



APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LA REALIZACIÓN DEL PLAN
DE MANTENIMIENTO DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE LA PLANTA DE
INYECCIÓN DE AGUA DEL CAMPO YARIGUÍ DE LA GERENCIA DE
OPERACIONES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DEL RÍO DE ECOPETROL
S.A.

MIGUEL FELIPE ÁVILA JURADO
FREDY JOHAN ROA AYALA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2018



APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LA REALIZACIÓN DEL PLAN
DE MANTENIMIENTO DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE LA PLANTA DE
INYECCIÓN DE AGUA DEL CAMPO YARIGUÍ DE LA GERENCIA DE
OPERACIONES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DEL RÍO DE ECOPETROL
S.A.

MIGUEL FELIPE ÁVILA JURADO
FREDY JOHAN ROA AYALA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR
ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES
INGENIERO MECÁNICO

CODIRECTOR
ARIEL RICARDO PÉREZ GELVEZ
INGENIERO MECÁNICO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2018

DEDICATORIA

A Dios y a la vida, porque como dice mi madre: "Su tiempo es perfecto" y sus leyes termodinámicas me enseñaron que si te rodeas de buenas fuentes de energía las cosas saldrán mejor de lo que esperas.

A mis padres, por estar ahí en todo momento apoyándome e impulsándome a cumplir mis metas, por su amor incondicional, por sus sabios consejos, por confiar en mi incluso cuando yo no lo hago y por hacerme sentir tan orgulloso de ellos, todo lo que he logrado ha sido gracias a ellos y será dedicado siempre a ellos.

A mis tías y primos que por más distantes que estemos nuestro apoyo mutuo no se desvanece.

A Daniela, por acompañarme en todo este proceso con su paciencia, su sonrisa y las palabras correctas para cada situación, en especial aquella que parecía invencible.

A Fredy, "o melhor companheiro de TCC", por recibirme en su familia como un integrante más, por su paciencia y por su dedicación y esfuerzo para culminar esta etapa. A mis amigos, Carlos, Dudu, Jhorrin, Julián, Daniel, Luisa, Nathy, Any y Dani porque siempre han estado presentes con su buena actitud y su alegría.

*A todos ustedes que han aportado su granito de arena para alcanzar esta y mis demás metas, solo tengo por decirles: **gracias totales.***

Miguel Felipe Ávila Jurado

DEDICATORIA

Primeramente a Dios, que me ha guiado en este proceso educativo, llenándome de sus bendiciones y permitiéndome cumplir uno de los mayores objetivos de mi vida. Agradezco todos los días el don de la vida y las oportunidades que me ha brindado.

A mis padres, Reynaldo y Nohora que junto con las enseñanzas de mis abuelos, su esfuerzo y amor me han educado en valores y acciones que son la base de la persona que soy. Valoro plenamente todo el apoyo que me han dado, sus consejos y las clases en la "universidad de la vida" porque gracias a eso soy consciente de lo que debo enfrentar y la responsabilidad que tendré en esta nueva etapa como ingeniero.

Los frutos de este proceso son de ellos y para ellos, los amo.

A mi familia, que de alguna u otra forma, en la lejanía o la cercanía, han sido de gran ayuda, llenándome de sus buenas energías, tradiciones y conocimientos que pasan de generación en generación.

Siempre los llevo presentes en cada momento y me siento orgulloso de pertenecer a esa gran familia.

A Miguel, por su gran trabajo y dedicación en todas las metas que se propone, es un placer haber tenido la oportunidad de realizar este trabajo al lado de una gran persona como él, "sempre é um prazerão compartilhhar momentos com você". A mis amigos, que sin los momentos compartidos, las cosas aprendidas y el apoyo mutuo que nunca faltará, nada de esto sería igual.

Agradezco a todas las personas que en cada etapa de mi vida han aportado a mi crecimiento personal, intelectual, espiritual y profesional. Muchas gracias.

Fredy Johan Roa Ayala

AGRADECIMIENTOS

A Ecopetrol S.A. por permitirnos generar conocimiento a partir de sus experiencias. A los profesionales del departamento Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad - IMC en especial a los ingenieros Alfonso Quintero, Ariel Pérez y Carlos Rey por su disponibilidad y paciencia para resolver todos los impases presentados a lo largo del proyecto.

Al Departamento de Mantenimiento encargado de la estación Isla NQ, especialmente a los ingenieros Jaime Morales y José Castillo, así como a todos los demás profesionales de las diferentes ramas de Ecopetrol S.A. que prestan su labor en la planta de inyección de agua y que siempre estuvieron dispuestos a resolver dudas y generar soluciones.

Al nuestro director Snardo González por sus enseñanzas, su disposición, su humor y su exigencia al guiarnos en este proyecto con la meta de lograr siempre lo mejor.

A todos los profesores y personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Mecánica y a nuestros compañeros y amigos que hicieron parte activa de este proceso.

A la Universidad Industrial de Santander - UIS, la Universidad Estadual de Campinas - UNICAMP y la Escuela de Ingeniería de São Carlos de la Universidad de São Paulo - FEUSP-USP por todas las oportunidades ofrecidas y las experiencias vividas que sin duda alguna influenciaron y dejaron marcas inolvidables que aportaron a la realización de este libro con el cual concluye nuestra aventura como estudiantes de Ingeniería Mecánica.

A todos ustedes, a nuestras familias, a nuestros amigos y quienes se interesen en este texto, les agradecemos de corazón.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	20
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	22
1.3. OBJETIVOS	25
1.3.1. Objetivo general	25
1.3.2. Objetivos específicos	25
1.4. METODOLOGÍA	26
2. DESCRIPCIÓN DE ECOPEPETROL S.A.	28
2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL	28
2.2. LA CADENA DE VALOR EN ECOPEPETROL S.A.	29
2.3. CULTURA ORGANIZACIONAL	31
2.4. MISIÓN	31
2.5. VISIÓN	32
2.6. CÓDIGO DE ÉTICA	32
2.7. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	33
2.7.1. Vicepresidencia de desarrollo y producción	33
2.7.2. Vicepresidencia regional central – VRC	34
2.7.3. Coordinación de IMC regional central	35
2.7.3.1. Funciones de IMC en los procesos E&P	37
2.7.3.2. Interacción con otras dependencias	38

2.7.3.3. Síntesis de la estrategia de mantenimiento.....	40
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL PROYECTO.....	40
3.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	41
3.2. REFERENTES TEÓRICOS	46
3.2.1. RCM II: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	46
3.2.2. ISO 14224: <i>Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment</i>	46
3.2.3. Ingeniería de confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo.....	47
3.2.4. PAS 55 (<i>Publicly Available Specification</i>)	47
3.3. MANTENIMIENTO, FUNDAMENTOS TEÓRICOS E INDICADORES.....	48
3.3.1. Mantenimiento y sus definiciones	48
3.3.2. Evolución del mantenimiento	50
3.3.3. Indicadores de eficacia del departamento (A1, A2, A3 y A4).....	53
3.3.4. Indicadores del avance tecnológico y utilización de recursos (B1, B2, B3 y B4)	55
3.3.5. Indicadores de gestión económica (C1, C2, C3 y C4)	56
3.3.6. Indicadores de calidad y desarrollo de recursos humanos (D1, D2, D3 y D4)	57
3.4. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD – RCM	58
3.5. GESTIÓN DE ACTIVOS EN ECOPETROL S.A.....	64
3.5.1. Gestión del riesgo.....	65
3.5.2. Gestión de iniciativas	65
3.5.3. Gestión de operación del mantenimiento.....	68
3.5.4. Optimización de desempeño de los activos.....	68

3.5.5. Software de gestión de activos SAP	69
4. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DEL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE LA PIA	72
4.1. ACTUALIZACIÓN DE LOS EQUIPOS EN SAP ERP	72
4.1.1. Verificación de equipos cargados en el sistema	72
4.1.2. Verificación de equipos en planta	76
4.1.3. Actualización de los equipos.....	77
4.2. ESTABLECIMIENTO DE LOS EQUIPOS OBJETIVO DE LA METODOLOGÍA RCM	80
5. ESTABLECIMIENTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM PARA LAS UNIDADES DE BOMBEO DE AGUA DE INYECCIÓN P-665 F, P-665 G, P-665 H y P-665 I.....	82
5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN.....	82
5.2. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDADES DE BOMBEO.....	83
5.2.1. Bomba	84
5.2.2. Motor.....	85
5.2.3. Sistema de lubricación.....	86
5.2.4. Sistema de monitoreo	87
5.2.5. Criticidad del sistema.....	88
5.3. DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS Y SUBSISTEMAS	89
5.4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM.....	89
5.4.1. Ajuste del formato de análisis de modos y efectos de falla (AMEF) diseñado por Ecopetrol S.A.....	90
5.4.2. Identificación de las funciones y las fallas funcionales	90

5.4.3. Identificación de los principales modos de falla, sus efectos y posibles causas de falla	91
5.4.4. Planteamiento de las actividades de mantenimiento	92
5.4.5. Realización de los talleres RCM	93
5.5. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM	94
5.5.1. Resultados del AMEF	94
5.5.2. Análisis económico	99
6. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL SOFTWARE DE GESTIÓN DE ACTIVOS SAP ERP.....	104
6.1. VERIFICACIÓN DE LA EXISTENCIA EN SAP DE LAS APL REQUERIDAS EN EL PLAN DE MANTENIMIENTO	104
6.2. CREACIÓN DE LAS HOJAS DE RUTA EN SAP ERP	104
6.3. CREACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN SAP ERP	105
7. CONCLUSIONES.....	111
BIBLIOGRAFÍA.....	113

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones de la bomba centrífuga FlowServe	84
Tabla 2. Especificaciones del motor <i>General Electric</i>	85
Tabla 3. Horas hombre (HH) anuales estimadas para el plan de mantenimiento	103
Tabla 4. Creación de hoja de ruta.....	104
Tabla 5. Creación desde hoja de ruta existente.....	105
Tabla 6. Creación del plan de mantenimiento en SAP ERP	106

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Planta de inyección de agua (PIA).....	20
Figura 2. Proceso de inyección de agua.....	21
Figura 3. Bomba HPS REDA multietapa.....	24
Figura 4. Bomba de inyección multietapa de carcasa partida.....	24
Figura 5. Sistema de lubricación en las bombas de inyección de la PIA	25
Figura 6. Metodología del proyecto.....	27
Figura 7. Cadena de valor de los hidrocarburos	29
Figura 8. La cadena de valor en Ecopetrol S.A.....	29
Figura 9. La cultura Ecopetrol	31
Figura 10. Organigrama de Ecopetrol S.A.	33
Figura 11. Vicepresidencia de desarrollo y producción.....	34
Figura 12. Vicepresidencia regional central - VRC	35
Figura 13. Estructura tipo de procesos clave de exploración y producción	36
Figura 14. Funciones IMC en los procesos E&P.....	37
Figura 15. Estructura organizacional IMC - VRC	38
Figura 16. Estructura organizacional IMC – VRC	39
Figura 17. Estructura organizacional del mantenimiento en la VRC	40
Figura 18. Síntesis de la estrategia de mantenimiento	40
Figura 19. Clasificación del mantenimiento	50
Figura 20. Expectativas durante la evolución del mantenimiento	51
Figura 21. Técnicas durante la evolución del mantenimiento	52
Figura 22. Generaciones durante la evolución del mantenimiento.	53
Figura 23. Metodología para evaluación de consecuencias de falla.....	60
Figura 24. Lógica de selección de patrones de falla	61
Figura 25. Beneficios de la gestión de iniciativas.....	66
Figura 26. Beneficio de la alta gerencia.....	66
Figura 27. Beneficio de datos y enlaces mejorados.....	67

Figura 28. Organización de gestión de iniciativas.....	67
Figura 29. Flujo de proceso de los componentes de la SAP	70
Figura 30. Componentes de la ERP	71
Figura 31. Sistema de inyección en SAP	73
Figura 32. Subsistemas de la planta de inyección	74
Figura 33. Unidades de bombeo cargadas en SAP ERP.....	75
Figura 34. Formato actualizado de los equipos instalados en la PIA.....	76
Figura 35. Actualización en SAP ERP de los equipos de la PIA.....	78
Figura 36. Planes mantenimiento unidades bombeo HPS.....	81
Figura 37. Proceso de inyección de agua.....	82
Figura 38. Unidad de bombeo para la inyección.....	83
Figura 39. Sistema de lubricación.....	87
Figura 40. Identificación de las funciones y fallas funcionales	91
Figura 41. Modo, efecto y causa de falla	91
Figura 42. Actividades de mantenimiento	92
Figura 43. Componente bomba de inyección	95
Figura 44. Lazo de control de presión - Válvula PCV	95
Figura 45. Componente motor	96
Figura 46. Sistema de lubricación - Filtros.....	96
Figura 47. Arrancador	96
Figura 48. Sistema de lubricación - Bomba de inyección	96
Figura 49. Componente monitoreo por vibración	97
Figura 50. Sistema de lubricación - Motores.....	97
Figura 51. Control I&M - Transmisores	97
Figura 52. Lazo de control de presión - Transmisores.....	97
Figura 53. Sistema de lubricación – Válvula de seguridad	98
Figura 54. Válvula MOV de descarga	98
Figura 55. Sistema de lubricación – Control I&M.....	98
Figura 56. Válvula de seguridad de descarga	98
Figura 57. Valor del barril de crudo en dólares (USD)	100

Figura 58. Equivalente de COP en dólares.....	101
Figura 59. Análisis de costos	102
Figura 60. Planes de mantenimiento en SAP para las unidades de bombeo	107
Figura 61. Mantenimiento para unidad de bombeo P-665 F	107
Figura 62. Mantenimiento para unidad de bombeo P-665 G	108
Figura 63. Mantenimiento para unidad de bombeo P-665 H	108
Figura 64. Mantenimiento para unidad de bombeo P-665 I	108
Figura 65. Mantenimiento basado en condición (CBM)	109
Figura 66. Mantenimiento preventivo	109

LISTA DE ANEXOS

(Los anexos están adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS)

Anexo A. Hoja de compromiso

Anexo B. Carta de aprobación

Anexo C. Contrato de aprendizaje

Anexo D. Metodología

Anexo E. Código de ética

Anexo F. Guía Matriz de Valoración de Riesgos RAM

Anexo G. Guía para identificar equipos críticos (ASP)

Anexo H. Equipos que fueron entregados por la fase 2 de la planta de inyección de agua de la estación Isla VI

Anexo I. Equipos pertenecientes al sistema de inyección presentes en la catalogación entregada por proyectos

Anexo J. Información de equipos por crear condensada en la plantilla de cargue de equipos a SAP

Anexo K. Manual de bombas, Sistema de lubricación y Motor eléctrico

Anexo L. Ajuste del formato de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) diseñado por Ecopetrol S.A.

Anexo M. Formato AMEF propuesto para verificar su validez mediante los talleres RCM

Anexo N. Resultado final AMEF

Anexo O. Acta de talleres RCM realizados

Anexo P. Horas Hombre (HH) requeridas por el RCM

Anexo Q. Planes de mantenimiento en SAP

RESUMEN

TÍTULO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LA REALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE LA PLANTA DE INYECCIÓN DE AGUA DEL CAMPO YARIGUÍ DE LA GERENCIA DE OPERACIONES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DEL RÍO DE ECOPETROL S.A.*

AUTORES: MIGUEL FELIPE ÁVILA JURADO
FREDY JOHAN ROA AYALA**

PALABRAS CLAVE: PETRÓLEO, INYECCIÓN DE AGUA, BOMBAS MULTITAPAS, PLANTA DE INYECCIÓN DE AGUA, MANTENIMIENTO, RCM.

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo de grado expone el desarrollo del plan de mantenimiento basado en la estrategia RCM para las unidades de bombeo de inyección de agua del tipo carcasa partida instaladas en la planta de inyección de agua (PIA) del campo Yariguí de Ecopetrol S.A., con el fin de cumplir la normatividad de la empresa y a su vez, alcanzar un incremento en la seguridad operacional, la disponibilidad de los equipos, la relación costo-beneficio y la vida útil de los activos.

Dicho desarrollo es llevado a cabo a partir de la recopilación de información contenida en el software SAP ERP y del sistema en planta para verificar y actualizar la información en el sistema y así proceder a la realización de los talleres RCM en donde se identificaron los modos y efectos de falla de los componentes del sistema de inyección, proponiendo acciones de mantenimiento que permitan adelantarse a ellos y finalmente se cuenta con la condensación de estas acciones en un plan de mantenimiento debidamente implementado en SAP ERP. Adicionalmente se realizó un análisis económico basado en el peor caso histórico presentado en la planta de inyección, el cual da una base teórica a la implementación del plan de mantenimiento definido y aprobado tanto por la coordinación IMC como por el departamento ejecutor del mantenimiento. Cada uno de los capítulos contiene imágenes y anexos referenciados para explicar mejor la metodología del proyecto.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Isnardo González Jaimes. Ingeniero Mecánico.

ABSTRACT

TITLE: APPLICATION OF THE RCM METHODOLOGY FOR CARRYING OUT THE MAINTENANCE PLAN OF THE INJECTION PUMPS OF THE YARIGUÍ FIELD OF WATER INJECTION PLANT OF THE MANAGEMENT OF DEVELOPMENT AND PRODUCTION OPERATIONS OF THE ECOPETROL RIVER S.A.*

AUTHORS: MIGUEL FELIPE ÁVILA JURADO
FREDY JOHAN ROA AYALA**

KEY WORDS: PETROLEUM, WATER INJECTION, MULTI-STAGE PUMPS, WATER INJECTION PLANT, MAINTENANCE, RCM.

DESCRIPTION:

This bachelor thesis presents the development of the RCM based maintenance plan for the split case pumping units placed in the water injection plant (PIA) at the Yariguí field of Ecopetrol S.A. with the purpose of following the regulations of the company and increasing the operational security, the equipment availability, the cost-benefit relation and the assets lifespan.

Such development is carried out from the collection of information from the software SAP ERP and the equipment installed in plant to verify and update the data on the system, followed by the realization of RCM workshops with the professionals who are in charge of equipments where the failure modes and effects of the injection system are identified to proposing maintenance actions that allows coming early to failure. Finally, the summary of that actions are presented in a maintenance plan properly implemented in SAP ERP. In addition, it is developed an economic analysis based on the worse historical case showed up in the water injection plant, which gives a theoretical basis to the implementation of the maintenance plan defined and approved by both the IMC coordination and the maintenance executing department. Each one of the chapters contains images and annexes referenced to explain better the project methodology used in.

* Bachelor Thesis.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Isnardo González Jaimes. Ingeniero Mecánico.

INTRODUCCIÓN

Ecopetrol S.A. nació a partir de la reversión al Estado Colombiano de la *Tropical Oil Company* por medio de la Concesión De Mares en 1951, para luego en el 2003 tomar su nombre actual dado por el Decreto 1760 que modificó la estructura orgánica de la Empresa Colombiana de Petróleos. Actualmente Ecopetrol S.A. es la empresa más grande y la principal compañía petrolera en Colombia, llegando a estar en el top 5 de las petroleras principales de Latinoamérica.

El campo Yariguí objeto del desarrollo de este trabajo de grado cuenta con una planta de inyección de agua (PIA) y actualmente está en fase secundaria, por lo que inyecta en promedio 42.520 barriles de agua por día, produciendo un recobro promedio de 14.983 barriles de crudo diarios y siendo así uno de los campos más importantes para Ecopetrol S.A.

El proceso de inyección de agua por parte de la PIA es comprendido por 3 etapas: Pre-tratamiento, realiza la separación del agua que viene con petróleo y sedimentos provenientes de los pozos de captación. Filtración, hace circular el agua por los filtros mediante un árbol de bombas. Inyección, una serie de bombas envían el agua a los pozos con una presión de 3300 psi.

Este trabajo de grado usa los conceptos teóricos del RCM para identificar los modos y efectos de falla de las unidades de bombeo multietapa de inyección de agua tipo carcasa partida y así establecer acciones de mantenimiento con su respectiva implementación en SAP ERP, incluyendo un análisis económico que toma como referencia la peor situación de disponibilidad presentada en la planta de inyección.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria petrolera, los procedimientos para la extracción de crudo se clasifican en tres fases¹: primaria, secundaria y terciaria o mejorada. La fase primaria es producto del flujo natural del yacimiento en donde su propia presión es suficiente para empujar los fluidos hacia el exterior; la fase secundaria viene dada al terminarse la primaria o si el yacimiento naturalmente no posee la presión requerida para que se dé la primaria, en esta fase se utiliza la inyección de agua o gas al yacimiento para generar dicha presión; por último, la etapa terciaria, viene después de la secundaria, en esta se inyectan productos químicos, energía térmica o gases miscibles para lograr la extracción del crudo.

Figura 1. Planta de inyección de agua (PIA)

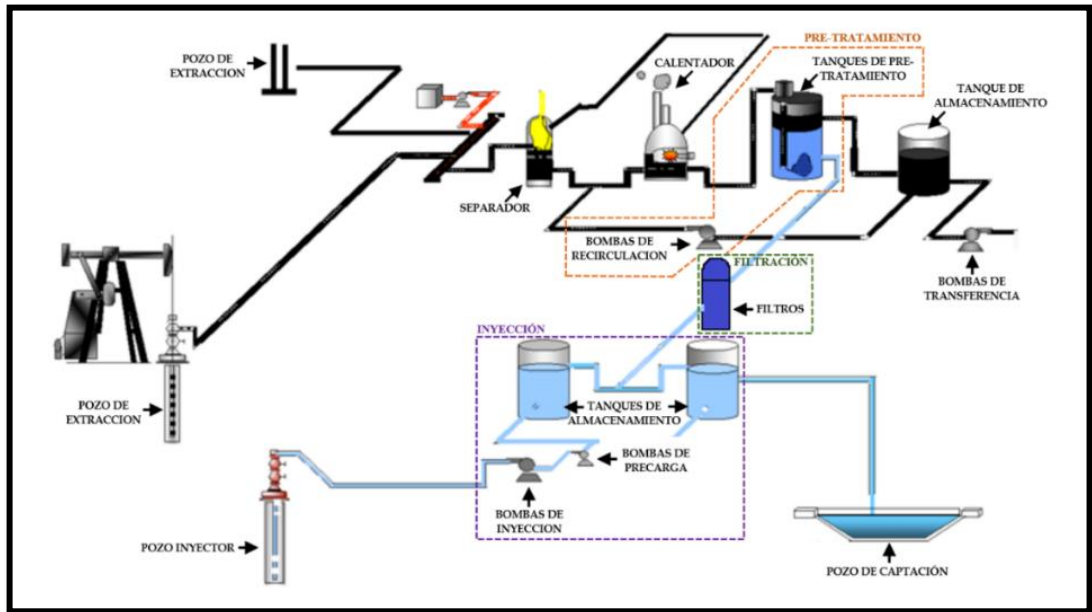


El campo Yariguí (Figura 1) es uno de los más valiosos para Ecopetrol S.A., se encuentra actualmente en fase secundaria y cuenta con una planta de inyección de agua (PIA) que inyecta en promedio 42.520 barriles de agua por día, produciendo un recobro promedio de 14.983 barriles de crudo diarios. El proceso de inyección

¹ LA COMUNIDAD PETROLERA. Métodos de recuperación secundaria. [En línea]. Diciembre de 2008. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: <https://www.lacomunidadpetrolera.com/2008/12/mtodos-de-recuperacin-secundaria.html>

de agua por parte de la PIA es comprendido por 3 etapas: Pre-tratamiento, filtración e inyección; estas etapas se muestran en la figura 2.

