% MTBF	MTT Correctivo	N°. ACTIVIDADES POR AÑO	Horas
					mtt PVO	8640
AT01	7200	5471	5760	SI	1	
		5477		SI	1	
CL01	5580	5485	4464	SI	2	
CS01	7200	5464	360 DIAS	SI	1	
EL01	5961,6	N/A		SI	1	
F01	7200	5486	5760	SI	1	
FA01	8640	5463	6912	SI	1	
FL01	4860	5487	3888	SI	2	
FL02	3852	5469	500	SI	17	
FL03	8640	5464	360 DIAS	SI	1	
LL01	1277	5469	500	SI	17	
LL02	6480	5469		SI		
MA01	5940	N/A		SI	1	
		5467		SI	2	
PD01	4860	5466	3888	SI	2	
RV01	8640	5463	6912	SI	1	
SV01	3240	5468	2592	SI	3	
VC01	8640	5463	6912	SI	1	
FI01	NA	5465	4000	SI	2	
		TOTAL			57	

Nota. La tabla muestra los cambios de la periodicidad del mantenimiento preventivo. Elaboración propia.

En la tabla 14 se observa que las casillas de color verde son las actividades que no puede cambiar los periodos ya que son directos a la operación del equipo. Con el ajuste de la periodicidad del mantenimiento preventivo y ajustando el horómetro de los equipos a la periodicidad establecida en la tabla se permite atender los equipos en tiempos más proporcionales a la falla para poder mitigarla y se puede disminuir en un 24% las actividades preventivas.

Pasando a ejecutar 57 actividades preventivas en promedio por equipo, optimizando 15 actividades por año.

Tabla 15.

Mejora reflejada en el equipo

Equipo	Código	N° de actividades anual	Horas maquina parada anual	Horas de atencion operario anual	N° de operarios	N° de actividades anual Optimizada	Optimizacion de Tiempo parada anual	Optimizacion de Tiempo x Operario anual
UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	5463	5	25	21	2	3	15	12,6
	5485	5	12	7,5	1	2	4,8	3
	5465	5	16,5	11	2	2	6,6	4,4
	5466	5	30,5	26,5	2	2	12,2	10,6
	5487	1	3,3	2,2	2	2	6,6	4,4
	5486	5	12	7,5	2	1	2,4	1,5
	5471	2	10,4	8	2	1	5,2	4
	5467	5	38	32,5	2	2	15,2	13
	5477	2	6,4	4	2	1	3,2	2
total		35	154,1	120,2		16	71,2	55,5

Nota. La tabla 15 muestra el tiempo que la maquina dura detenida en el año comparando las actividades realizadas vs las actividades optimizadas

En verde se observa las actividades optimizadas en forma de reducción y en amarillo la tarea optimizada en forma de adición, ya que la actividad con código 5487 no está atendiendo la falla adecuadamente.

Con la optimización disminuye un 54% el tiempo que dura la maquina parada anualmente con respecto al número de actividades de mantenimiento optimizadas, además se disminuye las horas de intervención del operario en la maquina en un 54% teniendo en cuenta que la mayoría de las actividades de mantenimiento necesita por lo menos 2 operarios.

4.5 Descripción de actividades

A Continuación, se mostrará la descripción o lista de acción de cada actividad preventiva para los equipos de bombeo del sistema principal donde se mostrará la ubicación de la actividad, el código generado por el sistema a la fecha, la especialidad y la periodicidad que es el tiempo que debe marcar el horómetro del equipo cuando está en operación y este sea intervenido. Estas actividades se gestionan mediante el software SAP.

Tabla 16-A.

Lista de acciones por actividad

Actividad	TR PRESION PROCESO	Periodicidad en horas	4000
Especialidad	CON		
Codigo	5470		
Lista de acciones			
1	Cerrar válvula de corte de toma de proceso		
2	Realizar despresurización de cámara de medición del transmisor por medio del tapón de venteo del manifold del transmisor, verificar presión 0 psig en el		
3	Desmontar el tubing de conexión a proceso, y realizar limpieza interna y externa del tubing con desengrasante o diésel.		
4	conectar el calibrador de procesos o el hand help y realizar una calibración de 0 de transmisor si se requiere		
5	montar la bomba de generación de presión y el patrón de calibración a la entrada de presión del transmisor		
6	realizar verificación del rango de operación del transmisor de forma ascendente y descendente, verificando y tomando registro en 0%, 15%, 50%, 75% y 100% del rango del transmisor, y confirmar indicación en HMI.		
7	realizar certificado de verificación de calibración del equipo y colocar placa de calibración en el instrumento		
8	realizar limpieza de la carcasa del equipo.		
9	realizar verificación de conexiónado, y limpieza de los contactos, verificar que el cable de señal no se encuentre mordido y que los conectores estén en buen estado.		
10	verificar que el instrumento se encuentre correctamente aterrizado, si no es así corregir		
11	montar nuevamente el tubing de conexión a proceso.		
12	realizar apertura de válvula de toma de proceso de forma lenta, y realizar purga de instrumento.		
13	realizar entrega del instrumento a operaciones		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el transmisor de presión proceso cuando el horómetro del equipo llega a 4000 horas.

Tabla 16-B.

Lista de acciones por actividad

Actividad	TR TEMPERATURA PROCESO	Periodicidad en horas	4000
Especialidad	CON		
Codigo	5471		
Lista de acciones			
1	Desenergizar transmisor		
2	Desmontar transmisor y elemento primario (RTD, termocupla, termistor)		
3	montar y conectar el conjunto transmisor elemento primario en el bloque seco o horno patrón de temperatura		
4	realizar verificación del rango de operación del transmisor de forma ascendente y descendente, verificando y tomando registro en 0%, 15%, 50%, 75% y 100% del rango del transmisor		
5	realizar certificado de verificación de calibración del equipo y colocar placa de calibración en el instrumento		
6	realizar limpieza de la carcasa del equipo y montaje del conjunto transmisor elemento primario en el termopozo		
7	realizar verificación de conexiónado, y limpieza de los contactos, verificar que el cable de señal no se encuentre mordido y que los conectores estén en buen estado		
8	verificar que el instrumento se encuentre correctamente aterrizado, si no es así corregir		
9	conectar el calibrador de procesos al transmisor y simular temperatura, verificar indicación en el HMI		
10	verificar que el instrumento se encuentre correctamente aterrizado, si no es así corregir		
11	montar nuevamente el tubing de conexión a proceso.		
12	realizar apertura de válvula de toma de proceso de forma lenta, y realizar purga de instrumento.		
13	realizar entrega del instrumento a operaciones		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el transmisor de temperatura proceso cuando el horómetro del equipo llega a 4000 horas

Tabla 16-C.

Lista de acciones por actividad

Actividad	INTERRUPTOR	Periodicidad en horas	2000/4000/16000
Especialidad	ELE		
Codigo	5465		
Lista de acciones			
1	**No cuenta con texto explicativo**		
2	**Realizar control de actividades previas**		
3	**tasa de fallas para el elemento**		
4	** criterio del especialista que atiende el mantenimiento**		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el interruptor cuando el horómetro del equipo llega a la periodicidad que muestra la tabla esta actividad no cuenta con acciones.

Tabla 16-D.

Lista de acciones por actividad

Actividad	TR FLUJO PROC PLATINA ORIFICI	Periodicidad en horas	4000
Especialidad	CON		
Codigo	5473		
Lista de acciones			
1	Cerrar válvula de corte de toma de proceso		
2	Realizar despresurización de cámara de medición del transmisor por medio de el tapón de venteo del manifold del transmisor, verificar presión 0 psid en el display del transmisor		
3	desmontar el tubing de conexión a proceso, y realizar limpieza interna y externa del tubing con desengrasante o diésel		
4	conectar el calibrador de procesos o el hand help y realizar una calibración de 0 de transmisor si se requiere		
5	montar la bomba de generación de presión y el patrón de calibración a la entrada de alta presión del transmisor		
6	realizar verificación del rango de operación del transmisor de forma ascendente y descendente, verificando y tomando registro en 0%, 15%, 50%, 75% y 100% del rango del transmisor, y confirmar indicación en HMI, y confirmar activación de interlocks		
7	realizar certificado de verificación de calibración del equipo y colocar placa de calibración en el instrumento		
8	realizar limpieza de la carcasa del equipo		
9	realizar verificación de conexionado, y limpieza de los contactos, verificar que el cable de señal no se encuentre mordido y que los conectores estén en buen estado		
10	verificar que el instrumento se encuentre correctamente aterrizado, si no es así corregir		
11	montar nuevamente el tubing de conexión a		
12	realizar apertura de válvula de toma de proceso de forma lenta, y realizar purga de instrumento		
13	realizar entrega del instrumento a operaciones		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el transmisor de flujo proceso cuando el horómetro del equipo llega a 4000 horas

Tabla 16-E.

Lista de acciones por actividad

Actividad	INDICADOR TEMPERATURA PROCESO	Periodicidad en horas	4000
Especialidad	CON		
Codigo	5477		
Lista de acciones			
1	Verificar si el indicador está instalado en termopozo, si no es así se debe asegurar la parada y despresurización del proceso donde se encuentra instalado.		
2	Desmontar indicador de temperatura		
3	Montar el indicador en el bloque seco o homopatrón de temperatura		
4	Realizar verificación del rango de operación del indicador de forma ascendente y descendente, verificando y tomando registro en 0%, 15%, 50%, 75% y 100% del rango del transmisor, si se encuentra alguna desviación corregirla y probar de nuevo		
5	Realizar certificado de verificación de calibración del equipo y colocar placa de calibración en el instrumento		
6	Realizar limpieza de la carcasa del equipo y montaje del indicador en el termopozo o en la toma de proceso		
7	Realizar entrega del instrumento a operaciones		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el indicador de temperatura proceso cuando el horómetro del equipo llega a 4000 horas

Tabla 16-F.