Figura 2. Proceso de inyección de agua



Fuente: WIKISPACES. Plantas de Inyección de Agua Salada. [En línea]. Recuperado en 08 septiembre 2017. Editado por Autores. Disponible en: [https://thecontrolengineerep.wikispaces.com/Proyecto+PIAS+\(Plantas+de+Inyeccion+de+Agua+Salda](https://thecontrolengineerep.wikispaces.com/Proyecto+PIAS+(Plantas+de+Inyeccion+de+Agua+Salda)

El pre-tratamiento se realiza en una serie de tanques interconectados a los cuales llega agua proveniente de los pozos de captación y de los residuos del recobro de crudo, allí se eliminan las trazas oleosas* que pueden contener el agua. Luego se pasa a la etapa de filtración, en donde un árbol de bombas hace circular el agua por

* Mezcla de petróleo, agua y sedimentos en diferentes proporciones.

los filtros y cuando este proceso termina, el agua se transfiere a los tanques de almacenamiento de agua de inyección. En la etapa de inyección, una serie de bombas denominadas Booster toman el agua de los tanques y aumentan su cabeza de presión por encima de los 100 psi, requeridos para la succión en las bombas y de esta forma poder enviar el agua a los pozos con una presión de 3300 psi.

Después de ser extraído el crudo, el agua inyectada que retorna en el proceso de recobro se trataba para un posterior vertimiento al río, lo que hizo que Ecopetrol S.A. quisiera modificar el proceso de inyección para reutilizar esa agua, ya que todo este fluido se estaba desaprovechando al ser dispuesto de una manera poco eficiente afectando al medio ambiente y por ende la comunidad que vive en la zona. Para este propósito fue necesaria la ampliación de la PIA, instalándose nuevas bombas de inyección que son más modernas que las existentes y además permiten que la planta aumente su capacidad de bombeo.

Con la incorporación de nuevos activos a la PIA y la falta de implementación de alguna estrategia de mantenimiento en ellos, se incrementa su probabilidad de falla, es decir, se hace necesario realizar la actualización de la estrategia de mantenimiento aplicada al sistema de inyección, pues como se menciona anteriormente, la falla de los activos principales de una PIA es indeseable ya que afecta directamente a la producción total, por tal razón, Ecopetrol S.A. ha adoptado la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la realización e implementación del mantenimiento en sus activos, el cual ha mostrado resultados efectivos con el paso de los años.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La implementación de la metodología RCM en los activos más críticos de una planta de inyección de agua representa una serie de ventajas, como lo son:

- Incremento de la seguridad operacional.
- Aumento en la disponibilidad de los equipos.

- Incremento de la relación costo-beneficio.
- Aumento en la vida útil de los activos.

Las ventajas mencionadas anteriormente permiten la posibilidad de mejorar la sostenibilidad y rentabilidad de la empresa debido a que al tener una operación continua y confiable se asegura que no disminuya, o en el peor de los casos se detenga, la producción de crudo. Para Ecopetrol S.A. es muy importante asegurar la disponibilidad de crudo, ya que esta es la materia prima necesaria para adquirir los diferentes productos que se obtienen mediante los procesos realizados en la refinería de Barrancabermeja, tales como son los productos petroquímicos, industriales, gas licuado de petróleo (GLP) y combustibles².

El sistema actual de inyección de la PIA está conformado por 9 bombas. Desde la instalación inicial de la planta están en operación 5 bombas multietapa de tipo horizontal (HPS) de marca REDA (Figura 3), estas cuentan con una capacidad nominal de 584 GPM a una presión de descarga de 3300 PSI y son accionadas mediante un motor eléctrico de 1500 HP. Las 4 bombas nuevas de inyección son también bombas multietapa pero del tipo carcasa partida (Figura 4), de marca FlowServe con 14 etapas cada una, estas cuentan con un flujo nominal de 644 GPM a una presión de descarga de 3200 PSI, temperaturas de operación entre 80 y 140 °F y son accionadas por motores de 1900 HP con velocidad de 3574 RPM.

² ECOPETROL S.A. Nuestros productos. [En línea]. Bogotá D.C. 2017. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/gasnatural.html

Figura 3. Bomba HPS REDA multietapa



Figura 4. Bomba de inyección multietapa de carcasa partida



Adicionalmente, cada una de las bombas nuevas cuenta con su propio sistema de lubricación para sus cojinetes y un sistema de monitoreo en tiempo real basado en sensores de movimiento y temperatura que permiten analizar vibraciones y desalineamientos tanto radiales como axiales como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Sistema de lubricación en las bombas de inyección de la PIA



1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general Realizar el plan de mantenimiento de las bombas de inyección de la planta de inyección de agua (PIA) del campo Yariguí perteneciente a la gerencia de operaciones de desarrollo y producción del río de Ecopetrol S.A. a partir de la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual del mantenimiento de las bombas de inyección de la PIA en base a las estrategias de mantenimiento activas en SAP ERP. Para esto se debe:
 - Analizar los equipos existentes en SAP ERP y comparar esta información con la recolectada sobre los equipos existentes en planta para el sistema de inyección.
 - Actualizar el listado de equipos en SAP ERP para que corresponda a la realidad del sistema de inyección.

- Establecer cuáles de los equipos ya tienen una estrategia de mantenimiento definida en SAP ERP.

- Determinar el plan de mantenimiento para las bombas de inyección en base a la metodología RCM. Para esto se debe:
 - Analizar las funciones por proceso de los componentes de las bombas y sus fallas funcionales.
 - Identificar los modos y los efectos de la falla.
 - Establecer las tareas de mantenimiento y su viabilidad.

- Verificar las APL (*Application Part List*) requeridas para el plan de mantenimiento basado en RCM de las bombas de inyección del campo Yariguí de Ecopetrol S.A. Para esto se debe:
 - Establecer los repuestos requeridos en las tareas del plan de mantenimiento.
 - Verificar la existencia de los repuestos requeridos en SAP para asociarlos al plan al momento de cargarlo.

- Cargar en SAP ERP el plan de mantenimiento basado en la metodología RCM de las bombas de inyección del campo Yariguí de Ecopetrol S.A.

1.4. METODOLOGÍA

La figura 6 muestra el diagrama metodológico del proyecto. Se destaca que la etapa de documentación del proyecto es una constante superpuesta a las otras etapas y que se alimenta de las demás actividades.

En el Anexo D se muestran detalladamente los pasos que se realizan para desarrollar la metodología propuesta junto con el tiempo en que se espera terminar cada etapa establecida.

Figura 6. Metodología del proyecto



2. DESCRIPCIÓN DE ECOPETROL S.A.

2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Actualmente Ecopetrol S.A. es la empresa más grande y la principal compañía petrolera en Colombia. Además, debido a que Ecopetrol adopta procesos industriales de alto desempeño, es reconocida como una de las 39 petroleras más grandes del mundo y una de las cinco principales de Latinoamérica.

La reversión al Estado Colombiano de la Concesión De Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos asumiendo los activos revertidos de la *Tropical Oil Company* hasta el 26 de Junio de 2003 donde se expidió el Decreto 1760 que modificó la estructura orgánica de la Empresa Colombiana de Petróleos y la convirtió en Ecopetrol S.A³.

Desde entonces Ecopetrol emprendió actividades en la cadena de valor del petróleo en Colombia como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, encargada de administrar el recurso hidrocarburífero de la nación (Figura 7), y creció en la medida en que otras concesiones revirtieron e incorporó su operación.

³ ECOPETROL S.A. Nuestra historia. [En línea]. Bogotá D.C. 2017. Recuperado en 24 octubre 2017. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/nuestra-historia>

Figura 7. Cadena de valor de los hidrocarburos

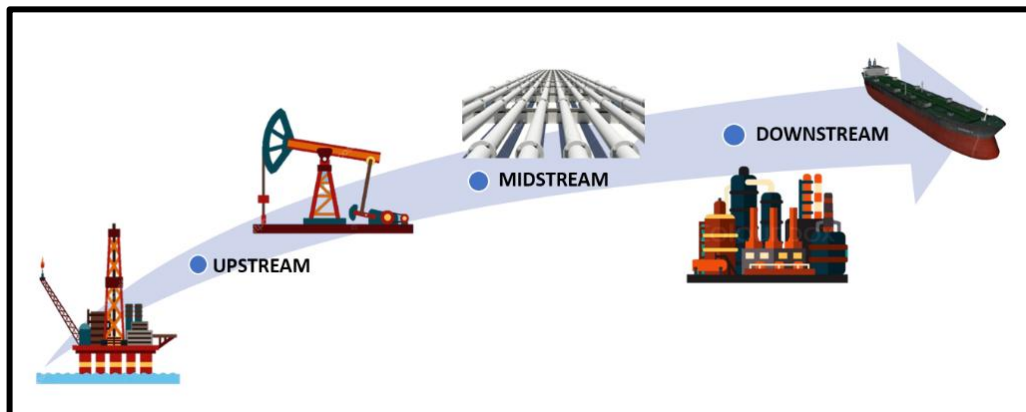


Fuente: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. La cadena del sector hidrocarburos. [En línea]. Recuperado en 24 octubre 2017. Disponible en: <http://www.anh.gov.co/porta regionalizacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>

2.2. LA CADENA DE VALOR EN ECOPETROL S.A.

Ecopetrol cuenta con tres fases principales para la conformación de su cadena de valor, las cuales son Upstream, Midstream y Downstream (Figura 8)⁴.

Figura 8. La cadena de valor en Ecopetrol S.A.



⁴ ECOPETROL S.A. Cadena de valor ECP. [En línea]. Bogotá D.C. 2017. Recuperado en 26 octubre 2017. Disponible en: <http://www.emcopetrol.plateau.com/> - Ecopetrol

- **Upstream:** Este sector incluye las tareas de búsqueda de potenciales yacimientos de petróleo crudo y de gas natural mediante la exploración y producción.
 - Exploración: Mediante esta etapa, Ecopetrol S.A. asegura el hallazgo e incorporación de nuevas reservas de hidrocarburos para el país, en forma directa y en asociación con otras empresas.
 - Producción: En esta fase se desarrollan los nuevos hallazgos, así como los programas y proyectos de producción que permitirán alcanzar las metas empresariales a 2020. La producción de Ecopetrol S.A. se concentra en el Magdalena medio, los Llanos Orientales, el Caribe y en los departamentos de Putumayo, Cesar y Norte de Santander.
- **Midstream:** Incluye el transporte, ya sea por tuberías, ferrocarril, barcaza, o camión, el almacenamiento y la comercialización al por mayor de productos crudos o refinados derivados del petróleo.
 - Transporte: Consiste en la construcción y operación de la infraestructura de transporte y distribución de hidrocarburos, derivados y productos, de acuerdo con los requerimientos de Ecopetrol S.A. y del mercado, en forma rentable, sin perjuicio de las disposiciones legales vigentes. El sistema de transporte converge en los terminales de Coveñas y Santa Marta en el atlántico; y en Buenaventura y Tumaco en el Pacífico.
- **Downstream:** Se refiere a las tareas de refinamiento y comercialización del petróleo crudo, como también del procesamiento y purificación del gas natural.
 - Refinación: Consiste en transformar el petróleo sometiéndolo a temperaturas altas para obtener productos derivados, principalmente combustibles y petroquímicos. Ecopetrol cuenta con dos refinerías de gran capacidad ubicadas en Cartagena y Barrancabermeja; y dos de menor capacidad ubicadas en Orito y Apiay.
 - Comercialización: Incluye planeación y suministro, comercialización de gas natural, comercialización nacional, comercialización internacional y proceso de mercadeo.

2.3. CULTURA ORGANIZACIONAL

Ecopetrol S.A. ha adoptado una forma diferente de actuar reinventándose el modo de relación en su estructura organizacional. El modelo de cultura de Ecopetrol ha sido concebido en una estructura piramidal que contiene tres componentes: Fundamentos de la cultura, liderazgo, y acuerdos de ser y actuar (Figura 9).

Figura 9. La cultura Ecopetrol



Fuente: ECOPETROL S.A. Cultura organizacional. [En línea]. Recuperado en 26 octubre 2017. Disponible en: <http://www.emcopetrol.plateau.com/> - Ecopetrol

2.4. MISIÓN

Trabajamos todos los días para construir un mejor futuro:

- Rentable y sostenible.
- Con una operación sana, limpia y segura.
- Asegurando la excelencia operacional y la transparencia en cada una de nuestras acciones.
- Construyendo relaciones de mutuo beneficio con los grupos de interés.

2.5. VISIÓN

Ecopetrol será una compañía integrada de clase mundial de petróleo y gas, orientada a la generación de valor y sostenibilidad, con foco en exploración y producción, comprometida con su entorno y soportada en su talento humano y la excelencia operacional.

2.6. CÓDIGO DE ÉTICA

Ecopetrol cuenta desde hace varios años con un código de ética (Anexo E), construido de forma participativa, el cual se constituye en el referente formal e institucional de la conducta personal y profesional que deben tener todos los trabajadores, miembros de la junta directiva, proveedores y contratistas de la empresa, independiente del cargo o de la función que ocupen⁵.

- **Responsabilidad:** Creemos que la responsabilidad es el emprendimiento comprometido y solidario del mejor esfuerzo por conseguir los objetivos empresariales, con un manejo eficiente de los recursos, asegurando el desarrollo sostenible del entorno y el auto cuidado, prevaleciendo el bien común por encima del interés particular.
- **Integridad:** Actuamos con integridad porque somos coherentes entre lo que pensamos, decimos y emprendemos dentro de los ámbitos personales y empresariales.
- **Respeto:** Actuamos con respeto reconociendo el derecho de la contraparte, conscientes de que este valor es el fundamento para la construcción de las relaciones interpersonales y empresariales vigorosas y benéficas.

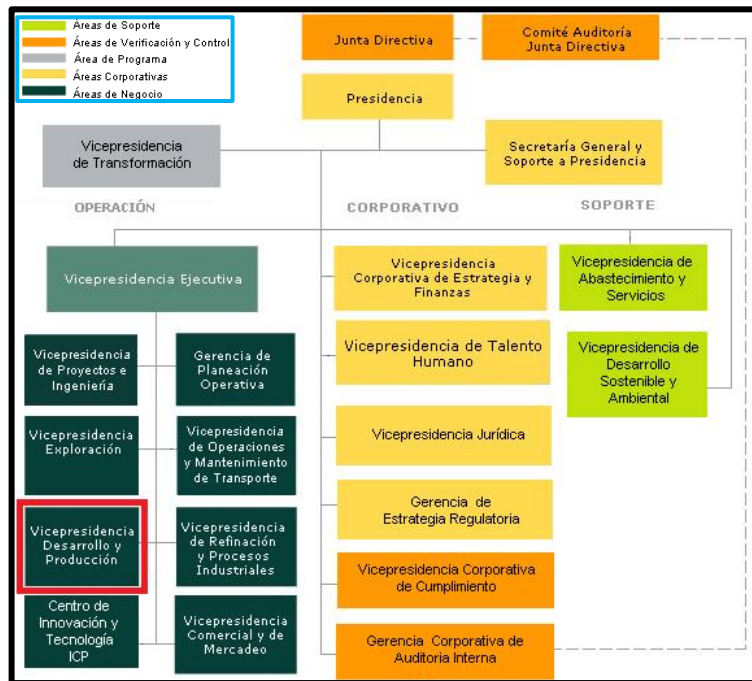
⁵ ECOPETROL S.A. Nuestros principios y valores. [En línea]. Bogotá D.C. 2017. Recuperado en 24 octubre 2017. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/nuestros-principios-y-valores>

2.7. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Ecopetrol está clasificada en 5 áreas que se encargan de realizar las actividades requeridas para el correcto funcionamiento de la empresa. En la figura 10 se muestra el organigrama establecido en Ecopetrol S.A.

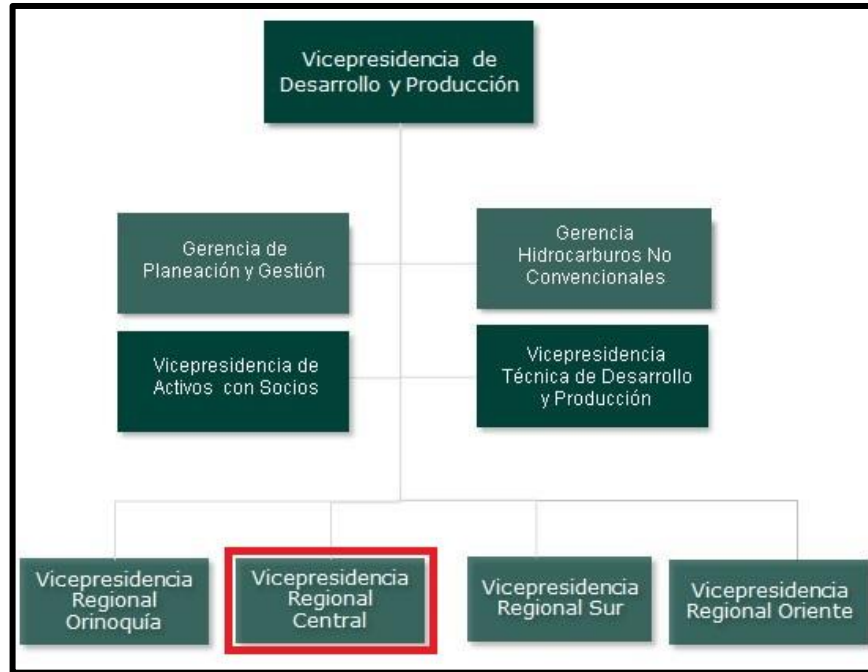
2.7.1. Vicepresidencia de desarrollo y producción La vicepresidencia de desarrollo y producción es el área que tiene como reto desarrollar los nuevos hallazgos, así como los programas y proyectos de producción que permitirán alcanzar las metas propuestas para el futuro. La figura 11 muestra como está compuesta la vicepresidencia de desarrollo y producción.

Figura 10. Organigrama de Ecopetrol S.A.



Fuente: ECOPETROL S.A. Estructura organizacional. [En línea]. Recuperado en 26 octubre 2017. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/estructura-organizacional/organigrama>

Figura 11. Vicepresidencia de desarrollo y producción



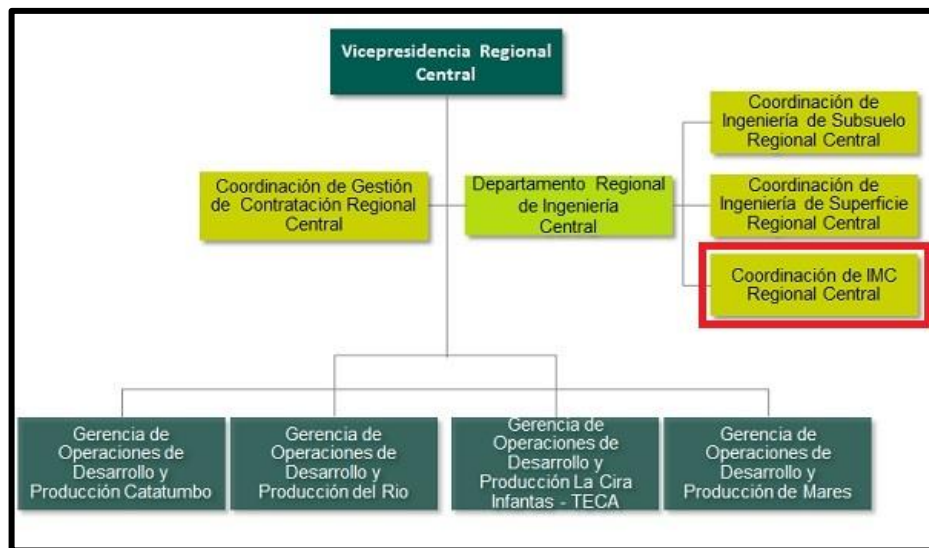
Fuente: ECOPETROL S.A. Estructura organizacional. [En línea]. Recuperado en 26 octubre 2017. Disponible en: <http://iris/contenido/contenido.aspx?catID=278&conID=48123&pagID=178938>

2.7.2. Vicepresidencia regional central – VRC La vicepresidencia y producción central está conformada por 28 campos petroleros ubicados en 7 departamentos del Magdalena Medio y el Catatumbo. Actualmente produce cerca de 117 mil barriles diarios de petróleo y gas, de los cuales 100 mil barriles son propiedad de Ecopetrol. La VRC está distribuida en 4 gerencias que son (Figura 12):

- Gerencia del Río: Compuesta por los campos: Casabe y Yariguí – Garzas.
- Gerencia de Mares: Compuesta por los campos: Bonanza, Provincia, Aledaños, Lisma – Nutria, Llanito, Gala, Galán, Tisquirama Directa, Rumero (Exploratorio), Aullador (Exploratorio) y Golosa (Exploratorio).

- Gerencia Catatumbo: Compuesta por los campos: Tibú, Arauca, Sardinata, Río Zulia, Gibraltar, Oripaya (Exploratorio) y Magallanes (Exploratorio).
- Gerencia Cira Infantas – Teca: Compuesta por los campos: Teca y la Cira – Infantas.

Figura 12. Vicepresidencia regional central - VRC



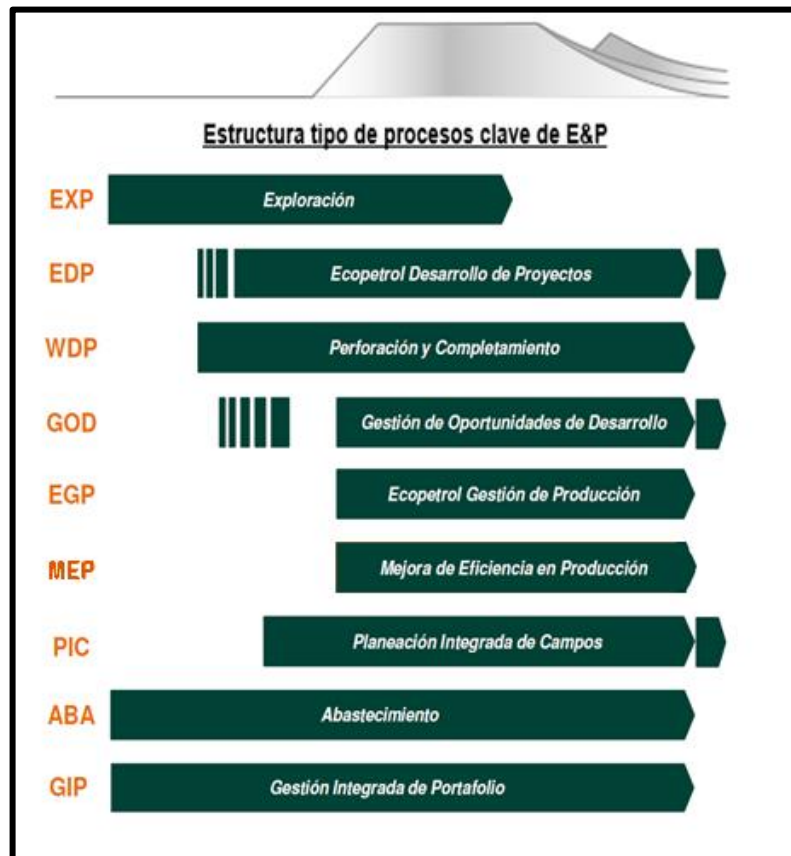
Fuente: ECOPETROL S.A. Estructura organizacional. [En línea]. Recuperado en 26 octubre 2017. Disponible en: <http://iris/contenido/contenido.aspx?catID=278&conID=48123&pagID=179960>

2.7.3. Coordinación de IMC regional central La coordinación de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad para la gestión óptima de los activos – IMC es la encargada de la planeación y gestión de campos productores de la VRC. Es una dependencia muy joven dentro de la estructura organizacional del departamento de ingeniería regional central por lo que aún se encuentra en proceso de estructuración para poder cumplir con su propósito.

Dentro de la estructura de procesos clave de exploración y producción (Procesos E&P) la coordinación IMC basa su acción en tres procesos (Figura 13): Mejora de

eficiencia de producción (MEP), planeación integrada de campos (PIC) y Ecopetrol gestión de producción (EGP).

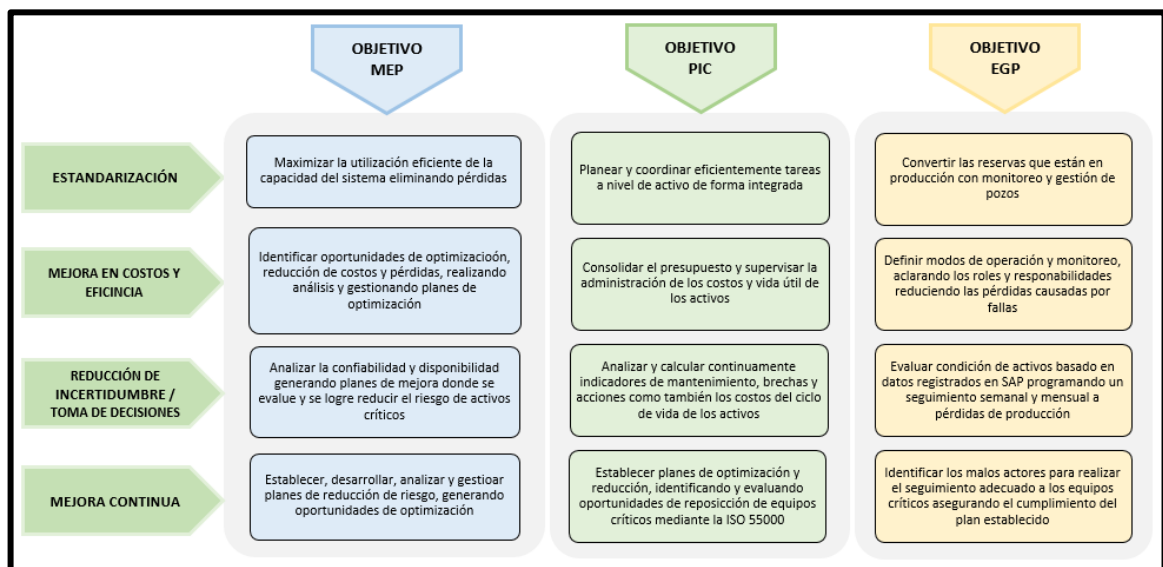
Figura 13. Estructura tipo de procesos clave de exploración y producción



Fuente: COORDINACIÓN IMC-VRC. Estructura, roles, funciones nuevos procesos e&p Interrelaciones con mantenimiento – producción – proyectos. [diapositivas]. Barrancabermeja. 16 diapositivas.

2.7.3.1. Funciones de IMC en los procesos E&P La coordinación IMC tiene un objetivo principal para cada uno de los tres procesos E&P sobre los que actúa, los cuales están orientados dentro de cuatro categorías principales: Estandarización, mejora en costos y eficiencia, reducción de incertidumbre/agilidad en toma de decisiones y mejora continua. En la figura 14 se resume la función de los objetivos MEP, PIC y EGP en cada una de las categorías.

Figura 14. Funciones IMC en los procesos E&P



- **Estructura organizacional mínima requerida:** La estructura organizacional mínima de la coordinación IMC se detalla en la figura 15 en donde se especifican los recursos requeridos para cumplir las funciones establecidas para cada uno de los roles. Aquí se evidencia que el equipo de trabajo está aún en conformación.

Figura 15. Estructura organizacional IMC - VRC

Roles	Funciones	Recurso requeridos	
Activos Rotativos	Definir planes Mtto. Analizar malos actores pérdidas Realizar análisis de condición Confiabilidad Planeación técnica contratos Planeación técnica mto. Mayor Optimización activos Integridad de activos Ventanas de operación Soporte funcional SAP		
Activos Estáticos			
Activos Eléctricos			
Activos Instrumentación			
Activos Sistemas de control			
Energía		Gestión energética, Planeamiento eléctrico, Planeación táctica Optimización	
Planeación Táctica		Gestión integral, Planeación táctica de gestión de activos, Medición y mejora del desempeño, Analizar costos, Drivers presupuesto, Optimización, Analizar ciclos de vida, Portafolio ICOS - IFRS	
Coordinador IMC-VRC		Direccionamiento y estructura de control de gestión	

Recurso actual: 8

Recurso pendiente por traslado: 3

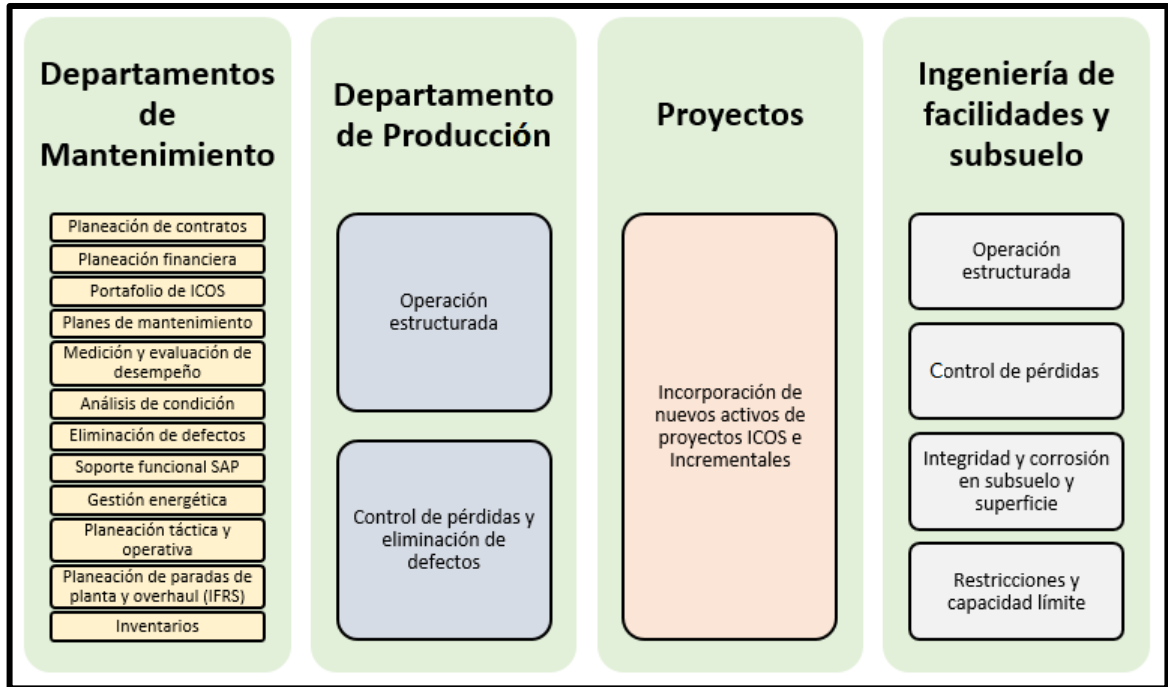
Recurso faltante: 4

- Total planta mínima requerida: 15 personas incluido el Coordinador
- Estructura basada en Frontales por Gerencia y equipos multidisciplinarios trabajando por procesos de Gestión de Activos (GAC) y Procesos de Exploración y Producción (E&P)

Fuente: COORDINACIÓN IMC-VRC. Estructura, roles, funciones nuevos procesos e&p Interrelaciones con mantenimiento – producción – proyectos. [diapositivas]. Barrancabermeja. 16 diapositivas.

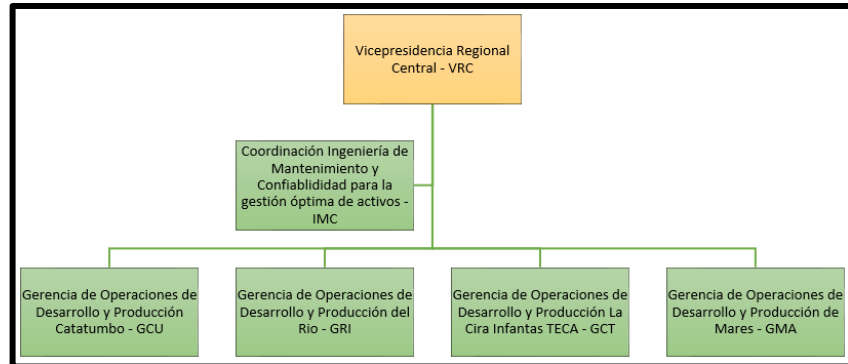
2.7.3.2. Interacción con otras dependencias Para la consecución de los objetivos planteados para la coordinación IMC es necesaria su interacción directa con otras dependencias cuyas principales actividades conjuntas se muestran en la figura 16, como se puede observar la mayor interacción se tiene con los departamentos de mantenimiento lo que hace que se tenga una relación estrecha con cada uno de ellos.

Figura 16. Estructura organizacional IMC – VRC



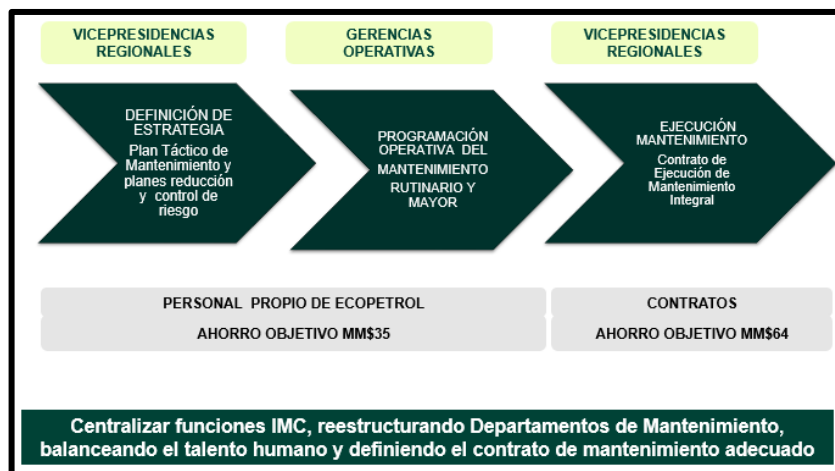
Los departamentos de mantenimiento se rigen bajo la misma estructura organizacional de la VRC (Figura 12), ya que se cuenta con un departamento de mantenimiento propio para cada una de las gerencias, los cuales trabajan de la mano con la IMC realizando una planeación táctica, económica y operativa general del mantenimiento siendo cada una de las gerencias autónoma en la ejecución individual del mantenimiento. Esta nueva estructura se puede observar de mejor manera en la figura 17.

Figura 17. Estructura organizacional del mantenimiento en la VRC



2.7.3.3. Síntesis de la estrategia de mantenimiento En Ecopetrol S.A. se hace necesario implementar una estrategia de mantenimiento que cuente con etapas para su ejecución, es decir, el mantenimiento se realiza por parte de la empresa o por un contratista externo. La figura 18 muestra el desarrollo de la estrategia de mantenimiento a través de los entes administrativos.

Figura 18. Síntesis de la estrategia de mantenimiento



Fuente: COORDINACIÓN IMC-VRC. Estructura, roles, funciones nuevos procesos e&p Interrelaciones con mantenimiento – producción – proyectos. [diapositivas]. Barrancabermeja. 16 diapositivas.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL PROYECTO

3.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

➤ **Incremento de la disponibilidad operacional para el sostenimiento de la producción de las plantas del departamento de petroquímica de la Gerencia Refinería Barrancabermeja, Ecopetrol S.A., mediante el diseño de una estrategia de mantenimiento para el equipo rotativo crítico. Colombia, 2015⁶**

La competitividad de una gran compañía de la industria petroquímica como lo es Ecopetrol está ligada al control de los indicadores de desempeño que muestran el estado histórico de las operaciones realizadas por cada uno de sus departamentos. La disponibilidad operacional es uno de los indicadores más significativos y la implementación de una estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad es una opción muy conveniente para mejorar su evolución en el tiempo.

Este proyecto plantea el diseño de una estrategia RCM para una muestra de tres equipos críticos pilotos de la especialidad rotativa, seleccionados de cada una de las tres principales plantas del departamento de petroquímica de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja. El trabajo desarrollado tiene una fuerte fundamentación normativa y se ajusta a los protocolos internos de la compañía mediante el uso de documentos (FACI) y sistemas de información (*Ellipse*) internos.

El desarrollo de las tareas de diagnóstico, análisis RCA, y el diseño mismo de una estrategia RCM para un equipo particular dentro del contexto operativo de Ecopetrol sirven de una guía muy valiosa para el trabajo que se desarrollara a lo largo de este proyecto.

⁶ CAMELO, John y RAMIREZ, Eduin. Incremento de la disponibilidad operacional para el sostenimiento de la producción de las plantas del departamento de petroquímica de la Gerencia Refinería Barrancabermeja, Ecopetrol S.A., mediante el diseño de una estrategia de mantenimiento para el equipo rotativo crítico. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de físicomecánicas, 2015.

➤ **Elaboración de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la productora de concreto Hormigón Colombia S.A. Colombia, 2013⁷**

La infraestructura en Colombia los últimos años ha tenido un progreso notable gracias a sus grandes megaproyectos ejecutados en la última década, es por tal razón que las empresas comercializadoras de concreto se ven en la necesidad de estar al día con las normas exigidas por los organismos internacionales que regulan la calidad y por el alto grado de competitividad que se tiene en el sector.

El trabajo de grado representa la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad para los equipos críticos de la empresa Hormigón Colombia con el objetivo de garantizar la disponibilidad de los equipos que hacen parte de la generación del concreto y disminuir los costos de mantenimiento.

Se realizó primero un diagnóstico de mantenimiento que se ejecutaba en la empresa Hormigón Colombia S.A. donde se observa la deficiencia y es por tal razón que se decide realizar este proyecto de grado. En primer lugar se generó un inventario de los activos que hacen parte de la empresa, seguido se aplicó un análisis de criticidad por medio del método de factores ponderados basados en el concepto de riesgo, entregando 1 equipo crítico al cual se le desarrolló un mantenimiento preventivo basado en confiabilidad, a los demás equipos se le aplicó el mantenimiento preventivo a partir de recomendaciones del fabricante y experiencia de los operarios.

Posteriormente se realizó un sistema de información para la administración del plan de mantenimiento de tal forma que se controle y así continuar el crecimiento de Hormigón Colombia S.A.

⁷ VALENCIA, Carlos y MORERA, Victor. Elaboración de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la productora de concreto Hormigón Colombia S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físicomecánicas, 2013.

➤ **Desarrollo de estrategia de confiabilidad APL's para equipos rotativos del área ambiental de la gerencia de la refinería de Barrancabermeja, ECOPETROL S.A. Colombia, 2011⁸**

Las grandes empresas de la industria petroquímica deben adaptar numerosas estrategias que les permitan mejorar continuamente indicadores relacionados con tiempos y costos de mantenimiento para mantener su competitividad en los mercados globalizados. El resultado de este ejercicio institucionalización de protocolos estándar basados en herramientas como las APL que permiten hacer más efectiva y eficiente la gestión las tareas de mantenimiento.

En el proyecto de grado aplico de manera detallada una estrategia basada en confiabilidad para la elaboración de las APL de los equipos rotativos del área ambiental de la refinería de Barrancabermeja de Ecopetrol S.A. utilizando las diferentes herramientas de recolección y manejo de información que la empresa ha estandarizado dentro de sus operaciones de gestión.

La implementación de las APL en los sistemas de información es una de las actividades que apoyan el desarrollo de una estrategia RCM y la aplicación previa de estas en una de las áreas de ECOPETROL representa un primer referente sólido para este proyecto en el desarrollo de actividades similares.

⁸ PINTO, Alba. Desarrollo de estrategia de confiabilidad APL's para equipos rotativos dela área ambiental de la gerencia de la refinería de Barrancabermeja, ECOPETROL S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011.

➤ **Diseño de un programa de mantenimiento basado en condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos. Venezuela, 2009⁹**

Los métodos de monitoreo y registro periódicos de las variables y parámetros clave del desempeño de una máquina son la base del mantenimiento basado en condición. Planificar las actividades de mantenimiento en base a estas inspecciones permite intervenir los activos antes de que las fallas representen un peligro. De esta manera se logra una disminución de los costos, se reducen las fallas inesperadas, el inventario de repuestos y las actividades mantenimiento rutinario, lo cual aumenta el tiempo medio entre fallas y por ende la efectividad de los activos.

El proyecto de grado consiste en desarrollar un programa de mantenimiento basado en condición para la planta Supermetanol C.A., con el objetivo de disminuir las horas de parada no programadas y elevar la productividad. Para esto se realiza un diagnóstico y una recopilación de información técnica de los activos. Seguido de un análisis de criticidad y un FMEA para determinar causas de falla. En base a lo anterior se determinan las herramientas y procedimientos predictivos que después se ejecutan y se someten a un análisis de resultados.

Las tareas predictivas son una parte muy importante de la metodología RCM, los métodos que se describen y ejecutan en el proyecto sirven de referencia para el desarrollo de este trabajo. El enfoque en equipo rotativo que se asume es muy importante, dado que la confiabilidad en esta clase de maquinaria es crítica.

⁹ MUNDARAIN, Christian. Diseño de un programa de mantenimiento basado en condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Puerto la Cruz: Universidad de Oriente, 2009.

➤ **Plan estratégico para la implantación de la metodología de Análisis de Fallas enfocado en los equipos críticos de los campos de producción de la Superintendencia de Mares Ecopetrol S.A. Colombia, 2006¹⁰**

La mejora continua de la calidad y operaciones de los procesos industriales es un requerimiento muy importante para cualquier empresa del *Oil&Gas*. Asegurar este comportamiento contribuye al proceso de certificación que se debe llevar a cabo con el fin de lograr y mantener una expansión del negocio a nivel internacional.

En el proyecto se propone una tecnología de mantenimiento basado en la identificación de equipos críticos y la implantación del análisis de fallas mediante Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) y Análisis de Causa Raíz (RCA) en la Superintendencia de Mares Ecopetrol S.A. Su desarrollo está fuertemente cimentado en la Norma ISO 14224: 2004 y la Norma ISO 9001: 2000 que establecen estándares de confiabilidad y mantenimiento en la industria del *Oil&Gas* y los requisitos de los sistemas de gestión de calidad.

El principal aporte del proyecto es ejecutar y ejemplificar claramente los diferentes conceptos que fundamentan el RCM y sus herramientas mediante la generación y desarrollo de procedimientos, matrices, formatos y programas que estructuran el proceso del análisis de fallas en el contexto de la industria *Oil&Gas*.

¹⁰ CASTRO, Daison. Plan estratégico para la implantación de la metodología de Análisis de Fallas enfocado en los equipos críticos de los campos de producción de la Superintendencia de Mares Ecopetrol S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2006.

3.2. REFERENTES TEÓRICOS

3.2.1. RCM II: Mantenimiento centrado en la confiabilidad¹¹ Desde el comienzo de su implementación en el área de la aviación, el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) se ha convertido en uno de los enfoques fundamentales dentro de las prácticas ejercidas por las grandes empresas a nivel industrial. Este texto ofrece información clara acerca de los conceptos teóricos fundamentales de esta estrategia de mantenimiento, y da soporte a la metodología planteada en este proyecto.

3.2.2. ISO 14224: *Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*¹²

En el petróleo, gas natural y en las industrias petroquímicas, se presta gran atención a la seguridad, confiabilidad, mantenibilidad de los equipos. Los costos anuales por falta de confiabilidad en los equipos son muy elevados, aunque muchos propietarios de plantas han mejorado sus operaciones. Recientemente un énfasis más fuerte ha sido realizar un diseño de costo-beneficio y de mantenimiento para las nuevas plantas y para las instalaciones existentes en parques industriales. Esta norma internacional establece los requisitos que cualquier sistema de datos de RM interno o comercialmente disponible debe cumplir cuando está diseñado para el intercambio de datos de RM, este estándar Internacional también proporciona un marco y directrices para establecer los objetivos de rendimiento y los requisitos para la confiabilidad y disponibilidad del equipo.