Lista de acciones por actividad

Actividad	SWITCH NIVEL PROCESO	Periodicidad en horas	4000
Especialidad	CON		
Codigo	5475		
Lista de acciones			
1	identifique el tipo de switch, consultar el manual del fabricante con el fin de conocer el principio de funcionamiento del equipo		
2	si el switch es de flotador verifique la activación de los switch de alto y bajo, confirmando la indicación en el HMI, y la activación de los interlock, desmontar el switch de su toma de proceso de forma segura (cerrando válvulas de corte si las tiene y asegurando el proceso si se requiere), verificar que ninguno de los flotadores se encuentre con algun elemento enredado que impida su correcto funcionamiento (elementos como tela, guantes, material vegetal)		
3	si el switch es electrónico (tipo tenedor, ultrasónicos, térmicos etc.), desinstale el switch de la toma de proceso de forma segura (cerrando válvulas de corte si las tiene y asegurando el proceso si se requiere) limpie el elemento sensor con desengrasante o diésel, instale nuevamente el equipo, asegúrese de que el equipo esta bien configurado teniendo en cuenta las condiciones de proceso y el tipo de producto, ejecute las pruebas de funcionamiento verificando la indicación en el HMI y la activación de los interlock.		
4	diligencie le formato de verificación de la calibración y coloque placa de calibración al equipo		
5	normalizar equipo y entregar a operaciones		
SI EL SWITCH DE NIVEL TIENE INDICADOR (POR EJEMPLO UNA COLUMNA MAGNETICA)SEGUIR LA SIGUIENTE RUTA.			
1	cerrar las válvulas de corte del indicador de nivel		
2	realizar el drenaje del indicador de nivel, tenga en cuenta que el venteo en la parte superior debe estar abierto para que el drenaje sea completo.		
3	limpiar ducto interno del indicador con desengrasante o Diésel si lo requiere		
4	verificar la flotabilidad de la guía interna de nivel y el movimiento de las placas de indicación.		
5	si tiene switches de alto y bajo nivel verificarlos llenando el indicador con diésel o desengrasante, verificar indicación en el HMI		
6	diligenciar el certificado de verificación de la calibración y colocar la placa de calibración.		
7	asegurar que el indicador quede totalmente drenado, colocar tapón del drenaje y el venteo.		
8	normalizar válvulas de corte, realizar medición del tanque con cinta de medición y comparar con la indicación actual.		
9	realizar entrega a operaciones		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en switch de nivel proceso de la bomba cuando el horómetro del equipo llega a 4000 horas

Tabla 16-G.

Lista de acciones por actividad

Actividad	Inspecc, Flushing, Limpieza	Periodicidad en horas	2000
Especialidad	MEC		
Codigo	5485		
Lista de acciones			
1	realizar inspeccion visual mecanica del intercambiador de calor por agua. verificar estado del serpentín.		
2	realizar flushing y limpieza de intercambiador de calor		
3	retirar residuos de solidos que se alojan en la circulacion del agua que se utiliza para enfriar el sistema		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan cuando el horómetro del equipo llega a 2000 horas

Tabla 16-H.

Lista de acciones por actividad

Actividad	SWITCH NIVEL PROCESO	Periodicidad en horas	4000
Especialidad	CON		
Codigo	5474		
Lista de acciones			
1	identifique el tipo de switch, consultar el manual del fabricante con el fin de conocer el principio de funcionamiento del equipo		
2	si el switch es de flotador verifique la activación de los switch de alto y bajo, confirmando la indicación en el HMI, y la activación de los interlock, desmontar el switch de su toma de proceso de forma segura (cerrando válvulas de corte si las tiene y asegurando el proceso si se requiere), verificar que ninguno de los flotadores se encuentre con algun elemento enredado que impida su correcto funcionamiento (elementos como tela, guantes, material vegetal)		
3	si el switch es electrónico (tipo tenedor, ultrasónicos, térmicos etc.), desinstale el switch de la toma de proceso de forma segura (cerrando válvulas de corte si las tiene y asegurando el proceso si se requiere) limpie el elemento sensor con desengrasante o diésel, instale nuevamente el equipo, asegúrese de que el equipo esta bien configurado teniendo en cuenta las condiciones de proceso y el tipo de producto, ejecute las pruebas de funcionamiento verificando la indicación en el HMI y la activación de los interlock.		
4	diligencie le formato de verificación de la calibración y coloque placa de calibración al equipo		
5	normalizar equipo y entregar a operaciones		
SI EL SWITCH DE NIVEL TIENE INDICADOR (POR EJEMPLO UNA COLUMNA MAGNETICA)SEGUIR LA SIGUIENTE RUTA.			
1	cerrar las válvulas de corte del indicador de nivel		
2	realizar el drenaje del indicador de nivel, tenga en cuenta que el venteo en la parte superior debe estar abierto para que el drenaje sea completo.		
3	limpiar ducto interno del indicador con desengrasante o Diésel si lo requiere		
4	verificar la flotabilidad de la guía interna de nivel y el movimiento de las placas de indicación.		
5	si tiene switches de alto y bajo nivel verificarlos llenando el indicador con diésel o desengrasante, verificar indicación en el HMI		
6	diligenciar el certificado de verificación de la calibración y colocar la placa de calibración.		
7	asegurar que el indicador quede totalmente drenado, colocar tapón del drenaje y el venteo.		
8	normalizar válvulas de corte, realizar medición del tanque con cinta de medición y comparar con la indicación actual.		
9	realizar entrega a operaciones		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el switch de nivel proceso del motor cuando el horómetro del equipo llega a 400 horas

Tabla 16-I.

Lista de acciones por actividad

Actividad	TR TEMPERATURA PROCESO	Periodicidad en horas	4000
Especialidad	CON		
Codigo	5480		
Lista de acciones			
1	Desenergizar transmisor		
2	Desmontar transmisor y elemento primario (RTD, termocupla, termistor)		
3	montar y conectar el conjunto transmisor elemento primario en el bloque seco o homo patrón de temperatura		
4	realizar verificación del rango de operación del transmisor de forma ascendente y descendente, verificando y tomando registro en 0%, 15%, 50%, 75% y 100% del rango del transmisor		
5	realizar certificado de verificación de calibración del equipo y colocar placa de calibración en el instrumento		
6	realizar limpieza de la carcasa del equipo y montaje del conjunto transmisor elemento primario en el termpozo		
7	realizar verificación de conexiónado, y limpieza de los contactos, verificar que el cable de señal no se encuentre mordido y que los conectores estén en buen estado		
8	verificar que el instrumento se encuentre correctamente aterrizado, si no es así corregir		
9	conectar el calibrador de procesos al transmisor y simular temperatura, verificar indicación en el HMI y verificar activación de interlocks		
10	normalizar transmisor		
11	realizar entrega del instrumento a operaciones		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el transmisor de temperatura proceso cuando el horómetro del equipo llega a 4000 horas

Tabla 16-J.

Lista de acciones por actividad

Actividad	Interrupor BT Arrancador Moto	Periodicidad en horas	8000
Especialidad	ELE		
Codigo	5479		
Lista de acciones			
1	Limpieza general de la gaveta		
2	Revisión y ajuste de contactos en interruptor principal		
3	Revisión de pulsadores arranque, parada, reset		
4	Comprobar el funcionamiento de las lámparas de indicación de motor parado, en servicio y falla		
5	Remplazar los led o lámparas indicadoras que se encuentren en falla		
6	Revisión de protección térmica, verificación de ajustes de protección		
7	Revisión de fusibles, verificación de características de protección		
8	Revisión de conexiónado de control, ajuste de bornes, terminales		
9	Realizar pruebas de aislamiento (500VDC) (Registrar parámetros)		
10	Prueba de funcionamiento con carga. (Registrar parámetros).		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el interruptor del arranque motor cuando el horómetro del equipo llega a 8000 horas

Tabla 16-K.

Lista de acciones por actividad

Actividad	TR PRESION DIFERENCIAL PROCESO	Periodicidad en horas	4000
Especialidad	CON		
Codigo	5484		
Lista de acciones			
1	Cerrar válvula de corte de toma de proceso		
2	Realizar despresurización de cámara de medición del transmisor por medio de el tapón de venteo del manifold del transmisor, verificar presión 0 psid en el display del transmisor		
3	desmontar el tubing de conexión a proceso, y realizar limpieza interna y externa del tubing con desengrasante o diésel		
4	conectar el calibrador de procesos o el hand help y realizar una calibración de 0 de transmisor si se requiere		
5	montar la bomba de generación de presión y el patrón de calibración a la entrada de alta presión del transmisor		
6	realizar verificación del rango de operación del transmisor de forma ascendente y descendente, verificando y tomando registro en 0%, 15%, 50%, 75% y 100% del rango del transmisor, y confirmar indicación en HMI, y confirmar activación de interlocks		
7	realizar certificado de verificación de calibración del equipo y colocar placa de calibración en el instrumento		
8	realizar limpieza de la carcasa del equipo		
9	realizar verificación de conexiónado, y limpieza de los contactos, verificar que el cable de señal no se encuentre mordido y que los conectores estén en buen estado		
10	verificar que el instrumento se encuentre correctamente aterrizado, si no es así corregir		
11	montar nuevamente el tubing de conexión a proceso		
12	realizar apertura de válvula de toma de proceso de forma lenta, y realizar purga de instrumento		
13	realizar entrega del instrumento a operaciones		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el transmisor de presión diferencial proceso cuando el horómetro del equipo llega a 4000 horas

Tabla 16-L.

Lista de acciones por actividad

Actividad	INDICADOR PRESION PROCESO	Periodicidad en horas	4000
Especialidad	CON		
Codigo	5476		
Lista de acciones			
1	Cerrar válvula de corte de toma de proceso		
2	Realizar despresurización de cámara de medición del Manómetro por medio de el tapón de venteo del manifold, verificar presión 0 psig en caratula		
3	desmontar manómetro y limpiar la cámara del diafragma con diésel o desengrasante		
4	verificar el 0 del indicador, mover aguja si esta corrido		
5	montar la bomba de generación de presión y el patrón de calibración a la entrada de presión del indicador		
6	realizar verificación del rango de operación del indicador de forma ascendente y descendente, verificando y tomando registro en 0%, 15%, 50%, 75% y 100%		
7	realizar certificado de verificación de calibración del equipo y colocar placa de calibración en el instrumento		
8	realizar limpieza de la carcasa del equipo		
9	realizar montaje del equipo en toma de proceso		
10	realizar apertura de válvula de toma de proceso de forma lenta, y realizar purga de instrumento		
11	realizar entrega del instrumento a operaciones		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el indicador de presión proceso cuando el horómetro del equipo llega a 4000 horas

Tabla 16-M.

Lista de acciones por actividad

Actividad	ACTUADOR ELECTRICO VALVMOTORIZ	Periodicidad en días	180/360
Especialidad Codigo	ELE 5463		
Lista de acciones			
1	inspeccion visual		
2	descargar informacion del actuador		
3	verificar oring y tornillos de tapa		
4	verificar integridad del cableado		
5	realizar prueba de recorrido de		
6	verificar torqueo de sujecion a la		
7	verificar lubricacion del actuador		
360D desmontar, verificar internos			
1	inhibir lazo de control		
2	desconectar actuador		
3	desmontar actuador		
4	verificar internos mecanicos		
5	verificar internos electricos		
6	montar correctamente el actuador		
7	conectar control electrico		
8	verificar integridad del cableado		
9	ajustar limite de torque según recomendación fabricante		
10	realizar la calibración del equipo, para tal fin se debe manipular los rotores de apertura/cierre de la válvula y comprobar los estados de carrera de la válvula en sus límites inferior y superior realizándolo de manera manual; verificar que el inversor de giro abra y cierre sus contactos en el momento indicado esto con el fin de evitar que la válvula se estrelle en modo remoto y/o en modo local		
11	llevar la válvula a su máximo punto de apertura y de cierre con el propósito de corroborar el buen funcionamiento del límite de torque. este debe actuar en el momento en que exista exceso de torque entre la compuerta y la base tanto en sus puntos superior como inferior		
12	realizar prueba de recorrido fijar limites de cierre y apertura realizar las pruebas de apertura y cierre de la válvula en modo remoto, para lo cual se deben verificar que las confirmaciones de apertura, parada y cierre se ejecuten de forma correcta		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en actuador eléctrico cuando el horómetro del equipo cumple con 180 o 360 días de operación

Tabla 16-O.

Lista de acciones por actividad

Actividad	TOMA MUESTRA LUBRICANTE BPCs	Periodicidad en Dias	30
Especialidad Codigo	MEC 5486		
Lista de acciones			
1	alistamiento de kit de muestreo		
2	identificar los puntos de muestreo		
3	toma de muestras de aceite		
4	marcacion de muestras		
5	etiquetado de muestras y embalaje		
6	envío de muestras de aceite		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en la toma de muestras cada que el horómetro indica 30 días

Tabla 16-P.

Lista de acciones por actividad

Actividad	SWITCH PRESION	Periodicidad en horas	4000
Especialidad	CON		
Codigo	5472		
Lista de acciones			
1	Cerrar válvula de corte de toma de proceso		
2	Realizar despresurización de cámara de medición del switch por medio de el tapón de venteo del manifold		
3	desmontar switch de toma de proceso y limpiar cámara de sensado con diésel o desengrasante		
4	montar la bomba de generación de presión y el patrón de calibración a la entrada de presión del switch		
5	verificar presión de disparo del switch y la presión de reposición, si se encuentra descalibrado, calibrar y probar nuevamente, verificar la indicación en HMI de la consola de operación		
6	realizar certificado de verificación de calibración del equipo y colocar placa de calibración en el instrumento		
7	realizar limpieza de lacarcasa del equipo		
8	realizar verificación de conexonado, y limpieza de los contactos, verificar que el cable de señal no se encuentre mordido y que los conectores estén en buen estado		
9	verificar que el instrumento se encuentre correctamente aterrizado, si no es así corregir		
10	montar nuevamente instrumento en toma de proceso		
11	realizar apertura de válvula		
12	realizar entrega del instrumento a operaciones		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el switch de presión cuando el horómetro del equipo llega a 4000 horas

Tabla 16-Q.

Lista de acciones por actividad

Actividad	Inspecc, Verif Und Hidraulica	Periodicidad en horas	2000
Especialidad	MEC		
Codigo	5486		
Lista de acciones			
1	inspeccion visual mecanica de unidad hidráulica sistema de		
2	verificar nivel y estado del aceite		
3	desmontar filtros primarios de unidad hidráulica y verifc		
4	realizar cambio de elementos filtrantes si es encesario		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en la inspección hidráulica cuando el horómetro del equipo llega a 2000 horas

Tabla 16-R.

Lista de acciones por actividad

Actividad	Motor Electrico BT Aux	Periodicidad en horas	8000
Especialidad	ELE		
Codigo	5478		
Lista de acciones			
1	Realizar pruebas de resistencia de aislamiento a los cables de la acometida del motor desde la casilla del motor		
2	Inspeccione caja de conexiones, inspeccione estado del flexiconduit		
3	Realizar desconexión eléctrica del motor marcando con cinta adhesiva el orden de conexión de las líneas del motor y de fuerza.		
4	Revisar la continuidad de las conexiones de referencia a tierra		
5	Revisar estado de los pre-moldeados		
6	Revisar presencia de humedad en la caja de conexiones		
7	Realizar pruebas de resistencia de aislamiento al estator entre bobinas y cada bobina a tierra de ser posible, en caso contrario medir resistencia de aislamiento del conjunto contra tierra		
8	Revise estado físico-mecánico de la carcasa, patas, bases; busque fisuras, corrosión, rupturas		
9	Verifique la sólida conexión a tierra de la carcasa del motor		
10	Verificar tomillería		
11	Retirar tapa del ventilador y realizar la limpieza del ventilador, verificar su estado		
12	Revisar el estado físico exterior del rodamiento		
13	Realizar una revisión del estado y cantidad de grasa lubricante		
14	Revisar en conjunto con la especialidad mecánica el acople y guarda acople		
15	Conectar eléctricamente el motor		
16	Cerrar caja de conexiones del motor		
17	Instalar guarda acople, luego de que la especialidad mecánica inspeccione		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el motor eléctrico auxiliar cuando el horómetro del equipo llega a 8000 horas

Tabla 16-S.

Lista de acciones por actividad

Actividad	Interruptor BT Arrancador Moto	Periodicidad en horas	8000
Especialidad	ELE		
Codigo	5488		
Lista de acciones			
1	Limpieza general de la gaveta.		
2	Revisión y ajuste de contactos en interruptor principal		
3	Revisión de pulsadores arranque, parada, reset.		
4	Comprobar el funcionamiento de las lámparas de indicación de motor parado, en servicio y falla		
5	Remplazar los led o lámparas indicadoras que se encuentren en falla		
6	Revisión de protección térmica, verificación de ajustes de protección		
7	Revisión de fusibles, verificación de características de protección		
8	Revisión de conexionado de control, ajuste de bornes, terminales		
9	Realizar pruebas de aislamiento (500VDC) (Registrar parámetros)		
10	Prueba de funcionamiento con carga. (Registrar parámetros). Termografía en gaveta (Registrar parámetros)		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en arranque del motor cuando el horómetro del equipo llega a 8000 horas

Tabla 16-T.

Lista de acciones por actividad

Actividad	Variador Velocid Por Frec	Periodicidad en horas	2000/8000
Especialidad	ELE		
Codigo	5467		
Lista de acciones			
1	Inspección visual general integridad de los equipos		
2	desenergizar variador. Verificar descarga de las celdas de potencia		
3	revisar celdas de potencia, fusibles y elementos de control . inspeccion visual del hardware . polvo acumulado removerlo		
4	inspeccion visual a igbts, rectificadores, snubers. . realizar limpieza de superficies de semiconductores, . realizar limpieza de pernos de aislamiento de unidades de conductos de barras		
5	realizar limpieza unidad de control y sus componentes: retirar las boards de fibra óptica, señales analógicas y comunicaciones, realizar limpieza minuciosa a las boards de las celdas a1,b1,c1 / a2,b2,c2 / a3,b3,c3 / a4,b4,c4 . en ninguna circunstancia los cables de fibra optica se limpian con telas húmedas, siempre se utilizar tela seca que no suelte pelusas aplicar limpiador de contactos		
6	realizar limpieza de gabinetes y barrajes . para barrajes se deben retirar las tapas posteriores del gabinete		
7	realizar inspeccion visual mecanica del transformador		
8	inspeccionar conexiones de bobinas		
9	verificar signos de calentamiento por falla en conexión		
10	verificar indicios de humedad en laminas entrehierros		
11	realizar limpieza general		
12	verificar torque de conexiones		
13	retirar filtros y limpiar con soplador de aire . revisión mecánica de las persianas del sistema de ventilación		
14	revisión y limpieza de ventiladores		
15	normalizar y energizar equipo		
8000h variador velocid por frec			
1	realizar backup de la programacion		
2	verificar el funcionamiento de la logica de control		
3	verificacion de los logs de estado		
4	verificacion de los logs de fallas		
5	revisión de tension de control y en modulos		
6	revisar cableado de control entre el main transformer y la nxg cabinet		
7	revisión de las conexiones del sistema de puesta a tierra del variador.		
8	realizar termografia de transformador seco y conexiones de potencia con variador en linea de acuerdo a procedimiento y registrar parametros		
9	desmontar e inspeccionar celdas de potencia: . revisar posibles fugas de condensadores . realizar limpieza . registrar valores del scr . nivel de aislamiento . pruebas de switcheo		
10	instalar celdas de potencia y verificar torque		
11	verificar torques en variador: . revisar torque de las conexiones de potencia . verificar las conexiones de los circuitos de tierra . entre gabinetes del transformador y las celdas		
12	pruebas operativas de los sistemas auxiliares		
13	inspeccion seccionador y contactor del vfd		
14	realizar desconexión eléctrica del motor marcando con cinta adhesiva el orden de conexión de las líneas del motor y de fuerza		
15	realizar pruebas de resistencia de aislamiento a los cables de alimentación del motor desde el contactor del motor. registrar parametros		
16	revisar la continuidad de las conexiones de referencia a tierra.		
17	toma de parámetros funcionales y registrarlos		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el variador de velocidad.

Tabla 16-U.

Lista de acciones por actividad

Actividad	Inspecc.Limpieza, Verificacion	Periodicidad en horas	8000
Especialidad	ELE		
Codigo	5487		
Lista de acciones			
1	Colocar permiso de trabajo y certificados de apoyo si se requiere en un lugar visible		
2	Identificar junto con el operador el equipo a intervenir		
3	Apóyese en el estudio de arco eléctrico vigente para estimar los elementos de protección personal a utilizar en las maniobras de las operaciones desenergización y posterior energización. Aplicación/Retiro SAES.		
4	Verificar condiciones operativas seguras SAES de interruptor y relé multifunción, colocando el candado verde en el multi-candado de SAES		
5	Realizar pruebas de resistencia de aislamiento a los cables de la acometida del motor desde la casilla del motor		
6	Colocar permiso de trabajo y certificados de apoyo si se requiere en un lugar visible.		
7	Inspeccione caja de conexiones, inspeccione estado del flexiconduit.		
8	Realizar desconexión eléctrica del motor marcando con cinta adhesiva el orden de conexión de las líneas del motor y de fuerza.		
9	Revisar la continuidad de las conexiones de referencia a tierra		
10	Revisar estado de los pre-moldeados		
11	Revisar presencia de humedad en la caja de conexiones		
12	Realizar pruebas de resistencia de aislamiento al estator entre bobinas y cada bobina a tierra de ser posible, en caso contrario medir resistencia de aislamiento del conjunto contra tierra.		
13	Revise estado físico-mecánico de la carcasa, patas, bases;busque fisuras, corrosión, rupturas.		
14	Verifique la sólida conexión a tierra de la carcasa del motor		
15	Verificar tornillería.		
16	Retirar tapa del ventilador y realizar la limpieza del ventilador, verificar su estado		
17	Revisar el estado físico exterior del rodamiento		
18	Realizar una revisión del estado y cantidad de grasa lubricante.		
19	Revisar en conjunto con la especialidad mecánica el acople y guarda acople.		
20	Conectar eléctricamente el motor.		
21	Cerrar caja de conexiones del motor		
22	Instalar guarda acople, luego de que la especialidad mecánica inspeccione.		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan para la verificación del equipo cuando el horómetro del equipo llega a 8000 horas

Tabla 16-V.