¹¹ MOUBRAY, John. RCM II: Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Traducido por Ellmann, Sueiro y Asociados. 2 ed. Liecestershire: Aladon Ltd, 2004. 446 p. ISBN 09539603-2-3

¹² INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. ISO 14224:2006. 2 ed. Geneve, Suiza:ISO, 2006. 178 p.

3.2.3. Ingeniería de confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo¹³ Este trabajo se enfoca en la descripción de un estudio proactivo de diagnóstico de la disponibilidad y el factor de servicio de un proceso de producción para un período determinado de tiempo, que busca caracterizar el estado actual de un proceso, sistema o equipos y predecir su comportamiento futuro basado en la configuración y confiabilidad de sus componentes y en la filosofía de mantenimiento, mediante el análisis del historial de fallas y reparaciones, los datos de las condiciones operacionales y datos técnicos. Su finalidad es revelar problemas, definir y desarrollar alternativas de soluciones, reasignar recursos y presupuestos para mejorar efectivamente la productividad del proceso o sistema, a través de la sistemática reducción de la ocurrencia de fallas y eventos no deseados y minimizar su impacto en el negocio medular.

3.2.4. PAS 55 (*Publicly Available Specification*)¹⁴ Dirigida a la optimización en la Gestión de Activos Físicos Industriales – (Proceso que se implementa para coordinar el conocimiento y las funciones de todos los departamentos de una empresa) - establece en 28 puntos, a través de claras definiciones y requerimientos específicos, el marco de trabajo para establecer y verificar un sistema optimizado de gestión para todo tipo de activos físicos en cualquier tipo de instalación. La especificación PAS 55 define qué es necesario hacer, pero no cómo hay que hacer en el camino hacia la optimización de la gestión de activos que afecta a todas las áreas de las compañías.

¹³ YAÑEZ MEDINA, Medardo; GÓMEZ DE LA VEGA, Hernando y VALBUENA CHOURIO, Genebelin. Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo. *Reliability & Risk Management*, S.A., 2004. 332 p. ISBN 980-12-12-0116-9

¹⁴ INSTITUTO DE ASSET MANGEMENT (IAM). *Publicly Available Specification*. PAS 55. UK, 2008.

3.3. MANTENIMIENTO, FUNDAMENTOS TEÓRICOS E INDICADORES

3.3.1. Mantenimiento y sus definiciones El mantenimiento es el proceso de empresa responsable por la entrega de la disponibilidad de los activos productivos requerida en el plan del negocio, con la debida atención a la seguridad de las personas y del cuidado del medio ambiente, al costo óptimo¹⁵. Sus principales definiciones son¹⁶:

- **Confiabilidad:** Capacidad de un elemento para realizar una función requerida en determinadas condiciones para un intervalo de tiempo dado.
- **Mantenibilidad:** La capacidad de un artículo bajo condiciones de uso dadas, para ser retenido o restaurado a un estado en el cual puede realizar una función requerida, cuando el mantenimiento se realiza bajo condiciones dadas y usando los procedimientos y recursos establecidos.
- **Disponible:** Capacidad de un elemento para estar en un estado para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante de tiempo dado o durante un intervalo de tiempo dado, suponiendo que se proporcionan los recursos externos requeridos.
- **Activo:** Planta, maquinaria, propiedad, edificios, vehículos y otros artículos que tienen un valor distintivo para la organización.
- **Ítem mantenible:** Elemento que constituye una parte o un conjunto de partes que normalmente es el nivel más bajo en la jerarquía del equipo durante el mantenimiento.
- **Falla:** Terminación de la capacidad de un elemento para realizar una función requerida. Un estado en el que un activo físico o sistema no se puede usar para ejercer una función específica a un nivel de rendimiento deseado

¹⁵ PERTUZ COMAS, Alberto David. Apuntes de clase de Ingeniería de Mantenimiento. Generalidades del mantenimiento. [En línea]. Recuperado en 24 octubre 2017. p. 4. Disponible en: <http://tic.uis.edu.co/ava/course/view.php?id=11675>

¹⁶ Ibíd., p. 5.

- **Modo de Falla:** Efecto por el cual se observa una falla en el elemento fallido. Un evento único, que causa una falla funcional.
- **Mecanismo de Falla:** Proceso físico, químico u otro que conduce a una falla.
- **Causa de Falla:** Las circunstancias durante el diseño, fabricación o uso que han llevado a una falla.
- **Eficiencia:** Relación entre los recursos utilizados en un proyecto y los logros conseguidos con el mismo.
- **Eficacia:** Nivel de consecución de metas y objetivos. La eficacia hace referencia a nuestra capacidad para lograr lo que nos proponemos.
- **Efectividad:** El equilibrio entre la eficacia y la eficiencia (Stephen Covey).
- **Preventivo:** Mantenimiento llevado a cabo a intervalos predeterminados o de acuerdo con los criterios prescritos y destinado a reducir la probabilidad de falla o la degradación del funcionamiento de un elemento.
- **Correctivo:** Mantenimiento realizado después del reconocimiento de fallas y destinado a poner un elemento en un estado en el que puede realizar una función requerida.
- **Proactivo:** Mantenimiento emprendido antes de que ocurra una falla, para prevenir cualquier elemento entre en estado de falla.
- **Reactivo:** Mantenimiento emprendido después de la ocurrencia de una falla no esperada (Deducción del recurso al Proactivo).
- **Taxonomía de equipos:** Clasificación sistemática de los elementos en grupos genéricos en función de factores posiblemente comunes a varios de los artículos.

La figura 19 muestra la clasificación general del mantenimiento antes y después de que ocurra algún tipo de falla, donde se puede observar que el mantenimiento realizado antes de la falla tipos de procedimientos diferentes.

Figura 19. Clasificación del mantenimiento



Fuente: PERTUZ COMAS, Alberto David. Apuntes de clase de Ingeniería de Mantenimiento. Generalidades del mantenimiento. [En línea]. Recuperado en 24 octubre 2017. Disponible en: <http://tic.uis.edu.co/ava/course/view.php?id=11675>

3.3.2. Evolución del mantenimiento¹⁷

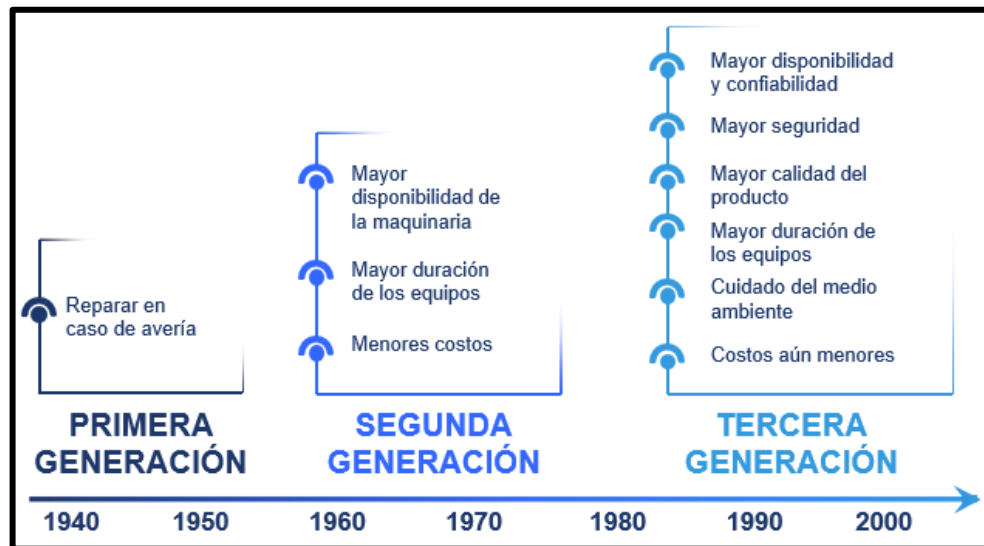
- **Expectativas:** La figura 20 muestra los logros que se esperan alcanzar en cada una de las generaciones por las que ha pasado el mantenimiento a través de los años, viendo que se ha hecho énfasis en el mantenimiento antes de la falla en los equipos.

Las expectativas esperan mejorar la deficiencia de información técnica documentada, los catálogos, las fichas técnicas, los procesos de mantenimiento, los niveles de eficiencia de las plantas de 65-75%, con paradas del orden de 25-35% por razones de mantenimiento, tener personal estable en su profesión y comodidad en su nivel de confort y los presupuestos de mantenimiento son inestables y/o oscilantes.

¹⁷ Ibíd., p. 10.

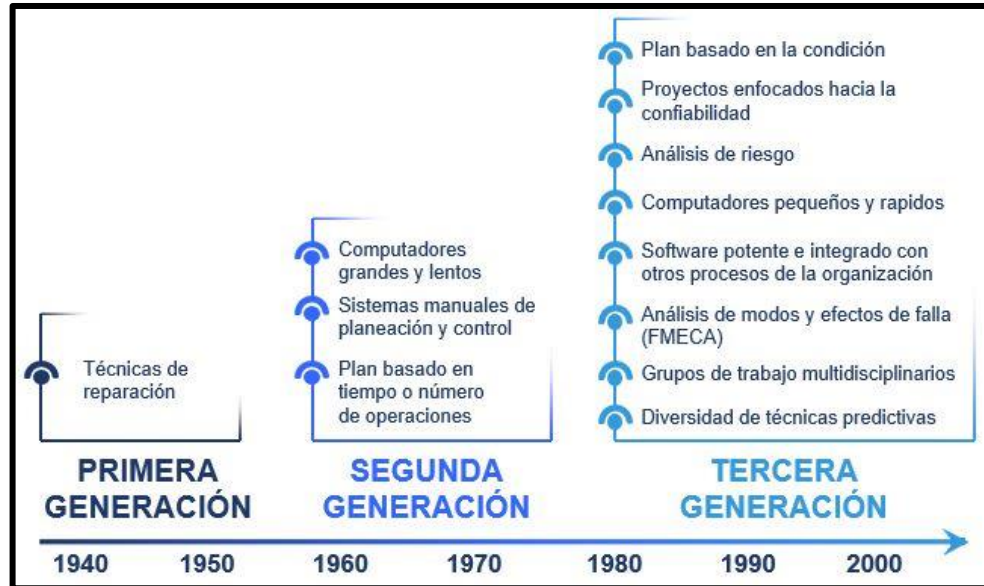
- **Técnicas:** A medida que se desarrolla el mantenimiento se crean y mejoran técnicas que permiten el óptimo funcionamiento de los equipos (Figura 21).

Figura 20. Expectativas durante la evolución del mantenimiento



Fuente: PERTUZ COMAS, Alberto David. Apuntes de clase de Ingeniería de Mantenimiento. Generalidades del mantenimiento. [En línea]. Recuperado en 24 octubre 2017. Disponible en: <http://tic.uis.edu.co/ava/course/view.php?id=11675>

Figura 21. Técnicas durante la evolución del mantenimiento



Fuente: PERTUZ COMAS, Alberto David. Apuntes de clase de Ingeniería de Mantenimiento. Generalidades del mantenimiento. [En línea]. Recuperado en 24 octubre 2017. Disponible en: <http://tic.uis.edu.co/ava/course/view.php?id=11675>

- **Generaciones:** Las diferentes generaciones del mantenimiento se han creado conforme aparecen nuevas necesidades y retos que afrontar, la figura 22 muestra los campos en los que cada generación se enfoca.

Figura 22. Generaciones durante la evolución del mantenimiento.



Fuente: PERTUZ COMAS, Alberto David. Apuntes de clase de Ingeniería de Mantenimiento. Generalidades del mantenimiento. [En línea]. Recuperado en 24 octubre 2017. Disponible en: <http://tic.uis.edu.co/ava/course/view.php?id=11675>

3.3.3. Indicadores de eficacia del departamento (A1, A2, A3 y A4)¹⁸ Estos indicadores tratan de reflejar la eficacia de su equipo de personal directo, mandos y técnicos.

El **indicador A1** mide las veces que un determinado número de fallos se repite porcentualmente respecto a los fallos totales, da una idea de la calidad de las reparaciones y de la profundización que el personal ha hecho sobre una determinada comunicación de anomalía.

$$(A1) = \frac{\text{Número de averías repetitivas}}{\text{Número de averías totales}}$$

¹⁸ GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier. Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid, España. Editorial F.C., 2004. p. 60.

El **indicador A2** trata las averías “fantasmas”. La localización de estos fallos es aún más compleja debido a que sólo se refleja en el percance o la anomalía que ha detectado Producción o Explotación, por esta razón es obligatorio incorporar registradores en servicio, analizadores lógicos, presencia continuada de personal hasta conseguir presenciar la repetición del fallo y los fenómenos concatenados, etc.

$$(A2) = \frac{\text{Número de averías sin localizar fallo justificativo}}{\text{Número de averías totales}}$$

El **indicador A3** evalúa la repercusión de las averías en el *core business* de la empresa. Es, en resumen, un indicador de medida del daño que provocamos en la producción de nuestra planta por fallos.

$$(A3) = \frac{\text{Paradas de producción por averías}}{\text{Horas teóricas de producción}}$$

El **indicador A4** analiza la eficiencia y calidad de las revisiones preventivas, debido a que un gran número de las revisiones preventivas pueden provocar averías. Este indicador analiza la segunda faceta de los preventivos; la mortalidad infantil que se induce al cambiar equipos que estaban funcionando perfectamente por otros revisados, al proceder a desmontajes y montajes no necesarios o con calidad inadecuada, etc.

$$(A4) = \frac{\text{Número de averías tras mantenimientos preventivos}}{\text{Número de averías totales}}$$

3.3.4. Indicadores del avance tecnológico y utilización de recursos (B1, B2, B3 y B4) El indicador B1 analiza las paradas que se inducen a producción para realizar mantenimientos preventivos. A medida que los mantenimientos pasan de preventivos rutinarios a preventivos predictivos, al planificarse conforme a unos márgenes entre aceptabilidad y rechazo relativamente amplios que permiten intervenir cuando menos trastornos provocan en producción.

$$(B1) = \frac{\textit{Paradas de producción por preventivo}}{\textit{Horas teóricas de producción}}$$

El **indicador B2** refleja la dedicación que se invierte en mantenimiento preventivo respecto a los correctivos. Lo ideal sería, si no hubiera un análisis de rentabilidad económica, que la práctica total de los mantenimientos fuera preventivos. F. Mochi indicaba en su reconocido libro de Mantenimiento Industrial Avanzado que el porcentaje límite entre preventivo y correctivo se situaba en un 95% y 5% respectivamente.

$$(B2) = \frac{\textit{Horas empleadas en preventivos}}{\textit{Horas empleadas en correctivo}}$$

El **indicador B3** analiza realmente si los recursos se están utilizando en mantenimiento avanzado, mucho más eficaz y rentable que el histórico, o no. Contempla las horas que se emplean en predictivo frente al sistemático.

$$(B3) = \frac{\textit{Horas empleadas en preventiva predictivo}}{\textit{Horas empleadas en preventivo sistemático}}$$

El **indicador B4** es una clara muestra de la utilización de los recursos humanos, las horas justificadas realmente en órdenes de trabajo preventivas y correctivas frente a las horas de presencia total de nuestro personal, nos dará un reflejo del grado de

saturación de la plantilla y del grado con que el sistema de planificación, lanzamiento y control optimiza los recursos.

$$(B4) = \frac{\textit{Horas justificadas, en órdenes, en preventivo y correctivo}}{\textit{Horas de presencia totales del personal}}$$

3.3.5. Indicadores de gestión económica (C1, C2, C3 y C4) El indicador C1 refleja lo que la Empresa gasta en su Departamento de Mantenimiento frente a la producción que vende a costes industriales.

$$(C1) = \frac{\textit{Costos operativos totales del Departamento de Mantenimiento}}{\textit{Producción valorada a costes industriales}}$$

El **indicador C2** refleja la comparativa entre los costes que se van acumulando, según sus actividades, secciones e instalaciones, frente a los costes presupuestados para dichos conceptos.

$$(C2) = \frac{\textit{Costos acumulados por secciones/instalaciones}}{\textit{Costes presupuestados en dichos conceptos}}$$

El **indicador C3** refleja los costes operativos de mantenimiento, más los costes que importan las paradas por averías y revisiones, frente a la producción valorada a costes industriales. Este indicador es más exigente que el C1, puesto que refleja el “daño” que las averías o las paradas de mantenimiento inducen o infieren en la Empresa.

$$(C3) = \frac{\textit{Costes operativos más costes de paradas en producción}}{\textit{Producción valorada a costes industriales}}$$

El **indicador C4** es auto explicativo pues representa el grado de directización de indirectos que tiene nuestro Departamento. Uno de los objetivos obvios en cualquier empresa, es que el porcentaje de personal directo sea el mayor posible.

$$(C4) = \frac{\text{Costes de personal indirecto, propio e imputado}}{\text{Costes del personal operativo de Mantenimiento}}$$

3.3.6. Indicadores de calidad y desarrollo de recursos humanos (D1, D2, D3 y D4) El indicador D1 refleja el grado de satisfacción de los clientes con los servicios y actividades. Reflejar estas quejas respecto al número de operaciones preventivas y correctivas es más adecuado que respecto a plantillas, volumen económico, etc., pues las quejas como tales suelen aparecer ante retrasos en intervenciones, ante operaciones defectuosas que generan problemas, etc.

$$(D1) = \frac{\text{Quejas de producción o explotación}}{\text{Número de operaciones preventivas y correctivas}}$$

El **indicador D2** refleja un nivel de queja tanto de producción o explotación como de la propia empresa en su conjunto ante la actividad. A la postre, intenta reflejar el tiempo que se acerca el MTTR efectivo a la paralización.

$$(D2) = \frac{\text{Tiempo medio de reparación efectiva}}{\text{Tiempo medio de paralización en la producción}}$$

El **indicador D3** refleja el de cumplimiento de las planificaciones en formación, debiéndose entender éste u otros alternativos, como una meta en cuanto al desarrollo de los recursos humanos.

$$(D3) = \frac{\text{Horas de formación impartidas}}{\text{Horas de formación planificadas}}$$

El **indicador D4** da ideas del número de piezas tanto reparadas o nuevas que se encuentran en mal estado respecto de las piezas que se utilizan.

$$(D4) = \frac{\text{Número de piezas defectuosas (reparadas o nuevas)}}{\text{Número de piezas utilizadas}}$$

3.4. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD – RCM

El RCM hace parte de una nueva generación del mantenimiento, donde los esfuerzos se encuentran orientados a aumentar la confiabilidad y efectividad de los activos físicos, mejorar la seguridad y cuidar el ambiente, es decir, a hacer el proceso productivo más eficiente, utilizando técnicas como estudios de riesgo, análisis de confiabilidad, disponibilidad, efectividad y mantenimiento proactivo.

Comúnmente se define el RCM como: *un proceso usado para determinar qué debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como sus usuarios lo desean en el presente contexto operativo*¹⁹.

Son 7 las preguntas que componen el proceso de implementación del RCM:

- **¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?**

Existen funciones principales y secundarias. Las funciones principales son los motivos por los que se adquiere un bien. Las razones secundarias son aquellas que dan valor agregado al bien. Las funciones de los bienes están ligadas al contexto operativo y por esto dos bienes idénticos pueden tener diferentes funciones. Los niveles de desempeño son determinados por el usuario y estos indican cuando una función está siendo cumplida o no.

¹⁹ MOUBRAY. Op. cit., p. 7.

- **¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?**

Cuando un bien no cumple con su función en algún grado se dice que sufrió una *falla funcional*. De esta forma puede haber fallas parciales y fallas totales: una falla total saca de servicio al bien, una falla parcial sucede cuando el bien opera fuera de los límites de desempeño.

- **¿Qué ocasiona cada falla funcional?**

A los sucesos que ocasionan las fallas funcionales se les denomina *modos de falla*. Estos detallan específicamente por qué y en qué condición sucedió la falla funcional. Una sola falla funcional puede tener varios modos de falla, y su cantidad depende de la complejidad del sistema. Existen diversas fuentes de información de los modos de falla, entre ellos: fabricantes, listas genéricas, otros usuarios, registros técnicos históricos.

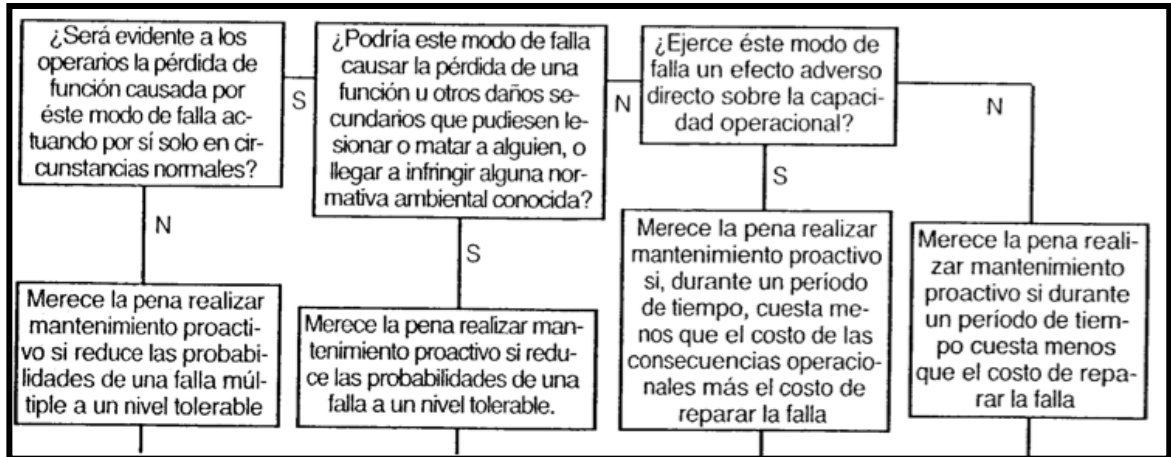
- **¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?**

Los *efectos de las fallas* son la descripción de lo que sucede inmediatamente después de que se presenta la falla. Enuncian la evidencia de que la falla sucedió, cómo la falla afecta a la seguridad o al medioambiente, cómo se ven afectadas la producción y las operaciones, posibles daños físicos a equipo o instalaciones y que debe hacerse para reparar la falla.