Lista de acciones por actividad

Actividad	Retirar/Instalar Instrumentos	Periodicidad en horas	1600
Especialidad	MEC		
Codigo	5468		
Lista de acciones			
1	Revisar y/o analizar en conjunto con el ingeniero de confiabilidad y profesional de mecánica informe de análisis de la condición (vibraciones y termografía) y atender las recomendaciones generadas		
2	Verificar que el equipo este des energizado y bloqueado Demarcar el área perimetral del patín Inspección general y visual al motor-bomba centrífuga y acople		
3	Realizar medicion de la concentricidad del eje lado libre y lado acople		
4	Flushing interno ala bomba, limpieza del plan 11 Realizar medicion de la concentricidad del eje lado libre y lado acople		
5	Verificar holguras axiales y radiales teniendo en cuenta parametros y recomendaciones del fabricante		
6	Verificar holguras cojinetes teniendo en cuenta parametros y recomendaciones del fabricante		
7	Verificar ductos de lubricacion e inspeccionar componentes anexos ala bomba		
8	Desbloquear el equipo, realizar llenado y venteo de la unidad		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en los instrumentos general

Tabla 16-W.

Lista de acciones por actividad

Actividad	MOTOR ELECTRICO PPAL	Periodicidad en horas	2000/8000/24000
Especialidad	ELE		
Codigo	5466		
Lista de acciones			
1	inspeccionar integridad fisica del motor(sonidos anormales, fugas de aceite sistema refrigeracion cojinetes,temperaturas anormales, potencia de funcionamiento dentro del rango de operacion)		
2	inspeccionar sistema lubricacion (fugas de liquidos de refrigeracion, temepaturas dentro de rangos establecidos) realizar ajustes		
3	inspeccionar intercambiador de calor (realizar inspeccion fisica no intrusiva y lavado)		
4	inspeccionar conexion malla a tierra y realizar ajustes		
8000h motor electrico ppal			
1	desmontar tapas laterales inspeccion de motor revision de los heaters y realizar limpieza externa del estator		
2	desmontar escudos superiores del motor inspeccion visual y limpieza		
3	desmontar sistema de refrigeracion inspeccion visual y limpieza		
4	verificar aislamiento conjunto cable-motor 4500hp		
5	verificar aislamiento conjunto cable-motor ventiladores sistema de refrigeracion		
6	verificar aislamiento conjunto cable-motor sistema de lubricacion en caso de tener medidas de aislamiento por debajo de lo permitido realizar medicion por separado registrar parametros de mediciones		
24000h motor electrico ppal			
	realizar pruebas electricas previas (toma de parámetros y documentar)		
1	inspeccionar motor y caja cojinetes retirar escudos superiores lado acople y lado libre)		
2	inspeccionar y medir ejes (después de realizar apertura de chumacera realizar medición de ejes lado libre y acople)		
3	inspeccionar chumaceras (realizar inspección visual de sistema reservorio y estado de cojinetes)		
4	inspeccionar sistema lubricacion (realizar verificación de estado de platinas de orificio)		
5	realizar balanceo dinamico segun (taller especializado) ele-inspeccionar laminaciones del hierro (verificación visual)		
6	inspeccion visual bobinas y cuñas (verificación visual)		
7	lavar conjunto rotor-estator		
8	impregnar con barniz dielectrico		
9	probar resistencia de aislamiento		
10	realizar actividades miscelaneas		
11	realizar pruebas electricas posteriores documentar informacion de parámetros antes y después de ejecutado el anterior procedimiento		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el motor eléctrico principal cuando el horómetro del equipo llega a 2000/8000/24000 horas

Tabla 16-X.

Lista de acciones por actividad

Actividad	Verif Sellos,Lubric Engranajes	Periodicidad en Días	360
Especialidad	MEC		
Codigo	5464		
Lista de acciones			
1	Despresurizar y drenar cuerpo de válvula. Comprobar hermeticidad y estanqueidad de la misma		
2	Verificar drenajes y venteos que se encuentren abiertos		
3	Condensar válvulas de accionamiento manual que se relacionan con la válvula de compuerta a intervenir		
4	Verificar posición (cerrada o abierta) según diseño, se encuentra accesible, sellada o supervisada		
5	Des energizar válvulas motorizadas inherentes al sistema		
6	Des energizar actuador eléctrico (si aplica)		
7	Inspeccionar si hay fugas en conexiones o cuerpo de la válvula.		
8	Revisar y limpiar cuerpo de la válvula y mecanismo de accionamiento (volante, reductor, actuador) inspeccione el vástago de la válvula, busque si hay hilos dañados por falta de lubricación, limpie los hilos de la rosca de ser necesario, utilice cepillo de alambre para retirar cualquier suciedad u oxido de los hilos. Ubique los puntos de inyección de grasa opere actuador eléctrico y transmisión y aplique grasa nueva hasta que la grasa vieja haya sido totalmente reemplazada (si aplica).		
9	Operar la válvula para verificar el recorrido del cierre y apertura, verificar libre movilidad. Nunca mover a la fuerza con llaves o palancas. Si presenta bloqueo se debe intervenir la válvula.		
10	Verificar que todas las partes operan correctamente y están en buenas condiciones. Inspeccionar internamente (si es posible) la válvula o por medio de los resultados de monitoreo por ultrasonido diagnosticar si amerita cambio, limpieza o reparación de la válvula.		
11	Aplicar lubricante a través de las lumbreras de lubricación a la válvula y mecanismo de accionamiento.		
12	Operar abrir/cerrar nuevamente la válvula en repetidas ocasiones con lentitud para limpiar depósitos en superficies de cierre y distribuir lubricante		
13	Verificar el estado de las bridas de la válvula, espárragos		
14	Cerrar drenajes, venteos y presurizar sistema		
15	Dejar las válvulas válvula en posición (cerrada o abiertas según diseño		
16	Realizar y entregar los reportes de mantenimiento que incluya: Formato de inspección Formato de mantenimiento Formato de prueba de ajuste de presión Formato de prueba de hermeticidad		
17	Una vez concluidas todas las tareas y documentarlas en el aviso y notificadas los tiempos puede cerrar la ot, documentar todos los detalles técnicos concernientes al mantenimiento ejecutado		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en sellos cuando el horómetro del equipo cumple 360 días de operación

Tabla 16-Y.

Lista de acciones por actividad

Actividad	Insp Sellos, Sistemas Lubricac	Periodicidad en horas	500
Especialidad	MEC		
Codigo	5469		
Lista de acciones			
1	retirar guardas de seguridad de la bomba		
2	desmontar lineas de balanceo presion caja del sello interior y realizar limpieza (plan api 13)		
3	drenar liquido barrera de los reseorios del plan api 52 reservorio sellos lado acople reservorio sellos lado libre		
4	realizar flushing de lineas de refrigeracion de cada reservorio		
5	inspeccionar estado de los reservorios		
6	llenar liquido barrera con diesel hasta nivel adecuado		
7	verificar precarga de sellos de acuerdo a la galga instalada		
8	realizar pruebas de fugas y estado de sellos mecánicos demarcar el área perimetral del patín		
9	verificar que el equipo este des energizado y bloqueado		
10	realizar drenaje a los 2 depósitos de líquido barrera		
11	desmontar visores para su limpieza e inspeccion de empaquetadura		
12	desmontar tubings de interconexión entre el depósito y el sello para su limpieza e inspección, verificar que los tubings no tengan ningun elemento extraño en su interior		
13	inyectar líquido barrera limpio a los depósitos para limpiar suparte interior, realizar flushingmontar tubings en cada uno de los reservorios		
14	inyectar liquido barrera hasta los niveles que recomiendan las especificaciones tecnicas a los 2 depósitos de líquido barrera		
15	verificar ajuste de tuercas tubings y presencia de goteos o fuga		
16	realizar retiro (saes) por parte del técnico eléctrico y seentrega equipo		

Nota. La tabla muestra las acciones que se realizan en el sistema de lubricación cuando el horómetro del equipo cumple 500 horas

4.5.1 Análisis De actividades

Todas las actividades cuentan con un texto descriptivo donde muestra el paso a paso que debe realizar el operario que interviene la maquina a excepción de la Tabla 17-C actividad con código 5465 de la especialidad eléctrica, esta no presento texto descriptivo de lista de acción, siendo esta una de las actividades de carácter PVO que mas se realiza en los equipos, por esta razón se realizando un estudio de varias órdenes de trabajo generadas en el periodo estudiado de esta actividad, para generar una lista de acciones teniendo como resultado.

Tabla 17.

Ordenes de actividad PVO sin lista de acción.

Orden	Clase de orden	Fecha de inicio extrema	Texto breve
200011017	Z1PM	22/01/2018	RB-PVO Interruptor (+L15) 4160V BPC-3430
200014110	Z1PM	15/01/2018	RB-PVO Interruptor (+L06) 4160V BPC-3410
200014127	Z1PM	26/03/2018	RB-PVO Interruptor (+L13) 4160V BPC-3420
200017659	Z1PM	4/06/2018	RB-PVO Interruptor (+L06) 4160V BPC-3410
200017683	Z1PM	13/08/2018	RB-PVO Interruptor (+L13) 4160V BPC-3420
200017712	Z1PM	6/08/2018	RB-PVO Interruptor (+L18) 4160V BPC-3440
200018002	Z1PM	21/05/2018	RB-PVO Interruptor (+L15) 4160V BPC-3430
200021497	Z1PM	8/10/2018	RB-PVO Interruptor (+L15) 4160V BPC-3430
200024207	Z1PM	17/12/2018	RB-PVO Interruptor (+L06) 4160V BPC-3410
200024603	Z1PM	17/12/2018	RB-PVO Interruptor (+L18) 4160V BPC-3440
200026839	Z1PM	4/03/2019	RB-PVO Interruptor (+L13) 4160V BPC-3420
200026902	Z1PM	22/04/2019	RB-PVO Interruptor (+L18) 4160V BPC-3440
200026914	Z1PM	6/05/2019	RB-PVO Interruptor (+L06) 4160V BPC-3410
200027061	Z1PM	18/03/2019	RB-PVO Interruptor (+L15) 4160V BPC-3430
200032522	Z1PM	12/08/2019	RB-PVO Interruptor (+L13) 4160V BPC-3420
200034279	Z1PM	21/10/2019	RB-PVO Interruptor (+L18) 4160V BPC-3440
200034387	Z1PM	2/09/2019	RB-PVO Interruptor (+L15) 4160V BPC-3430
200035789	Z1PM	15/11/2019	RB-PVO Interruptor (+L06) 4160V BPC-3410
200036091	Z1PM	18/12/2019	RB-PVO Interruptor (+L13) 4160V BPC-3420

Nota. La tabla muestra una cantidad de acciones considerables en los equipos se verifica las actividades realizadas en las ordenes con el fin de unificar la lista de acciones.

Tabla 18.