- **¿De qué modo afecta cada falla?**

El impacto que genera una falla sobre la organización se denomina *consecuencia de la falla*. Pueden afectar temas como el rendimiento, la calidad del producto, el servicio al cliente, el medioambiente y los costos operativos. El tratamiento de las consecuencias depende del tipo de función al que están asociadas: funciones evidentes u ocultas, aquellas que son o no son evidentes para los operarios en condiciones normales. En la figura 23 se muestra la metodología usada para la evaluación de fallas.

Figura 23. Metodología para evaluación de consecuencias de falla

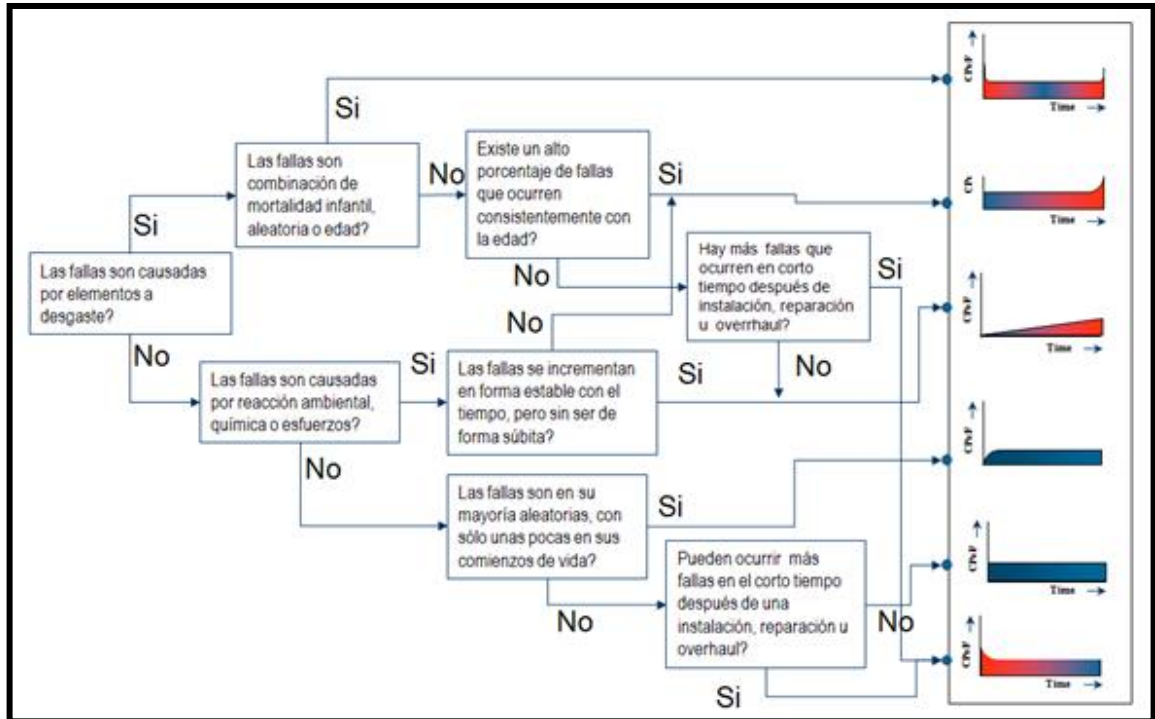


Fuente: MOUBRAY. Op. cit., p. 131.

- **¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?**

El mantenimiento proactivo tiene dos tipos de tareas: preventivas y predictivas. Las tareas preventivas se enfocan en atacar los modos y patrones de falla que están directamente relacionados con el envejecimiento; existen dos acciones básicas preventivas que se pueden realizar al final de la vida útil de un bien: reacondicionamiento cíclico y sustitución cíclica. Las tareas predictivas se enfocan en atacar los modos de falla que no están necesariamente relacionados con el envejecimiento del bien; el objetivo de estas es identificar las fallas potenciales mediante técnicas de monitoreo e inspección para poder tomar acciones que eviten la falla o sus consecuencias. La figura 24 presenta un modelo para la identificación del patrón de falla pertinente a cada modo de falla.

Figura 24. Lógica de selección de patrones de falla



Fuente: ECOPETROL S.A. Implementación de estrategias y prácticas de mantenimiento e inspección basadas en riesgo: RCM. [diapositivas]. Barrancabermeja, 2012.

• **¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?**

Cuando las tareas proactivas no evitan las fallas ni reducen las consecuencias o implementarlas cuesta más que lo que costarían las consecuencias se debe recurrir a otro tipo de acciones conocido como *a falta de*. Entre este tipo de acciones se encuentran: las tareas cíclicas de búsqueda de fallas, limitar el mantenimiento al mantenimiento correctivo, recorridas de inspección de daños accidentales y el rediseño del componente o proceso.

- **Herramientas de apoyo a la metodología RCM**

- **Análisis modal de fallos y efectos (AMEF)**²⁰: Es un método diseñado para identificar y comprender completamente los posibles modos de falla, sus causas y los efectos del fracaso en el sistema o usuarios finales, para un producto o proceso dado. También evalúa el riesgo asociado con el fallo identificado como lo son los modos, efectos y causas, identificando y llevando a cabo acciones correctivas para abordar las preocupaciones más serias.
- **Matriz de valoración de riesgos (RAM)**²¹: Es una herramienta útil de decisión para el manejo de riesgos que impliquen consecuencias, por ejemplo, para las personas, el ambiente, los clientes, los bienes, o la comunidad, entre otros aspectos a evaluar donde permite poner un orden de relevancia, importancia o criticidad para el listado de riesgos identificados (Anexo F). La matriz RAM ordena con base en que tan seguido ocurre (Frecuencia) o puede ocurrir (Probabilidad), y cuando ocurre que tan grave puede ser (Consecuencias).
- **Diagrama de Pareto**²²: Es una gráfica que permite asignar un orden de prioridades partiendo del principio empírico de Pareto que enuncia para controlar efectivamente la mayoría de las causas (80%), basta con controlar la minoría crítica de los efectos (20%). Se trataría pues de identificar ese pequeño porcentaje de causas vitales para actuar prioritariamente sobre él.

²⁰ CARLSON, Carl. *Effective FMEAs*. Recuperado por John Wiley & Sons. [En línea]. USA, 2012. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: http://www.effectivefmeas.com/uploads/Failure_Mode_and_Effects_Analysis__FMEA__for_publication.pdf

²¹ CORREA, Álvaro y CORREA, Mario. Jornadas de capacitación Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. [En línea]. Colombia, 2014. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: http://www.comdes.com.co/ac_webmasters_img/ac_uploads/1395451188.pdf

²² DOMENECH, José. Diagrama de Pareto. [En línea]. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: http://www.jomaneliga.es/PDF/Administrativo/Calidad/Diagrama_de_Pareto.pdf

- **Números de prioridad de riesgo (RPN)**²³: Es el producto matemático de los grados numéricos de la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la probabilidad de detección de una posible falla. Se utiliza para ayudar a priorizar labores en la planeación de tareas de mantenimiento. Se apoya en el método GOD (SOD según definiciones), clasificando sus acciones según su gravedad (Severidad), ocurrencia y posibilidad de detección.

- **Administración de la seguridad de los procesos (ASP)**²⁴: Es la aplicación de sistemas y controles administrativos (Programas, procedimientos, evaluaciones, auditorías) a las operaciones que incluyen materiales peligrosos de forma que los riesgos del proceso estén identificados, entendidos y controlados y las lesiones e incidentes relacionados con el proceso puedan ser eliminados (Anexo G).

- **Análisis de causa raíz (RCA)**²⁵: Es una metodología de confiabilidad operacional que emplea un conjunto de técnicas o procesos, para identificar factores casuales de falla. Es decir, el origen de un problema definido, relacionado con el personal, los procesos, las tecnologías, y la organización, con el objetivo de identificar actividades o acciones rentables que los eliminen.

- **Application part list (APL)**²⁶: Es un documento técnico que lista información descriptiva acerca de un equipo, sus componentes, sus repuestos y recursos

²³ MUÑOZ, Enrique. ¿Qué es el número de prioridad del riesgo (RPN)? [En línea]. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: <http://blog.enrimusa.com/que-es-el-numero-de-prioridad-del-riesgo-npr/>

²⁴ BETANCOURT, Luis. Elementos de Seguridad de los Procesos. [En línea]. Costa Rica, 2014. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: <https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2014/03/05-Tecnologia-del-Proceso.pdf>

²⁵ ALFAROA, Marycruz. ARANDA, Gilberto. El análisis causa raíz utilizado como herramienta en la evaluación de eventos no deseados en instalaciones de una refinería. [En línea]. México, 2014. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/iq/tesis/tesis_alfaro_antor.pdf

²⁶ DEFENSE STANDARDIZATION PROGRAM OFFICE. *Parts Management Guide*. [En línea]. USA, 2014. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: http://www.dla.mil/Portals/104/Documents/LandAndMaritime/VVA/PSMC/Documents/LM_SD19FIN_AL_151030.pdf

necesarios para tareas de mantenimiento asociadas al mismo cumpliendo con los objetivos del perfil de misión del sistema de equipos, la estrategia de apoyo, la vida útil esperada, las metas y objetivos de la administración, reduciendo la el coste total del ciclo de vida, y aumentando la preparación logística.

- **SAP ERP**²⁷: Las iniciales SAP significan: Sistemas, aplicaciones y productos especializados en procesar datos (*Systems, applications and products in data processing.*) Es un sistema integrado que logra incorporar las mejores prácticas de negocio a los diferentes procesos de industria, optimizando el manejo de la información mediante una solución modular, donde cada módulo maneja una función diferente (Gestión financiera, gestión de materiales, entre otros).

El término ERP significa: Planeación empresarial de recursos, expresando que afecta a toda la empresa y que controla los recursos necesarios para la gestión integral de la misma. Un ERP es un sistema de información que integra aplicaciones informáticas para gestionar todos los departamentos y funciones a través de una compañía que pueda responder a las necesidades particulares de todos los diversos departamentos, incrementando la productividad empresarial al estandarizar procesos e integrarlos; mejorando la toma de decisiones por estar compartiendo información a través de la organización.

3.5. GESTIÓN DE ACTIVOS EN ECOPETROL S.A.

Ecopetrol S.A. basa su gestión de activos en la norma estándar internacional ISO 55000: *Asset management — Overview, principles and terminology* la cual establece que los factores que influyen en el tipo de activos que una organización requiere para lograr sus objetivos, y cómo se administran los activos, incluyen lo siguiente²⁸:

²⁷ TIC. Navegación SAP. [En línea]. USA, 2011. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: http://www.sigmaq.com/pdf/Navegacion_SAP.pdf

²⁸ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Asset management — Overview, principles and terminology*. ISO 55000:2014. 1 ed. Geneve, Suiza:ISO, 2014. p. 7.

- La naturaleza y el propósito de la organización.
- Su contexto operativo.
- Sus limitaciones financieras y requisitos reglamentarios.
- Las necesidades y expectativas de la organización y sus partes interesadas.

3.5.1. Gestión del riesgo²⁹ Se encarga de reducir las pérdidas financieras, mejorar la salud y la seguridad, la buena voluntad y la reputación, minimizando el impacto ambiental y social, estableciendo estrategias de desarrollo para manejar y mitigar el riesgo utilizando recursos gerenciales transfiriendo y/o evadiendo el riesgo.

3.5.2. Gestión de iniciativas³⁰ Un sistema de gestión de iniciativas proporciona un enfoque estructurado para el desarrollo, coordinación y control de las actividades realizadas en los activos por la organización a lo largo de diferentes etapas del ciclo de vida, y para alinear estas actividades con sus objetivos organizacionales. A continuación, se mencionan los principales beneficios que se obtienen al implementar la gestión de iniciativas:

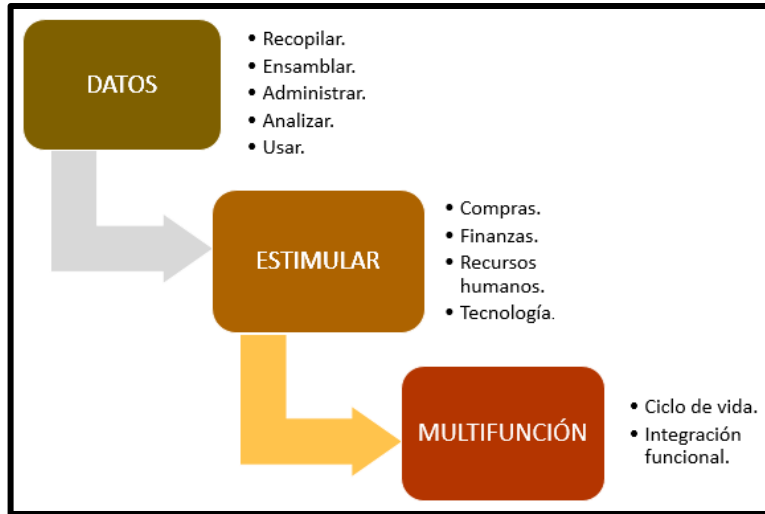
a) Crear un sistema de gestión de activos proporciona beneficios en sí mismo:

Los beneficios, o ganancias rápidas, en áreas tales como reducción de riesgos, oportunidad de identificación o la mejora del proceso pueden identificarse al principio de la implementación, y pueden ser explotados para demostrar los retornos y obtener un mayor apoyo de las partes interesadas (Figura 25).

²⁹ *Ibíd.*, p.8.

³⁰ *Ibíd.*, p.11.

Figura 25. Beneficios de la gestión de iniciativas



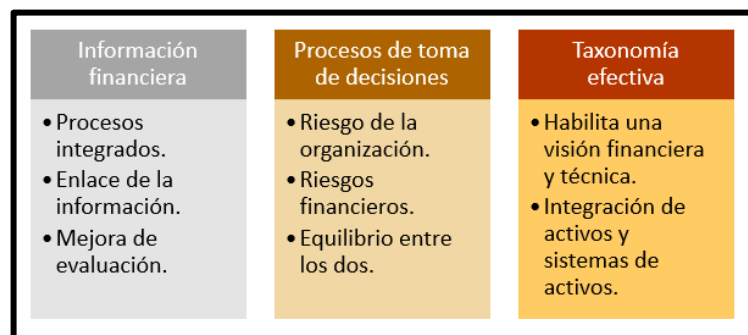
b) La alta dirección se beneficia de nuevos conocimientos e integración funcional cruzada: Puede ayudar a comprender los activos, su rendimiento, los riesgos asociados con la gestión de activos, las necesidades de inversión y el valor de los activos como una contribución a la decisión de realización y planificación estratégica organizacional (Figura 26).

Figura 26. Beneficio de la alta gerencia



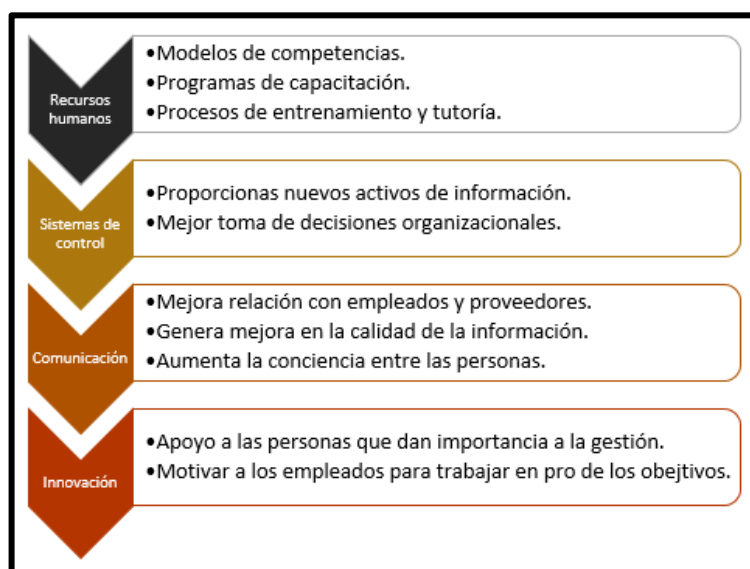
c) Las funciones financieras se benefician de datos y enlaces mejorados: Los planes financieros a largo plazo pueden permitir el equilibrio de las necesidades financieras a corto plazo con las necesidades de planes de actividades a mediano plazo y con los planes a largo plazo que requieren algunos activos (Figura 27).

Figura 27. Beneficio de datos y enlaces mejorados



d) Muchas partes de la organización se benefician de un sistema de gestión de iniciativas: Un sistema de gestión de iniciativas toca muchas partes de la organización como se observa en la figura 28:

Figura 28. Organización de gestión de iniciativas



3.5.3. Gestión de operación del mantenimiento³¹ El sistema de gestión de iniciativas de la organización permite la dirección, implementación y control de sus actividades de gestión de activos, incluidas aquellas que han sido subcontratadas. Las políticas funcionales, técnicas para los estándares, planes y procesos para la implementación de los planes de gestión de iniciativas deben alimentarse de regreso al diseño y operación del sistema de administración de activos.

El funcionamiento del sistema de gestión de iniciativas a veces puede requerir cambios planificados en la gestión de activos, procesos o procedimientos, que pueden introducir nuevos riesgos. Evaluación y control de riesgos en el contexto de gestionar el cambio es una consideración importante al operar un sistema de gestión de activos.

3.5.4. Optimización de desempeño de los activos³² La organización debe evaluar el rendimiento de sus activos, su gestión de activos y su activo sistema de gestión. Las medidas de rendimiento pueden ser directas o indirectas, financieras o no financieras.

La evaluación del rendimiento del activo a menudo es indirecta y compleja. La gestión efectiva de datos de activos y la transformación de datos en información es una clave para medir el rendimiento de los activos. La supervisión, el análisis y la evaluación de esta información debe ser un proceso continuo que deben llevarse a cabo sobre los activos administrados directamente por la organización y en los activos que son subcontratados.

El rendimiento de la gestión de activos debe evaluarse en función de si los objetivos de gestión de activos se han logrado, y si no, por qué no. Donde corresponda, cualquier oportunidad que surja haber superado los objetivos de gestión de activos también debe examinarse, así como cualquier falla en darse cuenta ellos.

³¹ *Ibíd.*, p.14.

³² *Ibíd.*, p.15.

El rendimiento del sistema de gestión de activos debe evaluarse frente a cualquier objetivo establecido específicamente para el sistema en sí (Ya sea cuando se estableció o después de evaluaciones anteriores). El propósito principal de evaluar el sistema debe ser determinar si es efectivo y eficiente en el apoyo a la gestión de activos de la organización. Se deben usar auditorías periódicas para evaluar el rendimiento del sistema de gestión de activos; estos pueden complementarse con autoevaluaciones. Los resultados de las evaluaciones de desempeño se deben usar como entradas en las revisiones de la administración.

3.5.5. Software de gestión de activos SAP³³ De sus siglas en inglés SAP: *Systems applications products in data processing* que significa sistemas de aplicaciones de productos en procesamiento de datos, es decir, es una base de soluciones tecnológicas que abarca todos los procesos de negocios de una compañía y puede ser customizada de acuerdo a necesidades específicas. SAP provee a los integrantes de la compañía la habilidad de interactuar con una base de datos común y corporativa para un amplio rango de aplicaciones, además es la solución líder provista para las industrias de telecomunicaciones, manufactura y construcción. Al ser SAP un sistema integrado, la información necesita ser ingresada una sola vez, lo que reduce la posibilidad de cargarla erróneamente.

- **Componentes SAP:** Dado que SAP es una solución que abarca todos los procesos de negocio de una compañía cada aplicación y solución que combina puede ser definida en el siguiente flujo de proceso (Figura 29). A continuación se explican cada uno de los componentes de SAP mostrados en la figura 29.

³³ TELEFÓNICA. Proyecto ERP Latam: Introducción y Navegación Básica en SAP. [diapositivas]. Colombia, 2007. 76 diapositivas.

Figura 29. Flujo de proceso de los componentes de la SAP



Fuente: TELEFÓNICA. Proyecto ERP Latam: Introducción y Navegación Básica en SAP. [diapositivas]. Colombia, 2007. 76 diapositivas.

- a) **My SAP SCM:** SCM por sus siglas en inglés *supply chain management*, es decir, gestión de la cadena de suministro, es una solución que permite la colaboración, planeamiento, ejecución y coordinación de toda la cadena de abastecimiento del sistema.
- b) **My SAP SRM:** SRM por sus siglas en inglés *supplier relationship management*, es decir, administración de la relación con el proveedor, es una solución que se focaliza en el proceso de compra.
- c) **My SAP PLM:** PLM por sus siglas en inglés *plan lifecycle management*, es decir, plan de gestión del ciclo de vida, Es una aplicación que permite ingeniería colaborativa, desarrollo de producto, proyección, estructura de productos y administración de documentación.
- d) **My SAP CRM:** CRM por sus siglas in inglés *customer relationship management*, es decir, administración de la relación con el cliente, es una solución que le da apoyo a todos los procesos relacionados con el cliente por medio de canales administrados por socios, actividades de soporte de cada especialidad, centros interactivos, comercio electrónico y servicio electrónico.

La ERP: *Enterprise resource planning*, es decir, la planificación de recursos empresariales, permite integrar y planear los diferentes recursos necesarios de una

compañía dentro de una única base de datos. También ayuda a monitorear y controlar todas las actividades y procesos desde la compra de materiales hasta el envío al cliente de los bienes y servicios. Esta solución era conocida anteriormente como R/3 y está compuesta por (Figura 30):

Figura 30. Componentes de la ERP

OPERACIONES	Abastecimiento, Inventarios y Gestión de Almacenes, Producción, Ventas a través de celulares e Internet.
FINANZAS	Contabilidad financiera, Control Interno, Administración financiera de la cadena de abastecimiento
RRHH	Selección, Entrenamiento y Gestión del desempeño
Scios. Corporativos	Bienes raíces, Viajes, Medio Ambiente, Gestión de la calidad.

Fuente: TELEFÓNICA. Proyecto ERP Latam: Introducción y Navegación Básica en SAP. [diapositivas]. Colombia, 2007. 76 diapositivas.