Actividad Recuperada

Actividad	INTERRUPTOR	Periodicidad en horas	2000/4000/16000
Especialidad	ELE		
Codigo	5465		
Lista de acciones			
1	Se solicitó el equipo a operaciones, se ejecuta aislamiento seguro SAES		
2	Se realizó inspección visual observando normalidad en sus componentes (cableado, terminales, dispositivo enchufable, carro extractor)		
3	Se realizó limpieza interna de la celda, verificación y lubricación de mecanismos		
4	Se realizó revisión a componentes en general, se verifica su buen estado no presentan recalentamiento		
5	Se realizaron pruebas mecánicas, se verifica libre inserción y extracción del carro		
6	Los mecanismos de apertura, palanca y cierres con llave de paleta operan normalmente en puerta de la celda		
7	Se lubricaron mecanismo, resortes y amortiguadores de los puntos de contacto; se reemplazó grasa cobrizada en tulipanes de contacto del interruptor		
8	Se revisó sistema mecánico del interruptor se encuentran en buen estado, se aplicó grasa a sus componentes móviles		
9	Con interruptor cerrado se mide aislamiento de cada fase contra tierra: L1 – TIERRA: 287 GIGA OHMIOS L2 – TIERRA: 272 GIGA OHMIOS L3 – TIERRA: 301 GIGA OHMIOS		
10	Se aplicaron 5000 voltios durante un minuto		

Nota. La tabla 18 genera una lista de acciones para realizar al equipo en la actividad de interruptor. Se recupera con la información suministrada por las ordenes de mantenimiento.

4.6 Indicadores de Mantenimiento Generados

La tabla de indicadores de mantenimiento que se presenta a continuación se propone con el fin de realizar un seguimiento a las mejoras propuestas y dejar la continuación del trabajo a posibles propuestas que permitan el mejoramiento continuo. Estos indicadores estandarizados permiten establecer una comparación competitiva con otras empresas (Benchmarking)

Tabla 19.

Indicadores de mantenimiento

Indicadores de MTO			
Nombre indicador	Indicador	Descripcion	Frecuencia
Disponibilidad del equipo	$\frac{(\text{Tiempo de operacion} - \text{Tiempo de reparacion equipo})}{\text{tiempo de operación equipo}} \times 100\%$	Este indicado busca identificar la disponibilidad del equipo durante la operación semanal	Mensual/ Anual
Actividades MTO x Especialidad	$\frac{\text{Actividades de MTTO} \times \text{Especialidad}}{\text{Actividades totales}} \times 100\%$	Con este indicador se puede determinar la especialidad mas importante del equipo	Semanal/Me nsual
Mantenimiento de emergencia	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de ordenes con prioridad de emergencia}}{\text{N}^\circ \text{ de ordenes totales}} \times 100$	El indicador de mantenimiento de emergencia busca implementar un mantenimiento solido sin declarar tantas actividades en condicion de prioridad	Diario
Indice de formacion	$\frac{\text{Capacitaciones realizadas}}{\text{capacitaciones planeadas}} \times 100\%$	El uso de este indicador permite la formacion continua del operario para desarrollo de sus actividades y su reporte en el sistema	Anual
Tasa de Fallas por especialidad	$\frac{\text{Falla} \times \text{Especialidad}}{\text{Total de fallas}} \times 100\%$	Permite identificar la especialidad mas problemas causa en el equipo para mejorar las actividades	Mensual/An ual
Indice de Sobretiempo	$\frac{\text{HH Sobre tiempo}}{\text{HH Disponibles}} \times 100\%$	El indicador de sobre tiempo permite la identificacion de actividades que consumen horas de trabajo hombre, con el fin de realizarseguimiento de operaciones	Diario
Tasa de Fallas General	$\frac{\text{Cantidad de horas operadas}}{\text{Cantidad de fallas}}$	Este indicador permite evaluar el tiempo promedio que puede operar el equipo sin interrupciones	Mensual

Nota. La tabla 19 muestra el nombre del indicador como calcularlo la descripción y la frecuencia en que el operario debe efectuar el seguimiento.

4.7 Propuesta de integración de mantenimiento predictivo en el PMO

Las técnicas de mantenimiento predictivo se utilizan con el fin de evitar mantenimientos preventivos innecesarios. Considerando que esta técnica también genera costos altos debido a la periodicidad con la que se realiza, se buscara implementar actividades que no afectan la operación del equipo debido a paradas. Las técnicas que se implementaran se mencionan a continuación:

- Análisis de Vibración
- Análisis de lubricantes
- Termografías
- Ultrasonidos
- Análisis de motores eléctricos de inducción

Una vez establecidas estas técnicas se desarrolla una tabla donde se encontrarán los siguientes parámetros:

- Actividad
- Periodicidad
- Especialidad
- Lista de acciones
- Parámetros de supervisión
- Parámetros de detección

Tabla 20.

Actividades predictivas

Actividad	Análisis de Vibración	Periodicidad en horas	180D
Especialidad	MEC		
Parametros de Supervicion	Medida de vibración global		
	Medida de vibracion Especificos		
Parametros Detectables	Desequilibrio, Desaliniamiento, Roces, Holguras, Ejes Doblados		
Lista de acciones			
1	Identificar los puntos de sensores de vibracion en el equipo		
2	Descargar la informacion arrojada por el sistema de sensores.		
3	Organizar la informacion por categoria: Equipo, Puntos criticos de vibracion, Sensor con mayor desplazamiento de eje, entre otros		
4	Realizar graficos de diagnosticos: Forma de onda, Espectro de frecuencia, Diagramas pico-fase (Bode, Nyquist, Polar), Orbitas X-Y-Z.		
5	Resultados del diagnostico		
6	Subir la informacion en el sistema para evaluar las actividades preventivas		
Actividad	Analisis de Lubricante	Periodicidad en horas	30D
Especialidad	MEC		
Parametros de Supervicion	Viscosidad del lubricante		
	Propiedades fisico quimicas del Aceite		
Parametros Detectables	Contaminacion, Desgaste, eficiencia del lubricante		
Lista de acciones			
1	Seleccionar los puntos de inspeccion de lubricante		
2	toma de muestras de los puntos de inspeccion		
3	Caracterizar los parametros a evaluar. Indice de detraccion quimica, Constante dielectrica indice de desgaste ferrico, indicado de particulas no ferricas, evaluacion de viscosidad		
4	Realizar graficos de diagnosticos con los parametros evaluados		
5	Resultados del diagnostico		
6	Subir la informacion en el sistema para evaluar las actividades preventivas		
Actividad	Ultrasonido	Periodicidad en horas	180D
Especialidad	MEC/ELE		
Parametros de Supervicion	Lubricacion, Acoples		
	Conexiones, Alta tension		
Parametros Detectables	Fugas, Cavitacion, Descargas electricas		
Lista de acciones			
1	Seleccionar las areas de inspeccion. Componentes acoplados, Valvulas hidraulicas y mecanicas, Cilindros de almacenamiento y Armarios electricos		
2	toma de muestras de los puntos de inspeccion		
3	Diagnosticar fugas en componentes, altas tension, correcta lubricacion del sistema.		
4	Resultados del diagnostico		
5	Subir la informacion al sistema		
Actividad	Termografia	Periodicidad en horas	120D
Especialidad	MEC/ELE		
Parametros de Supervicion	Lubricacion, Acoples, rodamientos		
	Conexiones, tension, temperatura		
Parametros Detectables	Fugas, obstrucciones, puntos calientes		
Lista de acciones			
1	Seleccionar las areas de inspeccion. Componentes acoplados, Valvulas hidraulicas y mecanicas, Cilindros de almacenamiento y Armarios electricos, tuberias, lineas de lubricacion, motor electrico, rodamientos y cojinetes		
2	toma de temperatura de los puntos de inspeccion		
3	Diagnosticar fugas en componentes, altas tension, correcta lubricacion del sistema, apertura y cierre de componentes móviles, localizacion e incrustaciones en tuberias		
4	Resultados del diagnostico		
5	Subir la informacion al sistema		

Nota. La tabla 20 muestra la lista de acciones que se debe realizar para iniciar la actividad preventiva.

5. ESTUDIO FINANCIERO

5.1 Análisis Financiero

Este proyecto se complementará con un análisis financiero que soporte la viabilidad del proyecto y los beneficios económicos que traerá a la empresa la ejecución de este, para esto se emplearan valores reales y planeados por el área de presupuesto de la compañía. Este estudio se realizará con los equipos que hacen parte de la fase 2 del sistema principal de bombeo por las siguientes razones:

- ✓ La grafica 4 muestra que estos equipos ejecutan los mantenimientos preventivos más costosos.
- ✓ Tienen la tasa de fallas más alta como lo muestra la gráfica 6.

Tabla 21.

Presupuestado y ejecutado

Etiquetas de fila	Cuenta de Texto breve	Suma de Tota general (plan)	Suma de Total general (real)
UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	74 \$	45.704.353 \$	68.895.562
UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	72 \$	45.852.532 \$	70.347.826
UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	73 \$	45.004.910 \$	75.801.621
UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	64 \$	40.565.226 \$	57.218.796
Total general	283 \$	177.127.021 \$	272.263.805

Nota. La tabla 21 muestra en la primera columna los equipos que conforman la fase 2 del sistema principal de bombeo, la segunda referencia el número de actividades preventivas ejecutadas, la tercera columna muestra el presupuesto de la planeación para realizar el número de actividades por equipo y la cuarta columna hace referencia al gasto real del mantenimiento por equipo. Al realizar la optimización de actividades se tienen los siguientes valores.

Tabla 22.

Resultado de presupuesto optimizado

Etiquetas de fila	Actividades	Suma de Tota general (plan)	Suma de Total general (real)	Actividades con PMO	Total general con PMO	Diferencia real Vs PMO	Reduccion
UND DE BOMBEO#1 BPC-3410	74	\$ 45.704.353	\$ 68.895.562	54	\$ 51.013.408,70	\$ 17.882.153,30	26%
UND DE BOMBEO#2 BPC-3420	72	\$ 45.852.532	\$ 70.347.826	54	\$ 48.872.814,05	\$ 21.475.011,95	
UND DE BOMBEO#3 BPC-3430	73	\$ 45.004.910	\$ 75.801.621	55	\$ 56.433.496,10	\$ 19.368.124,90	
UND DE BOMBEO#4 BPC-3440	64	\$ 40.565.226	\$ 57.218.796	51	\$ 44.263.470,25	\$ 12.955.325,75	
Total general	283	\$ 177.127.021	\$ 272.263.805	214	\$ 200.583.189,10	\$ 71.680.615,90	

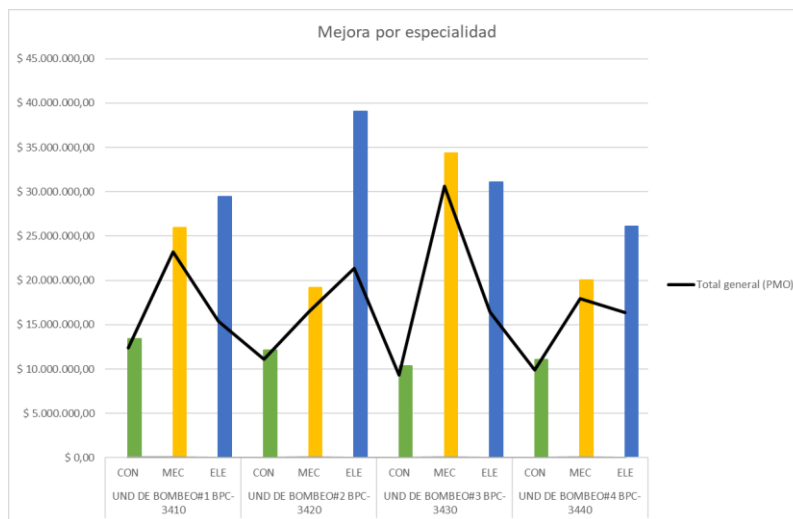
Nota. la tabla anterior muestra la reducción de actividades por equipo y la reducción de costos de mantenimiento de un 26% con la optimización.