- **Beneficios:** A partir de la implementación de SAP se incrementan de forma significativa los estándares de empresa, visualizándose mejoras en los siguientes aspectos:
 - a) Integración y consolidación de los procesos del negocio y sistemas en una única plataforma.
 - b) Integración de las capacidades con el objetivo de extender la cadena de valor.
 - c) Acceso a información clave y relevante requerida para reportes y planeamiento de funciones.
 - d) Calidad de la información: íntegra, exacta, consistente, completa en el momento requerido y accesible.
 - e) Conocimiento de los procesos de la compañía en tiempo real.
 - f) Soporte a la toma de decisiones y rendimientos administrativos (*Performance management*).
 - g) Comunicación operativa sobre áreas organizacionales.

4. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DEL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE LA PIA

Como información base se cuenta con una serie de documentos entregados por proyectos (Anexo H) en donde se encuentran catalogados los equipos que fueron entregados por la fase 2 de la planta de inyección de agua de la estación isla VI, de los cuales se extrajo la información para determinar los equipos del sistema de inyección contenidos allí.

4.1. ACTUALIZACIÓN DE LOS EQUIPOS EN SAP ERP

La actualización de los equipos del sistema de inyección en SAP ERP se divide en tres fases: Verificación de equipos cargados en el sistema, verificación de equipos en planta y actualización de los equipos.

4.1.1. Verificación de equipos cargados en el sistema Para encontrar el sistema de inyección se desglosa la estructura partiendo desde Upstream hasta llegar a las unidades de bombeo de inyección. En la figura 31 se observan los campos presentes en *upstream* en donde se resalta el campo Yariguí-Cristalinas, dentro de dicho campo encontramos las estaciones que pertenecen a él, en donde se destaca la planta de inyección.

Figura 31. Sistema de inyección en SAP

Visualizar equipo: Lista de estructura

Equipo: 10033115 Válido de: 20.10.2017

Denominación: Tx Presion Succion Bombas Recirculacion

O-E&P		Upstream			
AGU		Campo Aguas Blancas	PRD	PR0688	1000
ARA		Campo Arauca	PRD		1077
AUL		Campo Aullador	PRD	PR1980	1002
BON		Campo Bonanza	PRD	PR2001	1002
CGO		Campo Cantagallo	PRD		5012
CSB		Campo Casabe	PRD		1009
CSS		Campo Casabe Sur	PRD		1009
CTE		Campo Teca	PRD		1118
ELC		Campo Centro	PRD	PR2782	5014
GAL		Campo Gala	PRD	PR1329	1006
GAR		Campo Garzas	PRD		1040
GIB		Campo Gibraltar	PRD		1065
GLN		Campo Galán	PRD	PR1330	1006
LIS		Campo Lizama	PRD	PR1354	1000
LLA		Campo Llanito	PRD	PR1355	1006
NUT		Campo Nutria	PRD	PR1333	1000
ORY		Campo Oripaya	PRD		1005
PBL		Campo Peñas Blancas	PRD		1009
PER		Campo Peroles	PRD	PR0689	1000
PRO		Campo Provincia	PRD	PR2003	1002
SAR		Campo Sardinata	PRD		1508
SLS		Campo San Luis	PRD	PR0713	1000
SRQ		Campo San Roque	PRD	PR1978	1001
TES		Campo Tesoro	PRD	PR0690	1000
TIB		Campo Tibu	PRD		1080
TIS		Campo Tisquirama	PRD	PR1977	1003
YAR		Campo Yarigui-Cristalinas	PRD		1040
ZUL		Campo Rio Zulia	PRD		1078

YAR		Campo Yarigui-Cristalinas	PRD		1040
YAR-CORT		Corredor De Tubería	PRD		1040
YAR-ESB6		Estacion De Bombeo Isla Vi	PRD	PR3859	1040 E0770
YAR-ESCR		Estación cristalinas	PRD	PR3595	1040 E0730
YAR-PCOM		Planta Compresora Yarigui	PRD	PR3988	1040 E0750
YAR-PDI6		Planta Deshidratadora Isla Vi	PRD	PR3689	1040 E0760
YAR-PINY		Planta De Inyeccion	PRD	PR3434	1040 E0780
YAR-PZFC		Facilidades De Pozos	PRD	PR3487	1040 E0720
ZUL		Campo Rio Zulia	PRD		1078

Dentro de la planta de inyección (Figura 32) se encuentran los diferentes sistemas que la componen, cuyo sistema de interés es el de inyección el cual contiene las unidades de bombeo Booster y las Unidades de bombeo de inyección, estas últimas son las de interés en este trabajo.

Figura 32. Subsistemas de la planta de inyección

YAR-PINY		Planta De Inyeccion
▶	YAR-PINY-COMP	Sistema De Compresion
▶	YAR-PINY-INFRA	Sistema Infraestructura
▶	YAR-PINY-INYE	Sistema De Inyeccion
▶	YAR-PINY-REIN	Sistema De Reinyeccion
▶	YAR-PINY-SALM	Sistema De Almacenamiento
▶	YAR-PINY-SCIN	Sistema De Contra incendio
▶	YAR-PINY-SCSC	Sistema Conversion Y Secado
▶	YAR-PINY-SCYS	Sistema De Control Y Supervis
▶	YAR-PINY-SDFI	Sistema Drenajes Y Slop
▶	YAR-PINY-SELC	Sistema Electrico
▶	YAR-PINY-SLYT	Sistema Levantamiento Traslacion
▶	YAR-PINY-STRA	Sistema Tratamiento
▶	YAR-PINY-TMTR	Sistema De Transporte

▶	YAR-PINY-COMP	Sistema De Compresion
▶	YAR-PINY-INFRA	Sistema Infraestructura
▶	YAR-PINY-INYE	Sistema De Inyeccion
▶	YAR-PINY-INYE-AGUI	Agua Industrial
▶	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB1A	Und De Bombeo Inyeccion Booster P664a
▶	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB1B	Und De Bombeo Inyeccion Booster P664b
▶	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB1C	Und De Bombeo Inyeccion Booster P664c
▶	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB1D	Und De Bombeo Inyeccion Booster P664d
▶	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB1E	Und De Bombeo Inyeccion Booster P664e
▶	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	Und De Bombeo Inyeccion P665a
▶	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2B	Und De Bombeo Inyeccion P665b
▶	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2C	Und De Bombeo Inyeccion P665c
▶	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2D	Und De Bombeo Inyeccion P665d
▶	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2E	Und De Bombeo Inyeccion P665e

En la figura 33 se detallan los equipos cargados en SAP ERP que conforman las unidades de bombeo de inyección además del lazo de control de presión, el cual posee sub equipos en su estructura.

Figura 33. Unidades de bombeo cargadas en SAP ERP

Ubic.téc.	YAR	Válido de	08.11.2017
Denominación Campo Yarigui-Cristalinas			
YAR-PINY-INFR		Sistema Infraestructura	
YAR-PINY-INYE		Sistema De Inyeccion	
YAR-PINY-INYE-AGUI		Agua Industrial	
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB1A		Und De Bombeo Inyeccion Booster P664a	
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB1B		Und De Bombeo Inyeccion Booster P664b	
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB1C		Und De Bombeo Inyeccion Booster P664c	
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB1D		Und De Bombeo Inyeccion Booster P664d	
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB1E		Und De Bombeo Inyeccion Booster P664e	
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A		Und De Bombeo Inyeccion P665a	
10122326	Valvula Seguridad Descarga Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 S
10122336	Lz De Control De Presion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 N
10152093	Comp-Lubricacion Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 N
10152099	Lz De Proteccion Por Vibracion Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 N
10181838	Comp-Bomba Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 N
10211683	Acometida Electrica	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 N
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2B		Und De Bombeo Inyeccion P665b	
10003409	Comp-Lubricacion Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2B	E0780 N
10033091	Lz De Control De Presion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2B	E0780 N
10062599	Valvula Seguridad Descarga Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2B	E0780 S
10062632	Acometida Electrica	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2B	E0780 N
10152098	Lz De Proteccion Por Vibracion Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2B	E0780 N
10152116	Comp-Bomba Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2B	E0780 N
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2C		Und De Bombeo Inyeccion P665c	
10003386	Valvula Seguridad Descarga Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2C	E0780 S
10033098	Comp-Motor Electrico Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2C	E0780 N
10122350	Acometida Electrica	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2C	E0780 N
10181799	Lz De Control De Presion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2C	E0780 N
10211674	Comp-Lubricacion Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2C	E0780 N
10211700	Comp-Bomba Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2C	E0780 N
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2D		Und De Bombeo Inyeccion P665d	
10092328	Acometida Electrica	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2D	E0780 N
10122325	Valvula Seguridad Descarga Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2D	E0780 S
10122333	Lz De Control De Presion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2D	E0780 N
10152092	Comp-Lubricacion Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2D	E0780 N
10152115	Comp-Bomba Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2D	E0780 N
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2E		Und De Bombeo Inyeccion P665e	
10003410	Comp-Lubricacion Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2E	E0780 N
10033084	Valvula Seguridad Descarga Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2E	E0780 S
10033092	Lz De Control De Presion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2E	E0780 N
10033127	Comp-Bomba Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2E	E0780 N
10152094	Acometida Electrica	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2E	E0780 N

10122326	Valvula Seguridad Descarga Inyeccion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 S
10122336	Lz De Control De Presion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 N
10003396	Valv Ctrl Presion Descarga	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 N
10003419	Transmisor De Presion Salida	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 N
10092344	Switch De Presion Descarga	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 N
10092345	Switch Indicador De Presion Salida	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 N
10122365	Switch Indicador De Presion Entrada	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 N
10181827	Switch De Presion Succion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	E0780 N

Al comparar los equipos encontrados en la estructura de SAP ERP con los equipos pertenecientes al sistema de inyección presentes en la catalogación entregada por proyectos (Anexo I) se concluye que hace falta crear las 4 unidades de bombeo de inyección nuevas que se instalaron en la planta. Por este motivo se plantea una visita a planta con el grupo de trabajo de la coordinación IMC para corroborar la calidad de la información que se tiene.

4.1.2. Verificación de equipos en planta Para llevar a cabo la revisión de la calidad de la información entregada por la caracterización de equipos se realiza una visita a la PIA con el objetivo de determinar si hay equipos que sean necesarios agregar o eliminar de los formatos. Esta tarea se realiza por el grupo de trabajo de la coordinación IMC en conjunto con los ingenieros encargados de la planta, contando así con al menos un ingeniero de cada una de las especialidades (Mecánico rotativo, eléctrico e instrumentación y control).

El resultado de esta tarea es la necesidad de modificar los formatos diligenciados inicialmente ya que no se ajustan a la realidad de los equipos instalados en planta tal como se muestra en la figura 34. Partiendo de esta modificación se procede a verificar el resto de información necesaria para la creación de equipos en SAP ERP.

Figura 34. Formato actualizado de los equipos instalados en la PIA

	P665F/G/H/I	P665A/B	P665C	P665D/E
EQUIPOS ELIMINADOS	Comp-Lubricación Inyección			
	Indicador de Presión de Succión Bomba P - 665 F de Bombas Booster P- 664 F/G/H/I			
	Transmisor Indicador de Presión de descarga Bomba P - 665 F			
	Indicador de Presion Diferencial de Succion Bomba P-665 F			
	Indicador de Presión de Descarga Bomba P - 665 F			
EQUIPOS CONSERVADOS	Comp-Bomba Inyección	→	Comp-Bomba Inyección	
	Comp-Motor Eléctrico Inyección	→	Comp-Motor Eléctrico Inyección	
	Acometida eléctrica	→	Acometida eléctrica	
	Válvula Seguridad Presión de Inyección Agua a Trampas o recirculación a tanques de almacenamiento de agua filtrada	→	Válvula Seguridad descarga	
	Válvula motorizada para apertura y cierre a pozos estación Isla VI y Auxiliar	→	Valvula de descarga (MOV)	
	Instrumentación Und De Bombeo Inyeccion Booster P-665F	→	Control y Monitoreo	
	Transmisor Indicador de Presión de Succión Bomba P - 665 F de Bombas Booster P- 664 F/G/H/I	→	Transmisor Indicador de Presión de Succión	
	Lz De Control De Presion	→	Lz De Control De Presion-Recirculacion	
	Trasmisor Indicador de Presión de Recirculación a TK - 651B/662B	→	Trasmisor Indicador de Presión de Recirculación a TK651B/662B	
	válvula autoregulada de presión de Inyección Agua a Trampas	→	Válvula presion linea recirculacion (PCV)	
EQUIPOS AGREGADOS	Comp-Motor Lubricacion A			Arrancador Motortronex
	Comp-Bomba Lubricacion A			Arrancador Motortronex
	Comp-Motor Lubricacion B			Arrancador Motortronex
	Comp-Bomba Lubricacion B			Comp-Motor Eléctrico Inyección
	Comp-Motor Sist Refrigeracion de Sist Lubricacion A		Comp-Motor Eléctrico Inyección	Lz Proteccion por Vibracion inyeccion
	Comp-Cooler Sist Refrigeracion de Sist Lubricacion A			Lz Proteccion por Vibracion inyeccion
	Comp-Motor Sist Refrigeracion de Sist Lubricacion B			Lz Proteccion por Vibracion inyeccion
	Comp-Cooler Sist Refrigeracion de Sist Lubricacion B			Lz Proteccion por Vibracion inyeccion
	Arrancador Motortronex		Camara de empuje	Camara de empuje
	Comp- Monitoreo vibracion			Camara de empuje

4.1.3. Actualización de los equipos Teniendo la información de equipos por crear condensada en la plantilla de cargue de equipos a SAP se procede a verificar que la información contenida en los campos mínimos requeridos sea la real o a completarla en caso de no existir. Dichos campos necesarios son:

- Tipo de equipo
- Denominación
- Tipo de objeto
- Centro de emplazamiento
- Emplazamiento
- Área de la empresa
- Indicador ABC
- Campo de clasificación
- Sociedad
- Centro de costo
- Centro de planificación
- Grupo de planificación
- Puesto de trabajo responsable
- Centro de puesto de trabajo
- Perfil catalogo
- Ubicación técnica o equipo superior
- Número de identificación técnica
- Clase de objeto
- Población
- Región

Esta información se corrige y ajusta con el profesional encargado de manejar el software en la coordinación dando como resultado el formato final de cargue de equipos (Anexo J) en donde se establecen las pautas ya mencionadas para la creación de las cuatro unidades de bombeo, las cuales contienen cada una ocho equipos y 12 sub-equipos, dando un total de 20 equipos por unidad, es decir, que para las 4 unidades de la planta se tiene un total de 80 equipos nuevos a crear en la base de datos de SAP ERP.

A partir del formato mencionado anteriormente se lleva a cabo la actualización necesaria y posterior a ella se realiza la verificación en el entorno de SAP ERP en donde, como se puede observar en la figura 35, el proceso de creación se ha efectuado de manera correcta y se puede verificar que las unidades y sus respectivos equipos se encuentran tal como se esperaba.

Figura 35. Actualización en SAP ERP de los equipos de la PIA

Visualizar ubicación técnica: Lista de estructura

Ubic.téc. YAR Válido de 16.11.2017

Denominación Campo Yarigu-Cristalinas

Denominación	Descripción	Und De Bombeo Inyeccion	Material	Stock	Activo
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2E		P665e			
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2F		P665F			
11107098	Comp-Bomba Inyección		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2F	E0780	X
11107099	Comp-Motor Eléctrico Inyección		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2F	E0780	X
11107100	Arrancador Motortronex		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2F	E0780	X
11107101	Comp- Monitoreo vibracion		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2F	E0780	X
11107102	Acometida eléctrica		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2F	E0780	X
11107103	Válvula Seguridad descarga		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2F	E0780	X
11107104	Control y Monitoreo		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2F	E0780	X
11107105	Lz De Control De Presion-Recirculacion		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2F	E0780	X
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2G		P665G			
11107106	Comp-Bomba Inyección		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2G	E0780	X
11107107	Comp-Motor Eléctrico Inyección		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2G	E0780	X
11107108	Arrancador Motortronex		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2G	E0780	X
11107109	Comp- Monitoreo vibracion		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2G	E0780	X
11107110	Acometida eléctrica		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2G	E0780	X
11107111	Válvula Seguridad descarga		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2G	E0780	X
11107112	Control y Monitoreo		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2G	E0780	X
11107113	Lz De Control De Presion-Recirculacion		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2G	E0780	X
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2H		P665H			
11107114	Comp-Bomba Inyección		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2H	E0780	X
11107115	Comp-Motor Eléctrico Inyección		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2H	E0780	X
11107116	Arrancador Motortronex		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2H	E0780	X
11107117	Comp- Monitoreo vibracion		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2H	E0780	X
11107118	Acometida eléctrica		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2H	E0780	X
11107119	Válvula Seguridad descarga		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2H	E0780	X
11107120	Control y Monitoreo		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2H	E0780	X
11107121	Lz De Control De Presion-Recirculacion		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2H	E0780	X
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I		P665I			
11107122	Comp-Bomba Inyección		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780	X
11107123	Comp-Motor Eléctrico Inyección		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780	X
11107124	Arrancador Motortronex		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780	X
11107125	Comp- Monitoreo vibracion		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780	X
11107126	Acometida eléctrica		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780	X
11107127	Válvula Seguridad		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780	X
11107128	Control y Monitoreo		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780	X
11107129	Lz De Control De Presion-Recirculacion		YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780	X
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIILCB2		Lazo Control de Presion Bombas Inyeccion			
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIMB2		Unidad de monitoreo Bombas inyeccion			
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIISR1		Lazo de recirculacion Booster			
YAR-PINY-REIN		Sistema De Reinyeccion			
YAR-PINY-SALM		Sistema De Almacenamiento			
YAR-PINY-SCIN		Sistema De Contraincendio			
YAR-PINY-SCSC		Sistema Conversion Y Secado			
YAR-PINY-SCYS		Sistema De Control Y Supervis			

Figura 35. (Continuación)

Lista Iratar Pasar a Detalles Entorno Opciones Sistema Ayuda

Visualizar ubicación técnica: Lista de estructura

Nivel hacia arriba Detalles completos

Ubic.téc.	YAR	Válido de	16.11.2017
Denominación	Campo Yarigui-Cristalinas		
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB1I	Und De Bombeo Inyeccion Booster P664I		
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2A	Und De Bombeo Inyeccion P665a		
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2B	Und De Bombeo Inyeccion P665b		
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2C	Und De Bombeo Inyeccion P665c		
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2D	Und De Bombeo Inyeccion P665d		
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2E	Und De Bombeo Inyeccion P665e		
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F		
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G		
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H		
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I		
11107122	Comp-Bomba Inyección	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107233	Comp-Motor Lubricacion A	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107234	Comp-Bomba Lubricacion A	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107235	Comp-Motor Lubricacion B	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107236	Comp-Bomba Lubricacion B	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107237	Comp-Motor Sist Refrigeracion A	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107238	Comp-Cooler Sist Refrigeracion A	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107239	Comp-Motor Sist Refrigeracion B	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107240	Comp-Cooler Sist Refrigeracion B	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107123	Comp-Motor Eléctrico Inyección	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107124	Arrancador Motortronex	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107125	Comp- Monitoreo vibracion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107126	Acometida eléctrica	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107127	Válvula Seguridad	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107128	Control y Monitoreo	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107241	Transmisor de Presión de Succión	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107242	Valvula de descarga (MOV)	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107129	Lz De Control De Presion-Recirculacion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107243	Transmisor Presión Recirculación a TKs	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
11107244	Válvula presion linea recirculacion	YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIB2I	E0780 X
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIILCB2	Lazo Control de Presion Bombas Inyeccion		
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIIMB2	Unidad de monitoreo Bombas inyeccion		
YAR-PINY-INYE-AGUI-GYARPIISRB1	Lazo de recirculacion Booster		
YAR-PINY-REIN	Sistema De Reinyeccion		
YAR-PINY-SALM	Sistema De Almacenamiento		
YAR-PINY-SCIN	Sistema De Contraincendio		
YAR-PINY-SCSC	Sistema Conversion Y Secado		
YAR-PINY-SCYS	Sistema De Control Y Supervis		
YAR-PINY-SDFI	Sistema Drenajes Y Slop		
YAR-PINY-SELC	Sistema Electrico		
YAR-PINY-SLYT	Sistema Levantamiento Traslacion		
YAR-PINY-STRA	Sistema Tratamiento		
YAR-PINY-TMTR	Sistema De Transporte		
YAR-PZFC	Facilidades De Pozos		
ZUL	Campo Rio Zulia		

Con esto se garantiza la calidad de la información contenida en SAP ERP asegurando que se refleja en el sistema la realidad de la planta y de esta manera se puede proceder con la tarea final necesaria para el cumplimiento del primer objetivo específico del proyecto.

4.2. ESTABLECIMIENTO DE LOS EQUIPOS OBJETIVO DE LA METODOLOGÍA RCM

Teniendo datos confiables de equipos, en donde los equipos pertenecientes a las unidades de bombeo de agua de inyección que están registradas en SAP ERP son las mismas que están presentes en la PIA se puede proceder al establecimiento de los equipos que serán objeto de la metodología RCM. La determinación de dichos equipos objeto de este proyecto se realiza en base a la no existencia en SAP ERP de un plan de mantenimiento activo, pero antes de esto se debe aclarar que de las 9 unidades de bombeo existentes, 5 son unidades de bombeo horizontales (HPS) y 4 son unidades de bombeo de carcasa partida; lo que significa que en realidad sólo se tienen dos tipos de unidades de bombeo a los cuales se les debe verificar si cuentan o no con la asignación de un plan de mantenimiento.

Después de realizada la búsqueda en el sistema, se encuentra que únicamente las unidades HPS cuentan con un plan de mantenimiento activo asociado a ellas, el cual se muestra en la figura 36, por lo que se concluye que los activos objeto de este trabajo son las 4 unidades de bombeo de carcasa partida, las cuales se encuentran referenciadas en el sistema como: Unidad de bombeo de inyección Booster P-665 F, unidad de bombeo de inyección Booster P-665 G, unidad de bombeo de inyección Booster P-665 H y unidad de bombeo de inyección Booster P-665 I.