Si se utiliza la metodología planteada la reducción del 24% de las actividades de mantenimiento preventiva generan una reducción del 26.3% del total general (Real) del presupuesto, este valor como primer factor importante se acerca al valor del presupuesto planeado para la fecha del estudio. Generando un sobrecosto de planeación de un 13% a comparación del ejecutado que su sobrecosto es del 54%.

5.1.2 Detalles de resultados

La grafica 9 muestra la reduccion que se efectua en costos de mantenimiento por especialidad teniendo en cuenta que la especialidad electrica es una de las mas fuertes en los equipos se logra hacer una disminucion considerable por equipo.

Grafica 9.
Mejora PMO gastos



Nota. La grafica muestra el comportamiento de los costos consecuente de la optimización en las diferentes especialidades y equipos. Resaltando la especialidad eléctrica con una reducción del 44% en promedio.

Tabla 23.

Detalle de optimización

EQUIPO	Codigo	Especialidad	N°. Actividades	Total general(REAL)	N°. Actividades con optimizadas	Total general (PMO)	Diferencia (RealVsPMO)
UND DE BOMBEO#1 BPC-3410			74	\$ 68.895.562	54	\$ 51.013.409	\$ 17.882.153
ESP-MTTO-CONTROL-PRESUP-EBR_MEC			1	\$ -			
RB-PVO Actuador Mov Suc-Desc BPC-3410	5463	ELE	5	\$ 4.886.086	3	\$ 2.931.652	
RB-PVO Arranc Ele Mot Refrig de Mot Pal		ELE	1	\$ 900.474	1	\$ 900.474	
RB-PVO Arrancad Ele Mot Bom Lub Bpc-3410		ELE	1	\$ 564.152	1	\$ 564.152	
RB-PVO Bom Centrifuga#1 Ppal Bpc-3410		MEC	1	\$ 5.404.382	1	\$ 5.404.382	
RB-PVO Intercamb Calor Lube Sis Bpc-3410	5485	MEC	5	\$ 1.559.198	2	\$ 623.679	
RB-PVO Interruptor (+L06) 4160V BPC-3410	5465	ELE	5	\$ 3.723.568	2	\$ 1.489.427	
RB-PVO Mot 7.5HP Refrg Mot Pal BPC-3410		ELE	1	\$ 1.178.734	1	\$ 1.178.734	
RB-PVO MOT ELE 3500HP UND BOM BPC-3410	5466	ELE	5	\$ 9.200.632	2	\$ 3.680.253	
RB-PVO Mot Ele de Bomba Lubric Bpc-3410	5487	ELE	1	\$ 650.945	2	\$ 1.301.890	
RB-PVO RTDs Chumaceras Mot-Bom BPC-3410		CON	2	\$ 2.294.905	2	\$ 2.294.905	
RB-PVO Sis Lubricacion U Bombeo Bpc-3410	5486	MEC	5	\$ 2.274.738	1	\$ 454.948	
RB-PVO Sistema Sellado Bomba Bpc-3410		MEC	16	\$ 14.196.003	16	\$ 14.196.003	
RB-PVO- Tr Presion Un Bomb BPC-3410		CON	2	\$ 1.676.664	2	\$ 1.676.664	
RB-PVO- Tr Temp Un Bombeo BPC-3410	5471	CON	2	\$ 1.081.841	1	\$ 540.921	
RB-PVO Val Comp Succ-Desc Bpc-3410		MEC	2	\$ 2.552.942	2	\$ 2.552.942	
RB-PVO Variad Veloc Vfd-A 4160V Bpc-3410	5467	ELE	5	\$ 8.362.037	2	\$ 3.344.815	
RB-PVO-Indic Presion Lube Syste BPC-3410		CON	2	\$ 850.215	2	\$ 850.215	
RB-PVO-Indicad Temp Lube System BPC-3410	5477	CON	2	\$ 1.021.384	1	\$ 510.692	
RB-PVO-Sw de Nivel Lube System BPC-3410		CON	2	\$ 945.786	2	\$ 945.786	
RB-PVO-Sw Presion Dif Lube Syst BPC-3410		CON	4	\$ 3.071.400	4	\$ 3.071.400	
RB-PVO-Tr de Flujo Unid Bombeo BPC-3410		CON	2	\$ 1.485.145	2	\$ 1.485.145	
RB-PVO-V Cont Presion/Flujo Bom BPC-3410		CON	2	\$ 1.014.331	2	\$ 1.014.331	
UND DE BOMBEO#2 BPC-3420			72	\$ 70.347.826	54	\$ 48.872.814	\$ 21.475.012
RB-PVO Actuador Mov Suc-Desc BPC-3420	5463	ELE	4	\$ 5.554.751	3	\$ 4.166.063	
RB-PVO Arranc Ele Mot Refrig de Mot Pal		ELE	1	\$ 726.888	1	\$ 726.888	
RB-PVO Arrancad Ele Mot Bom Lub Bpc-3420		ELE	1	\$ 531.605	1	\$ 531.605	
RB-PVO Bom Centrifuga#2 Ppal Bpc-3420		ELE	1	\$ 1.215.098	1	\$ 1.215.098	
RB-PVO Intercamb Calor Lube Sis Bpc-3420	5485	MEC	5	\$ 1.492.570	2	\$ 597.028	
RB-PVO Interruptor (+L13) 4160V BPC-3420	5465	ELE	5	\$ 3.124.454	2	\$ 1.249.782	
RB-PVO Mot 7.5HP Refrg Mot Pal BPC-3420		ELE	1	\$ 1.822.648	1	\$ 1.822.648	
RB-PVO MOT ELE 3500HP UND BOM BPC-3420	5466	ELE	5	\$ 17.231.011	2	\$ 6.892.404	
RB-PVO Mot Ele de Bomba Lubric Bpc-3420	5487	ELE	1	\$ 759.435	2	\$ 1.518.870	
RB-PVO RTDs Chumaceras Mot-Bom BPC-3420		MEC	2	\$ 2.265.620	2	\$ 2.265.620	
RB-PVO Sis Lubricacion U Bombeo Bpc-3420	5486	MEC	5	\$ 2.321.775	1	\$ 464.355	
RB-PVO Sistema Sellado Bomba Bpc-3420		MEC	16	\$ 11.209.716	16	\$ 11.209.716	
RB-PVO- Tr Presion Un Bombeo BPC-3420		CON	2	\$ 1.316.036	2	\$ 1.316.036	
RB-PVO- Tr Temp Un Bombeo BPC-3420	5471	CON	2	\$ 1.150.539	1	\$ 575.270	
RB-PVO Vñl Comp Succ-Desc Bpc-3420		MEC	2	\$ 1.892.262	2	\$ 1.892.262	
RB-PVO Variad Veloc VFD-B 4160V Bpc-3420	5467	ELE	5	\$ 8.075.932	2	\$ 3.230.373	
RB-PVO-Indic Presion Und Bombeo BPC-3420		CON	2	\$ 1.737.272	2	\$ 1.737.272	
RB-PVO-Indic Temp Und Bombeo BPC-3420	5477	CON	2	\$ 917.379	1	\$ 458.690	
RB-PVO-Sw de Nivel Unid Bombeo BPC-3420		CON	2	\$ 1.286.249	2	\$ 1.286.249	
RB-PVO-Sw Presion Dif Lube Syst BPC-3420		CON	2	\$ 1.994.393	2	\$ 1.994.393	
RB-PVO-Sw Presion Un Bombeo BPC-3420		CON	2	\$ 1.510.476	2	\$ 1.510.476	
RB-PVO-Tr de Flujo Unid Bombeo BPC-3420		CON	2	\$ 987.458	2	\$ 987.458	
RB-PVO-V Cont Presion/Flujo Bom BPC-3420		CON	2	\$ 1.224.259	2	\$ 1.224.259	