Figura 36. Planes mantenimiento unidades bombeo HPS



Visualizar posición del plan-manten.: Lista de posiciones de mantenimi

Denom.ubic.técnica	PLMantPiv	Descripción posición de mantenimiento	Estr.	Denominación de objeto técnico	Equipo	GpH/Lta	CGH Pos.PM	Ubicación técnica	Último orden	Pto	PtoTtRes	Creado el	C	CooCasf	O	Ala	GP
Und De Bombeo Inyeccion P665a	1024480	Mtto PSV Bomba P665A	E02	Valvula Seguridad Descarga Inyeccion	10122326	CGO_VASC	11 70625	YAR-PNY-BIYE-AGU-GYARPIBZA	10246514		DCRECGO	08.01.2017	S	GYARPII	P01		OBN
Und De Bombeo Inyeccion P665a		Mtto PVO Bomba Centrífuga P665A	E02	Comp-Bomba Inyeccion	10181838	CGO_PUCE	7 34980	YAR-PNY-BIYE-AGU-GYARPIBZA	10246512		DEECCGO	27.05.2016	N	GYARPII	P01		OBN
Und De Bombeo Inyeccion P665a		Mtto Protecciones de Presion	E02	Lz De Control De Presion	10122336	CGO_BPR	3 52923	YAR-PNY-BIYE-AGU-GYARPIBZA	10246513		DINECCGO	08.09.2016	N	GYARPII	P01		OBN
Und De Bombeo Inyeccion P665a		Mtto PVO Termogra Bba Centrífuga P665A	E02			CGO_CBME	12 105195	YAR-PNY-BIYE-AGU-GYARPIBZA	10246515		DEECCGO	31.10.2017	X	GYARPII	P04		OBN
Und De Bombeo Inyeccion P665a	1024544	Monitoreo y Analisis Vbraco/Lubricaco	E01	Comp-Bomba Inyeccion	10181838	CGO_PUCE	10 35139	YAR-PNY-BIYE-AGU-GYARPIBZA	10246032		DEECCGO	29.05.2016	N	GYARPII	P06		OBN
Und De Bombeo Inyeccion P665a	1076214	Prueba Estatica/Dinamica Motor MCEMAX	E11			CGO_CBME	8 105200	YAR-PNY-BIYE-AGU-GYARPIBZA	10246507		DEECCGO	31.10.2017	X	GYARPII	P06		OBN

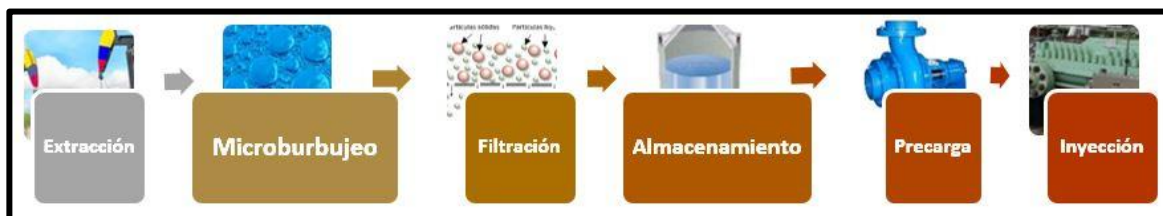
Habiendo definido los activos objetivo del presente proyecto se concluye con el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de las bombas de inyección de la PIA, el cual es objetivo base para el desarrollo de este trabajo y permite continuar con la aplicación de la metodología RCM a dichos activos.

5. ESTABLECIMIENTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM PARA LAS UNIDADES DE BOMBEO DE AGUA DE INYECCIÓN P-665 F, P-665 G, P-665 H y P-665 I

5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN

El proceso de inyección, tal como se muestra en la figura 37, consta de 6 etapas secuenciales que son las siguientes:

Figura 37. Proceso de inyección de agua



I. Extracción: El agua de inyección tiene dos procedencias diferentes:

- Pozos de captación de agua, de donde se bombea el agua directamente a los tanques de almacenamiento (Proceso 4).
- Mezclada con el crudo extraído, el cual mediante una serie de procesos es separado en crudo, gas y agua, la cual se bombea hacia los tanques de estabilización y flotación.

II. Microburbujeo: En los tanques de estabilización y flotación se realiza un proceso de microburbujeo mediante la recirculación en estos tanques el cual permite separar las trazas oleosas que estén contenidas en el agua.

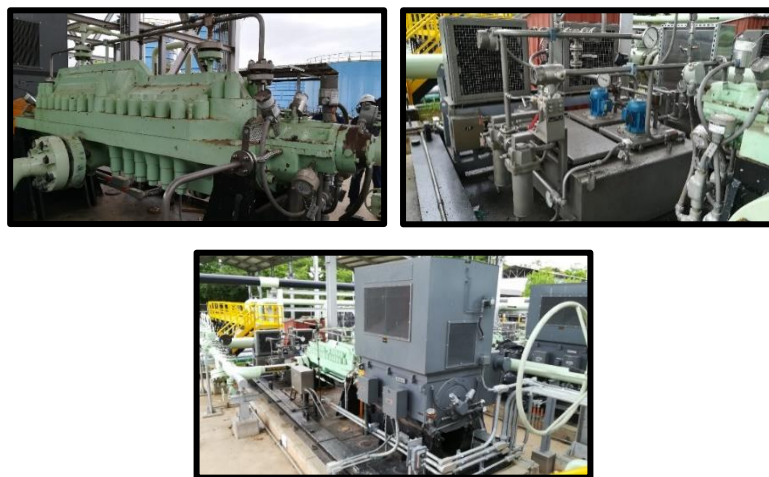
III. Filtrado: Posterior al proceso de microburbujeo se bombea el agua a través de unos filtros que permiten el transporte del agua con las condiciones requeridas por el proceso.

- IV. Almacenamiento:** Después de la etapa de filtrado, el agua se lleva a los tanques de almacenamiento donde se mezcla con el agua procedente de los pozos de captación.
- V. Precarga:** Antes de ser inyectada en los pozos el agua es tomada de los tanques de almacenamiento por un conjunto de bombas de precarga denominadas “Booster” para ser llevada a una presión de aproximadamente 110 PSI necesaria para el correcto funcionamiento de las bombas de inyección.
- VI. Inyección:** Finalmente el agua es tomada por las bombas de inyección y bombeada hacia los cabezales de inyección de agua a una presión de aproximadamente 3300 PSI.

5.2. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDADES DE BOMBEO

Las unidades de bombeo de inyección están compuestas cada una por 1 motor eléctrico, 1 bomba centrífuga, 1 sistema de monitoreo y 1 sistema de lubricación, tal como se puede ver en la figura 38 y se especifica en el manual de los equipos (Anexo K).

Figura 38. Unidad de bombeo para la inyección



5.2.1. Bomba La bomba centrífuga, fabricada por FlowServe, es una bomba multietapas (14 etapas) montada horizontalmente con cojinetes radiales y un cojinete de empuje de bolas doble, cuenta con las especificaciones mostradas en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de la bomba centrífuga FlowServe

CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDAD
Flujo nominal	644	GPM
Presión de succión	100-145	PSIG
Presión de descarga	3200	PSIG
Cabeza diferencial	7161	Ft
NPSHA	>30	Ft
Eficiencia	70	%
Velocidad	3560	RPM
Potencia	1663	HP

- **Carcasa:** La carcasa dividida de la bomba es un diseño de doble voluta con la unión de las mitades sellada por una junta y asegurada con espárragos y tuercas ciegas. Las líneas de succión y descarga y los alojamientos de los cojinetes son integrales con la mitad inferior de la carcasa. Esto permite quitar la mitad superior y el elemento giratorio sin alterar la tubería principal.
- **Elementos rotativos:** El conjunto de elementos giratorios está formado por el eje de la bomba, los impulsores y sus anillos de desgaste, los anillos de desgaste de la carcasa, las camisas del eje, las piezas de la etapa, los bujes de garganta y el acelerador. Los impulsores y casquillos de los ejes accionados por chaveta (Los impulsores conducidos y las mangas del eje) se instalan en el vástago de la bomba con ajuste retráctil y se posicionan mediante anillos partidos. Los anillos de desgaste de la carcasa y las piezas de las etapas se colocan mediante lengüetas y ranuras que encajan con las dos mitades de la carcasa,

cada una de las cuales tiene un pasador anti giro que engancha una ranura en la mitad inferior de la carcasa en la línea de separación.

- **Cojinetes y alojamientos:** Los soportes de los cojinetes divididos horizontalmente contienen los componentes de los rodamientos radiales y axiales y se fijan a los soportes de los cojinetes mediante tornillos de cabeza cilíndrica, utilizando pasadores para mantener la alineación. La bomba tiene rodamientos radiales de casquillo y un par de rodamientos duplex de contacto angular en el extremo de empuje. Un perno de fijación en la mitad superior de cada alojamiento de rodamientos impide la rotación del cojinete de casquillo. Los soportes de los rodamientos contienen aceite para lubricarlos. La distribución del aceite a cada rodamiento se realiza mediante un anillo de aceite que se monta en una ranura en el retenedor del anillo de aceite. Los deflectores montados en el eje evitan la fuga de aceite de la caja de rodamientos.

5.2.2. Motor El motor *General Electric* de inducción es el encargado de transferir el movimiento a la bomba, es un motor Pegasus MHV Horizontal montado sobre cojinetes de deslizamiento lubricado por inmersión que cuenta con las siguientes características:

Tabla 2. Especificaciones del motor *General Electric*

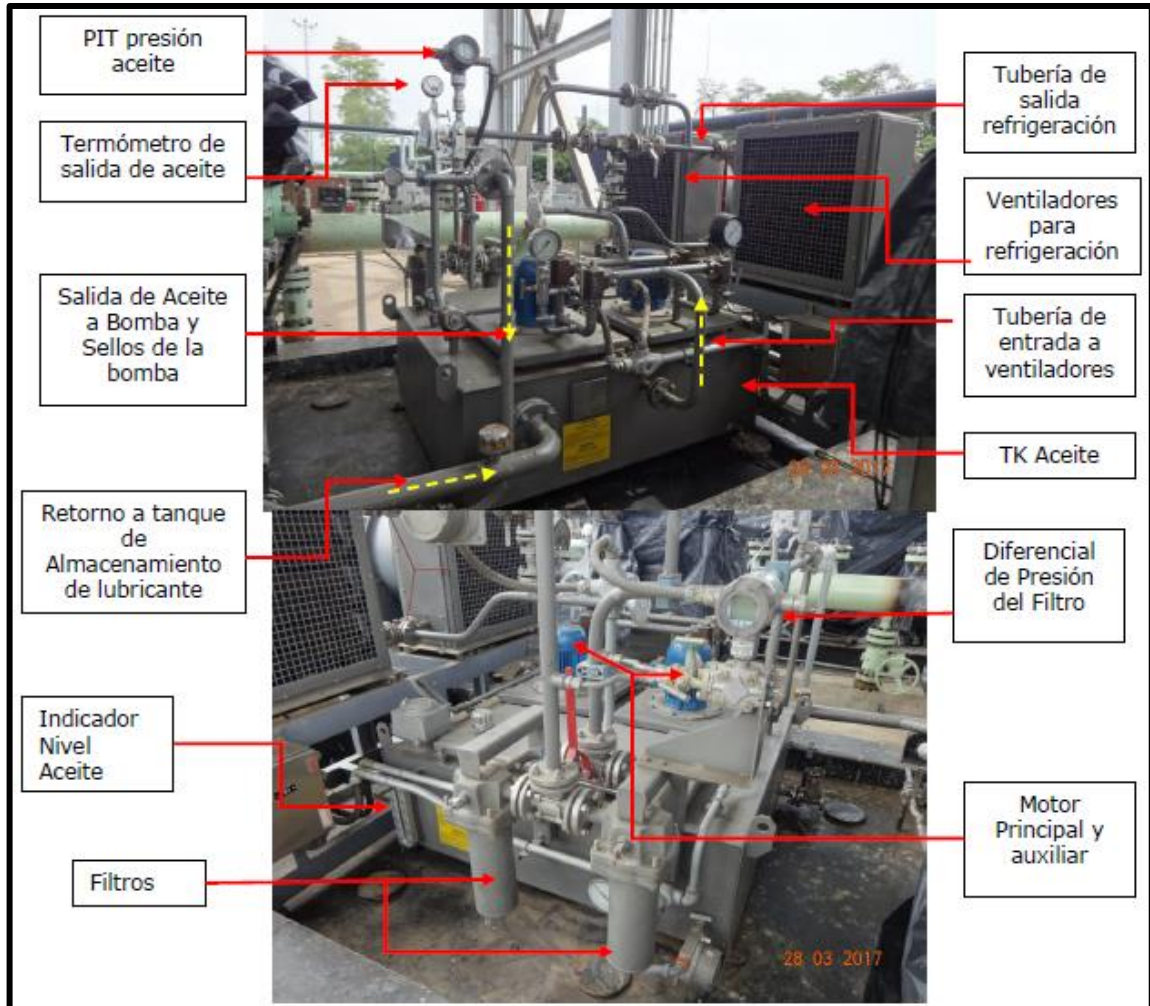
CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDAD
Potencia	1900	HP
Polos	2	-
Voltaje	4160	V
Frecuencia	60	Hz
Fases	3	-
Corriente	229	A
Velocidad	3574	RPM
Torque	2791	Lb-ft

- **Protección del clima:** El principio del motor protegido contra la intemperie es proporcionar vías de aire a la parte activa de la máquina y, al mismo tiempo, evitar el paso de humedad y contaminantes sólidos. En estos motores, los deflectores, en la sección superior (Ventilación) proporcionan cambios abruptos en la dirección y las velocidades de control, impidiendo la humedad y los contaminantes sólidos a la vez que mantienen un mínimo de resistencia al aire.
- **Refrigeración:** El aire de refrigeración ingresa al motor a través de las celosías ubicadas en los lados de la sección superior y se eleva verticalmente hacia la parte superior del gabinete. Los filtros de aire pueden instalarse en este punto para eliminar las partículas extrañas sólidas de la atmósfera extremadamente contaminada que no se eliminan del aire durante su elevación vertical. A partir de este punto, el aire forma una compuerta de 180 grados para pasar verticalmente hacia abajo en la sección inferior que aloja las partes activas del motor.

5.2.3. Sistema de lubricación El sistema de lubricación suministra aceite lubricante a los rodamientos y cojinetes de la bomba a una tasa de 4,5 GPM, con una presión de 15 PSI y temperatura entre 30 y 130 °F, además bombea el aceite lubricante constantemente durante la operación que se realiza con 1 HP de potencia. El sistema de lubricación puede proteger la unidad de bombeo en caso de que la presión de descarga sea mayor a 25 PSI y permite el conocimiento de los parámetros de operación del sistema.

El sistema de lubricación para la bomba de inyección FLOWSERVE consta de dos motores eléctricos de 1 HP de potencia cada uno, dos motoventiladores cada uno de 1 HP de potencia, dos bombas de engranajes, dos intercambiadores de flujo cruzado aire-aceite, dos filtros de aceite y un tanque de almacenamiento. En la figura 39 se observan los componentes del sistema de lubricación con su respectiva ubicación en el equipo.

Figura 39. Sistema de lubricación



5.2.4. Sistema de monitoreo Es un equipo producido por la *General Electric* que tiene las siguientes características:

- Aumento de la seguridad en la planta.
 - Reducción de los costos de operación de la planta.
 - Mejoramiento de calidad de los productos.
 - Maximización de disponibilidad de la planta.
- **Proximitor/Monitor sísmico:** Es un monitor de 4 canales que acepta entradas de transductores de proximidad y sísmicos, condiciona la señal para hacer varias

mediciones de vibración y posición, y compara las señales condicionadas con las alarmas programables por el usuario.

- **Protección de la maquinaria:** Los canales de relevadores no tienen cables sino que operan basados en estados lógicos. Estos estados son combinaciones lógicas de Señales de Alarma creadas por los “*setpoints*” que se están violando. La configuración de las señales de alarma y la lógica de relevadores deben considerarse cuidadosamente a la luz de monitorear los cambios y la operación de los relevadores.

5.2.5. Criticidad del sistema La criticidad en los equipos de Ecopetrol S.A. es determinada a partir de la guía para identificar equipos críticos (Anexo G) y se acompaña de un riesgo establecido a partir de la guía matriz de evaluación de riesgo (Anexo F). La criticidad es representada en tres posibles valores: S cuando el activo es crítico, N cuando el activo no es crítico y X cuando el activo no registra una valoración de criticidad y cada una de estas valoraciones tiene un riesgo asignado que puede ser: Nulo (N), Bajo (L), Medio (M), Alto (H) o Muy alto (VH).

Como premisa para el análisis de criticidad se establece que la unidad está conformada solo por dos equipos: **La bomba** y **el motor**, ya que cualquier afectación de los sistemas de lubricación o monitoreo impacta directamente a la bomba, por lo tanto estos serán tan críticos como la bomba lo sea.

La valoración que Ecopetrol S.A. ha designado para la bomba es criticidad **S** con riesgo **M**, es decir que la bomba es un equipo crítico que presenta un nivel medio de riesgo y la valoración designada para el motor es criticidad **N** con riesgo **M**, lo que significa que el motor es un equipo no crítico que presenta un nivel medio de riesgo.

5.3. DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS Y SUBSISTEMAS

Para establecer un orden al aplicar la metodología RCM a las unidades de bombeo de agua de inyección de carcasa partida se divide la unidad en cuatro sistemas:

- **Bomba:** Incluye la bomba con sus componentes internos y el acople.
- **Motor:** Incluye el motor con sus componentes internos, su sistema de lubricación y la acometida eléctrica.
- **Sistema de lubricación:** Incluye el sistema de lubricación de la bomba.
- **Control y monitoreo:** Incluye toda la instrumentación de la unidad y el sistema de monitoreo continuo.

Es necesario aclarar que, si bien es cierto que cada una de las partes, componentes o subsistemas de un equipo tienen su propio nivel de riesgo y criticidad, para Ecopetrol S.A. el grado de detalle en la criticidad llega hasta el equipo o unidad y después de él, todos sus componentes o subsistemas son tan críticos como lo es el equipo, siendo esta la misma visión que tiene SAP en su estructura de orden, por lo que, tanto los sistemas bomba, sistema de lubricación y control y monitoreo como sus componentes son críticos (S) con un nivel de riesgo medio (M) y el sistema motor junto con sus componentes es no crítico (N) con un nivel de riesgo medio (M).

5.4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM

El procedimiento adoptado para la aplicación de la metodología RCM comienza con la realización de un AMEF a partir de la documentación existente en manuales de equipos y procedimientos, el sistema de información SAP y la experiencia del personal de mantenimiento de Ecopetrol S.A. Dicho AMEF después de ser desarrollado es retroalimentado en una reunión llevada a cabo con los profesionales que conocen los equipos y estarán en contacto con ellos, para a partir de la misma generar una última versión del AMEF la cual puede ser divulgada como la definitiva y en base a ella extraer las diferentes tareas y recomendaciones con las cuales contará el plan de mantenimiento cargado en el sistema.

5.4.1. Ajuste del formato de análisis de modos y efectos de falla (AMEF) diseñado por Ecopetrol S.A. Ecopetrol S.A cuenta con más de un formato para realizar el FMECA, para nuestro caso se adaptó el formato suprimiendo la criticidad, además se agregaron unas columnas que aportan información importante al formato como por ejemplo un balance de costos, como también se suprimió información considerada no necesaria para el proyecto, este formato puede ser encontrado en el Anexo L.

El paso siguiente al establecimiento del formato para la realización del AMEF es realizar la respectiva introducción de la información recolectada a partir de las personas que conocen, operan y mantienen los equipos, así como de fuentes externas de consulta que permitieron definir claramente cada una de las partes del AMEF (Anexo M).

5.4.2. Identificación de las funciones y las fallas funcionales Se realizó un análisis de cada sistema determinando su función principal y su respectiva falla que responde a la pregunta ¿Por qué no está funcionando el equipo? Además se identificaron los componentes que ocasionan dichas fallas. En la figura 40 se puede observar un ejemplo del formato aplicado en este caso al sistema de lubricación de la bomba de inyección FlowServe P-665 F, en la figura también se pueden observar los componentes del equipo, su criticidad ASP, su factor de riesgo según la matriz RAM, su función y su falla funcional.

Figura 40. Identificación de las funciones y fallas funcionales

EQUIPO	CODIGO EQUIPO SAP	CRITICIDAD ASP	RAM	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL
Comp-Bomba Lubricacion		S	M	Suministrar aceite lubricante a los rodamientos Y cojinetes de la bomba a una tasa de 4,5 GPM, una presión de 15 PSI y temperatura entre 30 y 130 °F	Incapacidad para suministrar aceite lubricante a los COJINETES
				Contener el aceite lubricante bombeado	Bomba opera con fugas
Comp-Cooler Sist Refrigeracion de Sist Lubricacion		S	M	Transmitir 2 HP de potencia	El motor es incapaz de transmitir la potencia requerida.
Comp-Motor Sist Refrigeracion de Sist Lubricacion		S	M		
Comp-Motor Lubricacion		S	M		
Comp-Instrumentacion Sist Lubricacion		S	M	Proteger la unidad de bombeo en caso de que la presión de descarga sea mayor a 25 PSI.	Pérdida de la función del sistema de lubricación por sobrecarga del sistema.
				Permitir el conocimiento de los parámetros de operación del sistema	

5.4.3. Identificación de los principales modos de falla, sus efectos y posibles causas de falla A cada sistema se le asignaron sus respectivos componentes o subsistemas, identificando el modo de falla, efecto y causa para cada uno como se muestra en la figura 41, se observa que el sistema de lubricación de la bomba de inyección FlowServe P-665 F tiene 5 componentes y a cada uno se asigna su modo o modos de falla con su respectiva causa y efecto.