Tabla 23. Continuación

UND DE BOMBEO#3 BPC-3430				73	\$ 75.801.621	55	\$ 56.433.496	\$ 19.368.125
RB-PVO Actuador Mov Suc-Desc BPC-3430	5463	ELE	4	\$ 4.562.900	3	\$ 3.422.175		
RB-PVO Arranc Ele Mot Refrig de Mot Pal		ELE	1	\$ 650.945	1	\$ 650.945		
RB-PVO Arrancad Ele Mot Bom Lub Bpc-3430		ELE	1	\$ 542.454	1	\$ 542.454		
RB-PVO Bom Centrifuga#3 Ppal Bpc-3430		MEC	1	\$ 11.792.792	1	\$ 11.792.792		
RB-PVO Intercamb Calor Lube Sis Bpc-3430	5485	MEC	5	\$ 1.494.103	2	\$ 597.641		
RB-PVO Interruptor (+L15) 4160V BPC-3430	5465	ELE	5	\$ 4.014.236	2	\$ 1.605.694		
RB-PVO Mot 7.5HP Refrg Mot Pal BPC-3430		ELE	1	\$ 1.301.891	1	\$ 1.301.891		
RB-PVO MOT ELE 3500HP UND BOM BPC-3430	5466	ELE	5	\$ 11.229.560	2	\$ 4.491.824		
RB-PVO Mot Ele de Bomba Lubric Bpc-3430	5487	ELE	1	\$ 596.699	2	\$ 1.193.398		
RB-PVO RTDs Chumaceras Mot-Bom BPC-3430		MEC	2	\$ 2.450.397	2	\$ 2.450.397		
RB-PVO Sis Lubricacion U Bombeo Bpc-3430	5486	MEC	5	\$ 3.536.941	1	\$ 707.388		
RB-PVO Sistema Sellado Bomba Bpc-3430		MEC	17	\$ 12.990.380	17	\$ 12.990.380		
RB-PVO- Tr Presion Un Bombeo BPC-3430		CON	2	\$ 1.704.190	2	\$ 1.704.190		
RB-PVO- Tr Temp Un Bombeo BPC-3430	5471	CON	2	\$ 1.145.899	1	\$ 572.950		
RB-PVO Vñl Comp Succ-Desc Bpc-3430		MEC	2	\$ 2.105.295	2	\$ 2.105.295		
RB-PVO Variad Veloc Vfd-C 4160V Bpc-3430	5467	ELE	5	\$ 8.177.757	2	\$ 3.271.103		
RB-PVO-Indic Presion Und Bombeo BPC-3430		CON	2	\$ 1.136.432	2	\$ 1.136.432		
RB-PVO-Indicad Temp Und Bombeo BPC-3430	5477	CON	2	\$ 944.406	1	\$ 472.203		
RB-PVO-Sw de Nivel Unid Bombeo BPC-3430		CON	2	\$ 1.113.007	2	\$ 1.113.007		
RB-PVO-Sw Presion Dif Lube Syst BPC-3430		CON	4	\$ 1.961.152	4	\$ 1.961.152		
RB-PVO-Tr de Flujo Unid Bombeo BPC-3430		CON	2	\$ 1.403.364	2	\$ 1.403.364		
RB-PVO-V Cont Presion/Flujo Bom BPC-3430		CON	2	\$ 946.821	2	\$ 946.821		
UND DE BOMBEO#4 BPC-3440				64	\$ 57.218.796	51	\$ 44.263.470	\$ 12.955.326
RB-PVO Actuador Mov Suc-Desc BPC-3440	5463	ELE	4	\$ 4.328.360	3	\$ 3.246.270		
RB-PVO Arranc Ele Mot Refrig de Mot Pal		ELE	1	\$ 828.362	1	\$ 828.362		
RB-PVO Arrancad El Mot Lube Sys Bpc-3440		ELE	1	\$ 828.362	1	\$ 828.362		
RB-PVO Intercamb Calor Lube Sis Bpc-3440	5485	MEC	4	\$ 1.223.222	2	\$ 611.611		
RB-PVO Interruptor (+L18) 4160V BPC-3440	5465	ELE	4	\$ 2.374.296	2	\$ 1.187.148		
RB-PVO Mot 7.5HP Refrg Mot Pal BPC-3440		ELE	1	\$ 934.572	1	\$ 934.572		
RB-PVO MOT ELE 3500HP UND BOM BPC-3440	5466	ELE	4	\$ 10.410.857	2	\$ 5.205.429		
RB-PVO Motores Ele Lube System Bpc-3440	5487	ELE	1	\$ 649.256	2	\$ 1.298.512		
RB-PVO RTDs Chumaceras Mot-Bom BPC-3440		MEC	2	\$ 1.548.696	2	\$ 1.548.696		
RB-PVO Sis Lubricacion U Bombeo Bpc-3440	5486	MEC	4	\$ 1.981.813	1	\$ 495.453		
RB-PVO Sistema Sellado Bomba Bpc-3440		MEC	14	\$ 13.039.526	14	\$ 13.039.526		
RB-PVO- Tr Presion Un Bombeo BPC-3440		CON	2	\$ 1.088.549	2	\$ 1.088.549		
RB-PVO- Tr Temp Un Bombeo BPC-3440	5471	CON	2	\$ 1.349.118	1	\$ 674.559		
RB-PVO Vñl Comp Succ-Desc Bpc-3440		MEC	2	\$ 2.257.445	2	\$ 2.257.445		
RB-PVO Variad Veloc Vfd-D 4160V Bpc-3440	5467	ELE	4	\$ 5.720.414	2	\$ 2.860.207		
RB-PVO-Indic Presion Und Bombeo BPC-3440		CON	2	\$ 1.247.337	2	\$ 1.247.337		
RB-PVO-Indicad Temp Und Bombeo BPC-3440	5477	CON	2	\$ 994.357	1	\$ 497.179		
RB-PVO-Sw de Nivel Unid Bombeo BPC-3440		CON	2	\$ 1.081.150	2	\$ 1.081.150		
RB-PVO-Sw Presion Dif Lube Syst BPC-3440		CON	4	\$ 2.500.883	4	\$ 2.500.883		
RB-PVO-Tr de Flujo Unid Bombeo BPC-3440		CON	2	\$ 1.725.233	2	\$ 1.725.233		
RB-PVO-V Cont Presion/Flujo Bom BPC-3440		CON	2	\$ 1.106.988	2	\$ 1.106.988		
Total general			283	\$ 272.263.805	214	\$ 200.583.189	\$ 71.680.616	

Nota. La tabla muestra los costos que fueron reducidos con las actividades optimizadas en azul claro el código de la actividad con el número de actividades realizadas vs actividades optimizadas y el costo de estas.

5.1.3 Costo del proyecto

Este proyecto integra varios aspectos importante para considerar en los costos iniciando con el proceso de investigación donde se evalúa los tipos de mantenimiento, las metodologías y la empresa, seguido de un diagnóstico que busca evaluar la gestión actual del mantenimiento, los equipos que integra el sistema y recolección de datos, el tercer aspecto es la clasificación de la información y evaluación. Este proyecto se desarrollo en un periodo de 8 meses por lo tanto se realizara una tabla de sueldos para un ingeniero mecánico recién egresado.

Tabla 24.

Costos del proyecto

Fuente suministrada	Sueldo
https://co.indeed.com/career/ingeniero	\$ 2.026.086
https://www.computrabajo.com.co/salarios/ingeniero-mecanico	\$ 2.227.799
https://www.finanzaspersonales.co/tra	\$ 2.500.000
Universidad Central	\$ 2.114.140
PROMEDIO	\$ 2.217.006
Costo de implementacion	Valor
Sueldo X Periodo de ejecucion	\$ 17.736.050

Nota. La tabla muestra los salarios generales que puede ganar un ingeniero mecánico egresado esta información es suministrada por portales de empleo en el país y el portal institucional de la universidad central.

5.1.4 Costo de implementación del proyecto por parte de ODL

Con el fin de identificar el valor del proyecto para implementar la optimización en la empresa esta deberá contar con un ingeniero mecánico con conocimientos específicos de mantenimiento el cargo que mejor se adapta a este requerimiento es un ingeniero mecánico con especialidad en gestión de activos.

Para esto se realizará una tabla de valores relacionados al sueldo que puede ganar un ingeniero mecánico con estas especificaciones en Colombia.

Teniendo en cuenta que el proyecto se puede realizar en un periodo de 12 meses si cuenta con la fase de investigación y la fase piloto donde se aprueba y se pone en marcha la optimización para luego ser evaluada y realizar un mejoramiento continuo.

Tabla 25.

Costos de implementación

Fuente suministrada	Sueldo
Tusalario.org/Colombia	\$ 2.943.849
https://www.computrabajo.com.co/salarios/ingeniero-mecanico	\$ 2.499.659
https://co.indeed.com/career/ingeniero-mec%C3%A1nico	\$ 2.044.947
Revista Semana	\$ 3.370.059
PROMEDIO	\$ 2.714.629
Costo de implementación	Valor
Sueldo X Periodo de ejecución	\$ 32.575.542

Nota. La tabla muestra los salarios generales que puede ganar un ingeniero mecánico egresado con especialidad esta información es suministrada por portales de empleo en el país y la revista de publicación política y económica de Colombia.

6. IMPACTO AMBIENTAL

6.1 Estudio de impacto ambiental

En la actualidad uno de los aspectos más importante para las empresas y en especial la industria petrolera es medir y prevenir las consecuencias que genera el crudo en el medio ambiente por esto realizar un estudio ambiental ayuda a aminorar los efectos que causan las acciones de mantenimiento o las fallas que presentan los equipo. Con el fin de darle solides al proyecto y la optimización de uno de los equipos prioritarios de la estación que está en continuo contacto con el producto y el derrame de la misma causa al ambiente una consecuencia severa se realizara un análisis de impacto ambiental con respecto a las fallas y las actividades de mantenimiento expuestas a lo largo del documento.

El siguiente análisis propone establecer un plan de acción que reduzca el impacto al medio ambiente, teniendo en cuenta los insumos, consumibles, material desecho, cambio de componentes este estudio se realizara bajo la norma ISO 14001 (Norma Técnica Colombiana).[11]

Según la norma ISO 14001 el aspecto ambiental es la actividad que interactúa con el medio ambiente y el impacto ambiental es el cambio que produce en el medio ambiente ya sea en beneficio o desfavorable para el mismo.

La clasificación del impacto ambiental se busca establecer el nivel del impacto ambiental que genera el mantenimiento preventivo efectuado en el equipo de bomba principal.

Tabla 26.

Nivel de impacto ambiental

Nivel de impacto	Ponderacion
Ninguno	0
Bajo	1
Medio	2
Alto	3

Nota. La tabla muestra las calificaciones del impacto que genera una actividad

Con la clasificación de la frecuencia y alcance del impacto ambiental generado por el mantenimiento se busca ver cuáles son las acciones que están teniendo impacto negativo en el medio ambiente debido a la frecuencia de las actividades y el lugar donde se realiza la actividad teniendo en cuenta que los equipos cuentan con un espacio en la estación el alcance de las actividades será ponderado con 1

Tabla 27.

Clasificación del impacto

Clasificacion	Descripccion	Ponderacion
Frecuencia	Anual	1
	Semestral	2
	Timestral	3
	Mensual	5
Alcance	Espacio reducido de la ESTACION	1
	Espacio dentro de los limites de la ESTACION	3
	Supera los limites de la ESTACION	5

Nota. La tabla muestra la puntuación por frecuencia y alcance que se tiene cuando se realiza la actividad de mantenimiento preventivo

Tabla 28.

Actividades de riesgo

Actividad vs Aspecto Ambiental vs Impacto ambiental		
CODIGO	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
5470	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores
5471	Generación de residuos sólidos	Contaminación del entorno
5472	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores
5473	Generación de residuos sólidos	Contaminación del entorno
5474	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores
5476	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores
5477	Generación de residuos sólidos	Contaminación del entorno
5484	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores
5465	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores
5466	Mala conexión emisión de ruidos y líquidos contaminantes	Contaminación auditiva y desechos de residuos
5467	Generación de residuos sólidos	Contaminación del entorno
5478	Generación de residuos sólidos	Contaminación del entorno
5479	Generación de residuos sólidos	Contaminación del entorno
5487	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores
5488	Generación de residuos sólidos	Contaminación del entorno
5464	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores
5468	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores
5469	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores
5485	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores
5486	Generación de residuos sólidos	Contaminación del entorno

Nota. La tabla muestra las actividades que generar riesgo ambiental y la descripción del aspecto e impacto que generan.

La tabla 28. permite identificar las actividades que generan un riesgo ambiental cuando estas son ejecutadas por un operario, como se muestra la mayoría de las actividades implica el uso de líquidos volátiles y lubricantes ya que se generan cambios de fluidos o limpiezas,

6.2 Análisis del impacto ambiental del mantenimiento preventivo

Con el fin de evaluar la optimización y buscar la mejora progresiva de las actividades de mantenimiento se realizará un análisis ambiental de las actividades realizadas actualmente contra las actividades mejoradas.

Teniendo en cuenta que solo se presentaron 20 actividades de riesgo con respecto a 23 actividades de mantenimiento preventivo que se realizan en los equipos dando como primera impresión que un 13% de las actividades no presentan un riesgo ambiental.

Tabla 29.

Matriz ambiental Mto sin PMO

Estable	0-3
Intermedio	4-6
Alto	7-15

Matriz Análisis de Impacto Ambiental actividades iniciales						
CODIGO	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Nivel de impacto	Frecuencia	Alcance	Total
5471	Generación de residuos sólidos	Contaminación del entorno	1	2	1	2
5477			1	2	1	2
5487	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores	3	1	1	3
5464			3	1	1	3
5467	Generación de residuos sólidos	Contaminación del entorno	2	2	1	4
5466	Mala conexión emisión de ruidos y líquidos contaminantes	Contaminación auditiva y desechos de residuos	2	3	1	6
5486	Generación de residuos sólidos	Contaminación del entorno	2	3	1	6
5468	Derrame de desengrasantes o fluidos volátiles, generación de residuos	Contaminación del suelo y aire de los alrededores	3	3	1	9
5485			3	3	1	9
5465			3	3	1	9
5469			3	5	1	15

Nota. En la tabla 29 se encuentran las actividades que representan un impacto ambiental

Las actividades con color rojo son aquellas que involucran productos inflamables en la limpieza de los componentes y cambio de fluidos por esta razón su impacto es alto, las actividades de color amarillo son las que generan un medio impacto esto se debe a que no se realizan con tanta frecuencia y las actividades de color verde generan un impacto bajo ya que no son tan presentes en el sistema.

Tabla 30.

Matriz ambiental con PMO

Estable	0-3
Intermedio	4-6
Alto	7-15

Matriz Análisis de Impacto Ambiental actividades Optimizadas						
CODIGO	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Nivel de impacto	Frecuencia	Alcance	Total
5471	Generacion de residuos solidos	Contaminacion del entorno	1	1	1	1
5477			1	1	1	1
5486			2	1	1	2
5487	Derrame de desengrasantes o fluidos volatiles, generacion de residuos	Contaminacion del suelo y aire de los alrededores	3	1	1	3
5464			3	1	1	3
5466	Mala conexión emision de ruidos y liquidos contaminantes	Contaminacion auditiva y desechos de residuos	2	2	1	4
5467	Generacion de residuos solidos	Contaminacion del entorno	2	2	1	4
5465	Derrame de desengrasantes o fluidos volatiles, generacion de residuos	Contaminacion del suelo y aire de los alrededores	3	2	1	6
5468			3	2	1	6
5485			3	2	1	6
5469			3	5	1	15

Nota. La tabla muestra cómo se refleja el PMO en el aspecto ambiental

La tabla 30 muestra una clara reducción del impacto ambiental en las actividades esto se debe a que la optimización reduce la frecuencia de la actividad de mantenimiento generando un impacto positivo para el medio ambiente, esta mejora ambiental permite la reorientación de los esfuerzos técnicos para el estudio y la mitigación de la actividad crítica, sin embargo en este documento se propondrá una posible solución a la actividad con el código 5469 que al ser una actividad de carácter operacional y está establecida para su ejecución en el horómetro del equipo cada 500 horas se propone el siguiente plan de mitigación ambiental para dicha actividad.

6.2.1 Plan de mitigación para actividad crítica

La actividad crítica con el código 5469 como se dijo anteriormente es de carácter operacional siendo esta la que más frecuencia de ejecución tiene en el sistema, contemplando que se ejecuta más de 15 veces al año por equipo y el sistema principal de bombeo cuenta con 6 equipos se propone la posible solución.

- ✓ Hacer un esquema de recolección de desechos lubricantes que involucre:
 - Contenedores Seguros en la planta para su reciclaje
 - Clasificación de contenedores por fluido
 - Recolección y cambios de líquidos con implementos que mitiguen las fugas o escapes

- ✓ Realizar un protocolo de tratamiento de líquidos inflamables de limpieza:
 - Utilizar productos de limpieza con huella bio
 - Reutilizar líquidos residuales

- ✓ Protocolo para cambio de aceites lubricantes en los equipos
 - Adecuar el área de trabajo para evitar desbordamientos
 - Uso de indumentaria Adecuada
 - Involucrar sistemas de drenaje

- ✓ Implementar un plan para el manejo de aceites lubricantes usados
 - Recuperación y aprovechamiento para otra línea de negocio
 - Regeneración de base lubricantes

6.3 Disposición final de los insumos

En este trabajo se propone un seguimiento de los insumos y los residuos generados por las actividades de mantenimiento en la estación, en la siguiente tabla se encontrarán los tipos de residuos que se pueden generar y el tratamiento o la disposición final.

Tabla 31.

Tratamiento por tipo de residuo.

Tipos de residuos	Tratamiento o disposición final
No Peligrosos	
Ordinarios e inertes: limpieza de superficies	Relleno Sanitario
Biodegradables	Lombricultura, Compostaje o relleno sanitario
Reciclables	Reciclaje de material para volver a ser utilizado en procesos productivos como materia prima
Plásticos	
Embases de vidrio	
Cartón	
Chatarra	
Papel	
Icopor	
Peligrosos	
Líquidos lubricantes	Tanque de almacenamientos
Estopas contaminadas	
Líquido Inflamables	
Líquido Inflamable contaminado	
Materiales sólidos	Contenedor de material

Nota. La tabla muestra cómo se debe establecer el tipo de residuos y cuáles son los posibles generados por todas las actividades de mantenimiento.

Una vez identificadas estas actividades se realizará una tabla de control con el fin de generar indicadores de gestión ambiental de las actividades. Con los indicadores se puede establecer la cantidad de toneladas y litros de residuos que se genera anualmente en la estación y como realizar un mejor control.

Tabla 32.

Control de almacenamiento de residuos

Tipo de almacenamiento	Cantidad mensual de residuos
Tanques de almacenamiento	Se establecerá una medida de volumen para identificar cada uno de los fluidos que es tratado en la instalación. Cada tanque de almacenamiento será para cada fluido específico que se genere en la
Contenedor de Materiales sólidos	Se establecerá una medida de peso para identificar la cantidad de material residual producto de respuestos como piezas dañadas, chatarra, equipos, entre otros
Contenedor de Material de reciclaje	Se establecerá una medida de peso para identificar la cantidad de material residual producto de mantenimiento como empaques de piezas papel de trabajo, plásticos, vidrio entre otros

Nota. La tabla muestra como almacenar los diferentes residuos y la forma de medir el contenido.

Con el almacenamiento adecuado de los residuos se puede realizar la entrega de materiales a diferentes sectores para el aprovechamiento de este. Para dar cumplimiento a las políticas ambientales la estrategia adecuada para realizar la disposición final de los residuos generados por las actividades de mantenimiento es necesario proceder a la contratación de empresas especializadas en eliminación de residuos ya que estas se encargan de la recolección, transporte, aprovechamiento, transformación y disposición final de los mismos. Estas empresas cuentan con la tecnología disponible para el beneficio de los usuarios de forma que se garantice la salud pública y la preservación del medio ambiente.

7. CONCLUSION

Se determina que el PMO es una metodología que permite la mejora continua, cuando se enfoca en un área específica genera resultados rápidos y efectivos. Los pasos sugeridos en este documento logran enfocar el PMO en los equipos que requieren atención, la clasificación adecuada de los sistemas permite realizar un diagnóstico eficiente.

La metodología de criticidad permite dar un balance general del diagnóstico del mantenimiento del sistema principal de bombeo, arrojando que equipos requieren una optimización prioritaria, deja en evidencia el balance de equipo mas costoso de mantener, la especialidad que más se realiza al intervenir el equipo, la especialidad más costosa y el equipo que más paradas de mantenimiento tiene.

La optimización logra los resultados esperados con el estudio del MTBF se logra ajustar los periodos de intervención preventivas de la máquina, generando así una reducción de actividades considerables, esta optimización refleja beneficios como, la disponibilidad del equipo, el tiempo de intervención del operario y reducción del stand de repuestos. Además, se implementaron indicadores que permitirán a la empresa hacer un seguimiento de actividades, para así compararse competitivamente con otras.

El análisis de impacto ambiental logra establecer cuáles son las actividades riesgosas y se logra mitigar el impacto que estas generan gracias a la optimización, también se realiza una propuesta de mejora para la actividad operativa, siendo esta una de las que más impacto tiene en el sistema.

El análisis financiero refleja una reducción del 26% de los costos con respecto al mantenimiento ejecutado y un sobre costo del 13% con respecto al planeado, teniendo en cuenta que el sobre costo que ejecuto la empresa fue de un 56%.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ODL S.A. "Composición accionaria de la empresa" [en línea] Disponible en: <https://www.odl.com.co/index.php/quienes-somos-2> [Acceso: 25 de junio del 2020]
- [2] "Industria de Petróleo y Gas - Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos" [en línea] Disponible en: <https://acp.com.co> [Acceso: 8 de julio del 2020]
- [3] CORTES M. Elkin Alonso. *Fundamentos de mantenimiento de máquinas y equipos mecánicos*. Colombia. 1995. P 100.
- [4] GONZALEZ B., Carlos Ramón. *Especialización en Gerencia de Mantenimiento 2007. Principios de mantenimiento*. Colombia. 2007. P. 39.
- [5] GARCIA P, Olivero. *El sistema PMO: OPTIMIZACION REAL DEL MANTENIMIENTO PLANEADO*. Chile. 2007, p. 11.
- [6] SILVA A, Pedro E. *Mantenimiento en la práctica lo que un gerente de confiabilidad debe saber*. Colombia. 2009, p.59
- [7] "Metodología eficiente del PMO" [en línea] Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/la-garantia-de-la-confiabilidad-de-la-empresa> [Acceso: 15 de julio del 2020]
- [8] SILVA A, Pedro E. *Mantenimiento en la práctica lo que un gerente de confiabilidad debe saber*. Colombia. 2009, p.209
- [9] The Quality Toolbox "Análisis de modos y efectos de falla" [en línea] Disponible en: <https://asq.org/quality-resources/fmea> [Acceso: 23 de septiembre del 2020]
- [10] Leedeo Engineering "Parámetros de cálculos de indicadores" [en línea] Disponible en: <https://www.leedeo.es/l/mtbf> [Acceso: 10 de octubre del 2020]
- [11] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. *Sistema de gestión ambiental*. NTC ISO 14001. Bogotá, Colombia: ICONTEC 2015

ANEXO

RECOMENDACIONES

Para el proceso de implementación del PMO en el sistema de bombas principales se debe tener en cuenta la fase de riesgos.

Se puede implementar una metodología para calcular el MTBF y ser más exacto en los cálculos ya que esto genera mejores resultados, para ajustar la periodicidad de las actividades.

Realizando un estudio de disponibilidad de equipos se puede lograr una optimización general ya que la estación opera con una disponibilidad mayor a la necesaria actualmente.

Es necesario realizar capacitaciones constantes al operario para formar buenos hábitos de mantenimiento y manejo de programas que permita unificar la información suministrada.

En este proyecto queda evidencia que la optimización de un solo sistema genera una reducción del 26% de los costos, para estudios posteriores se pueden agregar más sistemas logrando una optimización que abarque más sistemas de la estación generando un mayor impacto en la reducción de costos de mantenimiento.