Figura 41. Modo, efecto y causa de falla

COMPONENTE	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	CAUSA DE FALLA
Bomba de aceite	Rotura de Componentes internos. Atascamiento	La bomba de lubricación se detiene y deja de enviar lubricante a la unidad de bombeo	Fallos en el filtro de aceite. Contaminación con partículas o elementos agresivos
	Desgaste anormal en componentes internos. Bajo nivel de aceite. Desajuste en la válvula de control de presión.	No se tiene una correcta lubricación de la unidad de bombeo. Posible parada de la bomba de lubricación	Contaminación del aceite. Ataque químico. Operación en seco
	Daño de retenedores o empaques. Rotura del carter de la bomba	Fugas extremas de aceite lubricante	Golpes externos. Daños de internos. Fin de la vida útil empaques
Motor del ventilador intercambiador de calor	Falla de componentes internos	Detención del motor por falla.	Daño de los componentes internos del motor por sobrecarga, atascamiento, contaminación o factores externos.
Motor de la bomba del sistema de lubricación	Falla del circuito de potencia	Detención del motor por falta de energía.	Daño en los cables o su recubrimiento. Desajustes o desconexiones.
Válvula de seguridad	Atascamiento/Rotura de la válvula	Daños en el sistema de lubricación. Daño inminente en la bomba de inyección	Deficiencia de lubricación. Contaminación con partículas o fluidos agresivos.
Transmisores. Indicadores	Lectura anormal del instrumento		Descalibración o daño en las conexiones o partes del instrumento. Ruido eléctrico. Falta del cableado
	Instrumento no funciona o no envía señal.		Daño por descargas. Falta del sistema de puesta a tierra. Pérdida de alimentación eléctrica. Daño del dispositivo por influencia externa (humedad, suciedad)

5.4.4. Planteamiento de las actividades de mantenimiento Para cada componente/sistema se plantearon diferentes tareas de mantenimiento y se propusieron frecuencias y tiempos de duración basado en los RCM que existen en Ecopetrol S.A. como también lo que está disponible en SAP. En la figura 42 se pueden observar las actividades propuestas con su frecuencia y duración para el sistema de lubricación de la bomba de inyección FlowServe P-665 F.

Figura 42. Actividades de mantenimiento

TIPO DE ACTIVIDAD	TAREAS PROPUESTAS	TIPO TAREA	FRECUENCIA	UNIDAD DE FRECUENCIA	DURACION (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)
Inspección	Inspeccion de instrumentos	TBT	1	Año	2	2	4
Inspección	Verificacion del aire	TBT	1	Mes	1	2	2
Inspección	Verificacion de sensibilidad	TBT	2	Año	32	2	64
Inspección	Inspeccion de la valvula	TBT	1	Año	8	2	16
Reparar	Mantenimiento valvula seguridad	TCC	-	-	7	2	14
Inspección	Análisis de condicion valvula MOV	TCC	-	-	4	2	8
Inspección	Inspeccion de instrumentos	TBT	1	Año	3	2	6
Reemplazar	Reemplazar instrumentos	TCC	-	-	2	2	4
Inspección	Inspeccion del transmisor	TBT	1	Año	2	2	4
Reemplazar	Reemplazar presostato	TCC	-	-	1.5	2	3
Inspección	Inspeccion Valvula Presion	TBT	1	Año	5	2	10
Inspección	Verificacion Posicionamiento	TBT	8	Hora	0.5	1	0.5
Servicio	Limpieza de la valvula	TCC	-	-	7	2	14

Figura 42. (Continuación)

LISTA DE ACCIONES
Inspeccionar y limpiar los sensores. Verificar su funcionalidad y realizar su calibración. Realizar una prueba funcional del sistema.
Realizar una verificación de la calidad del aire en el gabinete
Realizar una verificación de sensibilidad de los sensores
Realizar una inspección, limpieza y pruebas a la válvula
Realizar mantenimiento de la válvula de seguridad basado en su condición
Realizar un análisis de condición de la válvula en base a los datos almacenados en ella (Registro de aperturas, Torque, Corriente, Temperatura) dependiendo de la condición de la válvula
Inspección y limpieza los transmisores e indicadores. Verificación funcional. Calibración. Prueba funcional
Reemplazar los transmisores y/o los indicadores dependiendo de su condición.
Inspección y limpieza del presostato (Medidor y Switch). Verificación funcional. Calibración. Prueba funcional
Reemplazar el medidor de presión y/o el switch dependiendo de su condición.
Realizar una inspección, limpieza y pruebas a la válvula
Realizar una verificación del posicionamiento de la válvula cuando se lleve a cabo la ronda del operador
Realizar una limpieza de la válvula basada en su condición

5.4.5. Realización de los talleres RCM Para verificar la validez del AMEF desarrollado se convoca a un taller al cual asisten los ingenieros, operadores y demás funcionarios que tienen a su cargo la operación y mantenimiento de estos equipos, así como también quienes tengan un amplio conocimiento de los mismos. El objetivo de dicho taller es revisar y estudiar completamente el formato para corregir lo que pueda ser incoherente y alimentar el análisis en caso de faltar algo relevante.

A partir de este taller se obtiene un AMEF preciso que mediante algunos ajustes posteriores es aprobado tanto por la coordinación IMC como por el departamento ejecutor del mantenimiento. El AMEF final se encuentra ejemplificado en las figuras 40 a 42 y se puede estudiar a fondo en el Anexo N ya que su tamaño no es

compatible con el del presente documento; adicionalmente se cuenta con el acta de realización del taller RCM en el Anexo O.

5.5. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM

5.5.1. Resultados del AMEF El resultado final del AMEF es el listado de tareas a realizar a los diferentes equipos con sus respectivas frecuencias (Anexo N). Desde la figura 43 hasta la 56 se pueden observar las diferentes acciones que se deben realizar a las unidades de bombeo de inyección de agua. En estas se detallan las siguientes características:

- **Frecuencia:** Es el intervalo de tiempo en el que deben ser realizadas, para las tareas que tienen una frecuencia TCC significa que es una tarea a condición, la cual se realizará cuando alguno de los análisis de condición lo indique, para estas tareas no se debe crear una hoja de ruta ya que no son incluidas en el plan de mantenimiento que se debe crear en SAP ERP.
- **Equipo:** Es el componente de la unidad a la cual se le debe realizar dicha tarea.
- **Actividad de mantenimiento:** Es la acción de mantenimiento a ejecutar.
- **Tipo de tarea:** Se clasifica en TBT (Tarea Basada en Tiempo), TMC (Tarea de Monitoreo de Condición) o TCC (Tarea a Condición).
- **Lista de acciones:** Es una descripción más detallada cuando la actividad lo requiere.
- **Duración:** Es la cantidad en horas de la ejecución de la actividad.
- **Cantidad:** Número de personas requeridas para la actividad.
- **Trabajo:** Es la cantidad de horas hombre por tarea y se obtiene del producto entre duración y cantidad.
- **A realizar por:** Indica que frente de mantenimiento realizará la tarea: Eléctrico (ELE), Mecánico (MEC), Monitoreo de condición (CBM) o Instrumentos (INS).

Nota: En el caso de las tareas a realizar por el **operador** o por **operaciones** se debe aclarar que, a pesar de ser acciones que se tratan en el AMEF no son ejecutadas por mantenimiento, estas se envían hacia el departamento encargado de la operación y son ellos quienes las implementan mediante sus procedimientos. Es por esta razón que no se tienen en cuenta ni para la creación de hojas de ruta ni de planes de mantenimiento.

Figura 43. Componente bomba de inyección

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombre)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
8 HORAS	Comp-Bomba	Inspección operacional unidad	TBT	Durante la operación de la unidad: -Verificar las líneas y apertura de las válvulas de succión y descarga de la bomba -Verificar la integridad estructural de la unidad de bombeo -Escuchar el sonido producido, sus niveles y variaciones. -Sentir la vibración y su nivel de intensidad. -Verificar la temperatura de la unidad -Inspeccionar la unidad, sus conexiones, uniones y los sellos en búsqueda de fugas. -Verificar que el nivel de aceite se encuentre entre los límites en el sistema de lubricación y el motor. -Verificar la instrumentación y los indicadores -Verificar las variables operativas (Presión, Temperatura, Vibraciones).	0.5	1	0.5	OPERADOR
1 SEMANA	Comp-Bomba	Rotación bomba en Stand-by	TBT	Realizar una rotación semanal de la unidad de bombeo si se encuentra en stand-by	0.3	1	0.3	OPERADOR
35 DIAS	Comp-Bomba	Análisis de Condición	TMC	Realizar un monitoreo y análisis de vibraciones, temperatura y condiciones operativas de la unidad de bombeo	0.8	2	1.6	CBM
35 DIAS	Comp-Bomba	Análisis de Aceite	TMC	Realizar un muestreo y análisis físico-químico del aceite de lubricación.	0.5	2	1	CBM
3 MESES	Comp-Bomba	Verificación de desempeño de la unidad	TBT	Realizar verificación de desempeño de la bomba a través de comparación con un modelo referencia (fabricante). Toma de datos operacionales y de producción para alimentar los registros históricos de operación (Presión de succión y descarga, temperatura, flujo)	2	2	4	OPERACIONES
TCC	Comp-Bomba	Análisis rotodinámico	TCC	Realizar un análisis rotodinámico de la unidad de bombeo	1.5	2	3	CBM
TCC	Comp-Bomba	Cambio de aceite	TCC	Cambiar el aceite de lubricación. Usar aceite MOBIL DTE-24 o equivalente (ISO 32)	1	2	2	MEC
TCC	Comp-Bomba	Ajustar la Alineación	TCC	Verificar la alineación de la transmisión y ajustarla en base al monitoreo y análisis de vibraciones.	4	2	8	MEC

Figura 44. Lazo de control de presión - Válvula PCV

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
8 HORAS	Lz Control Presión> Válvula PCV	Verificación Posicionamiento	TBT	Realizar una verificación del posicionamiento de la válvula cuando se lleve a cabo la ronda del operador	0.5	1	0.5	OPERADOR
1 AÑO	Lz Control Presión> Válvula PCV	Inspección Válvula Presión	TBT	Realizar una inspección, limpieza y prubeas a la válvula	5	2	10	MEC
TCC	Lz Control Presión> Válvula PCV	Limpieza de la válvula	TCC	Realizar una limpieza de la válvula basada en su condición	7	2	14	MEC

Figura 45. Componente motor

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
35 DIAS	Comp-Motor	Monitoreo de análisis y vibraciones	TMC	Realizar un monitoreo y análisis de vibraciones. Reemplazar rodamientos basado en el diagnóstico del análisis	0.8	2	1.6	CBM
3 MESES	Comp-Motor	Toma de datos operacionales	TBT	Toma y análisis de datos operacionales del motor (Corriente, vibraciones, temperaturas). Revisión del histórico para retroalimentar el plan de mantenimiento.	2	2	4	ELE
6 MESES	Comp-Motor	Limpieza filtros aire	TBT	Realiza una limpieza de los filtros de aire	2	2	4	ELE
6 MESES	Comp-Motor	Cambio de aceite	TBT	Cambiar el aceite de lubricación	2	2	4	MEC
6 MESES	Comp-Motor	Prueba de aislamientos motor	TMC	Realizar una prueba de aislamientos al motor	2	2	4	CBM
6 MESES	Comp-Motor	Termografía	TMC	Realizar un monitoreo y análisis termográfico.	0.5	2	1	CBM
1 AÑO	Comp-Motor	Pruebas estáticas y dinámicas motor	TMC	Realizar un análisis de corrientes para motores examinando: Calidad de potencia, Circuito de potencia, Aislamiento, Estator, Rotor, Entrehierro y Realizar pruebas estáticas y dinámicas (Todo con MC-EMAX)	5	2	10	CBM
1 AÑO	Comp-Motor	Limpieza de la unidad	TBT	Limpiar tableros, contactos y demas elementos. Ajustar conexiones. Verificar funcionamiento de tableros, arrancador y protecciones del motor.	6	2	12	ELE
1 AÑO	Comp-Motor	Inspección visual malla a tierra	TBT	Inspección visual de la malla en búsqueda de corrosión o fallos en las conexiones.	0.25	2	0.5	ELE

Figura 46. Sistema de lubricación - Filtros

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
TCC	Sist Lubricación> Filtros	Reemplazar Filtros	TCC	Reemplazar los filtros del sistema de lubricación a condición	0.5	2	1	MEC

Figura 47. Arrancador

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
1 AÑO	Arrancador	Limpieza del arrancador	TBT	Limpiar los componentes eliminando polvo, humedad o	1	2	2	ELE
TCC	Arrancador	Reemplazar componentes	TCC	Basado en las inspecciones reemplazar los componentes del	2	2	4	ELE

Figura 48. Sistema de lubricación - Bomba de inyección

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
TCC	Sist Lubricación> Bomba	Reemplazar sellos y elastómeros	TCC	Basado en las inspecciones realizar el cambio de los sellos y elastómeros a condición.	2	2	4	MEC

Figura 49. Componente monitoreo por vibración

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
1 MES	Comp-Monitoreo Vibración	Verificación del aire	TBT	Realizar una verificación de la calidad del aire en el gabinete	1	2	2	INS
1 AÑO	Comp-Monitoreo Vibración	Inspección de instrumentos	TBT	Inspeccionar y limpiar los sensores. Verificar su funcionalidad y realizar su calibración. Realizar una prueba funcional del sistema.	2	2	4	INS
2 AÑOS	Comp-Monitoreo Vibración	Verificación de sensibilidad	TBT	Realizar una verificación de sensibilidad de los sensores	32	2	64	INS

Figura 50. Sistema de lubricación - Motores

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
1 SEMANA	Sist Lubricación> Motores	Inspección y limpieza	TBT	Realizar una inspección visual y limpieza del sistema de lubricación. Verificar que la temperatura, el ruido y las vibraciones sean normales.	0.3	1	0.3	ELE
6 MESES	Sist Lubricación> Motores	Medición de Aislamiento	TBT	Realizar una medición de aislamiento a los motores	2	2	4	ELE
TCC	Sist Lubricación> Motores	Cambio de rodamientos motor	TCC	Reemplazar los rodamientos a condición	-	-	-	ELE

Figura 51. Control I&M - Transmisores

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
1 AÑO	Control&M> Transmisores	Inspección de instrumentos	TBT	Inspección y limpieza los transmisores e indicadores. Verificación funcional. Calibración. Prueba funcional	3	2	6	INS
TCC	Control&M> Transmisores	Reemplazar instrumentos	TCC	Reemplazar los transmisores y/o los indicadores dependiendo de su condición.	2	2	4	INS

Figura 52. Lazo de control de presión - Transmisores

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
1 AÑO	Lz Control Presión> Transmisores	Inspección del transmisor	TBT	Inspección y limpieza del presostato (Medidor y Switch). Verificación funcional. Calibración. Prueba funcional	2	2	4	INS
TCC	Lz Control Presión> Transmisores	Reemplazar presostato	TCC	Reemplazar el medidor de presión y/o el switch dependiendo de su condición.	1.5	2	3	INS

Figura 53. Sistema de lubricación – Válvula de seguridad

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
1 AÑO	Sist Lubricación> Válv Seg	Mantenimiento válvula seguridad	TBT	Realizar una inspección, limpieza y pruebas de la válvula	8	2	16	INS
TCC	Sist Lubricación> Válv Seg	Reemplazo de la válvula de seguridad	TCC	Realizar el cambio de la válvula de seguridad a condición en base a las inspecciones periódicas.	4	2	8	INS

Figura 54. Válvula MOV de descarga

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
TCC	Válvula MOV de descarga	Análisis de condición válvula MOV	TCC	Realizar un análisis de condición de la válvula en base a los datos almacenados en ella (Registro de aperturas, Torque, Corriente, Temperatura) dependiendo de la condición de la válvula	4	2	8	INS

Figura 55. Sistema de lubricación – Control I&M

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
1 AÑO	Sist Lubricación> Control&M	Inspección de instrumentos	TBT	Inspección y limpieza los transmisores e indicadores. Verificación funcional. Calibración. Prueba funcional	2	2	4	INS
TCC	Sist Lubricación> Control&M	Reemplazar instrumentos	TCC	Reemplazar los transmisores y/o los indicadores dependiendo de su condición.	4	2	8	INS

Figura 56. Válvula de seguridad de descarga

FRECUENCIA	EQUIPO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	TIPO TAREA	LISTA DE ACCIONES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD (Hombres)	TRABAJO (HH)	A REALIZAR POR
1 AÑO	Válvula seguridad descarga	Inspección de la válvula	TBT	Realizar una inspección, limpieza y pruebas a la válvula	8	2	16	MEC
TCC	Válvula seguridad descarga	Mantenimiento válvula seguridad	TCC	Realizar mantenimiento de la válvula de seguridad basado en su condición	7	2	14	INS

A partir de las figuras anteriores se alimentan los formatos establecidos por Ecopetrol S.A. para el cargue de planes de mantenimientos y hojas de ruta al sistema de información SAP ERP realizando las adaptaciones correspondientes bajo la supervisión del profesional encargado de la administración del software SAP teniendo en cuenta sus recomendaciones procedimentales. Con los formatos

mencionados debidamente diligenciados se cuenta con todo el material necesario para implementar en el sistema el plan de mantenimiento.

5.5.2. Análisis económico Actualmente se tiene un promedio de producción de 13.000 barriles de crudo por día (BOPD), para los cuales es necesaria la inyección de 33.000 barriles de agua por día (BWPD). La PIA consta de 9 unidades de bombeo, cada una con una capacidad máxima de 20.000 BWPD, lo que significa que el sistema requiere solo dos unidades de bombeo funcionando para cubrir la necesidad y las 7 restantes se comportan como unidades de respaldo.

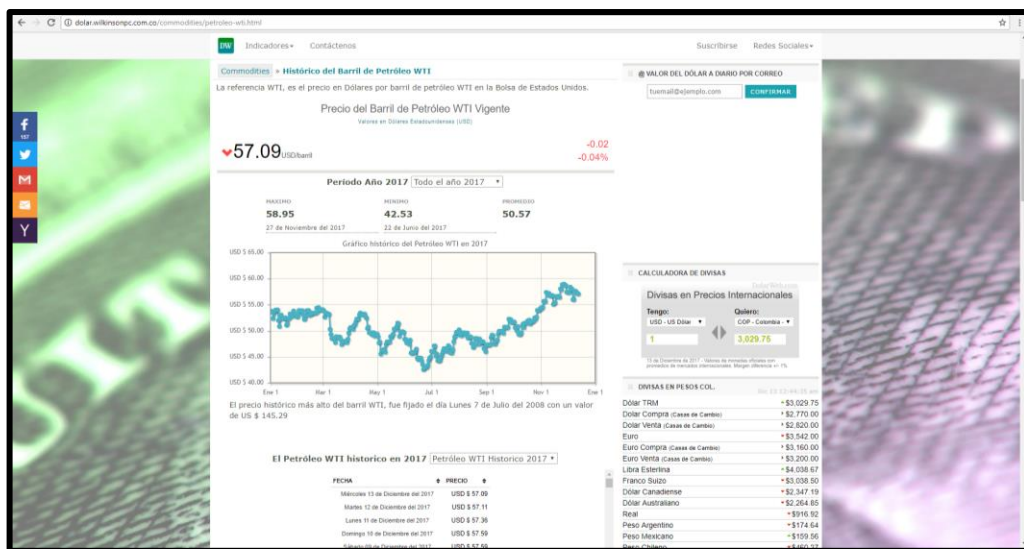
Como se menciona anteriormente estas 9 unidades de bombeo son de dos tipos diferentes, 5 unidades de bombeo horizontales que están instaladas y operando actualmente y 4 unidades de bombeo de tipo carcasa partida que están próximas a entrar en operación y son el motivo de este trabajo. Como aún no se conoce la realidad del comportamiento operacional de estas últimas 4 unidades dentro del sistema completo se asume para el análisis económico el peor caso observado hasta el momento en la planta de inyección, el cual se presenta estando en operación normal (2 de 5 unidades de bombeo están activas) y una de las unidades se detiene súbitamente, el cabezal de presión en la succión de la otra unidad se eleva a tal punto que las protecciones por alta presión detienen el sistema, esto significa que se detiene la inyección de agua. Para comenzar de nuevo con la inyección se requiere de aproximadamente 1 hora mientras el sistema se estabiliza, por lo que se concluye que cuando una de las unidades de bombeo que están operativas se detiene súbitamente se pierde 1 hora de producción de crudo, lo que equivale aproximadamente a 80'000.000 COP.

Para el cálculo del valor que se pierde cuando se deja de producir 1 hora de crudo, primero se calcula la producción de barriles de crudo por hora dividiendo el valor dado de barriles producidos por día entre las 24 horas del día, dando como resultado el siguiente valor de barriles producidos por hora.

$$\frac{13.000 [BOPD]}{24 [H]} = 541,666 \cong 542 \text{ Barriles de Crudo por Hora}$$

Luego con el valor de barril de crudo en dólares para el día 13 de diciembre de 2017 mostrado en la figura 57 se procede a calcular el costo de pérdida en 1 hora que se muestra a continuación.

Figura 57. Valor del barril de crudo en dólares (USD)



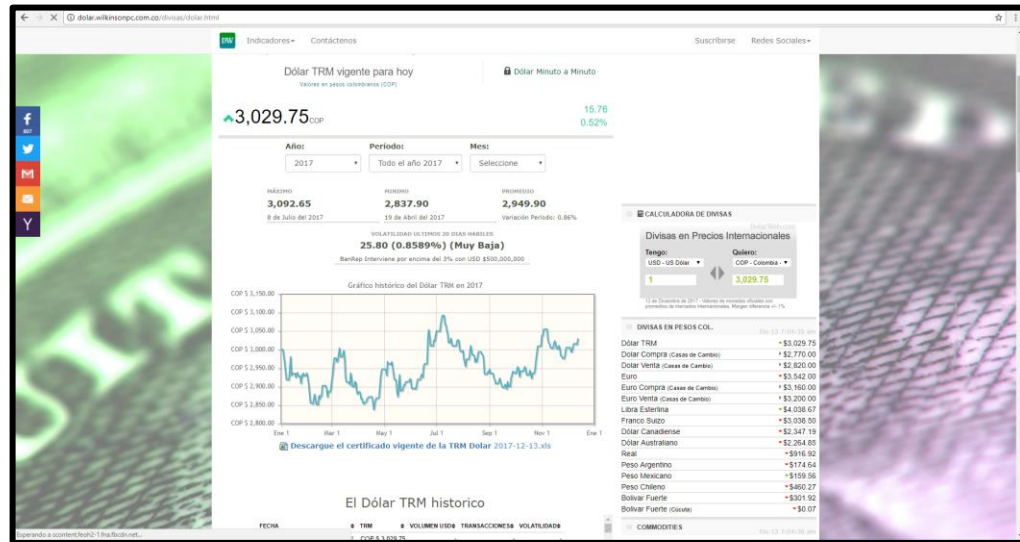
Fuente: DÓLAR WEB. Histórico del Barril de Petróleo WTI. [En línea]. Bogotá D.C., 2017. Recuperado en 13 diciembre 2017. Disponible en: <http://dolar.wilkinsonpc.com.co/commodities/petroleo-wti.html>

$$542 [BOPH] * 57,09 \left[\frac{USD}{Barril} \right] * 1 [H] = 30.942,78 USD \cong 30.943 USD$$

Ahora se realiza la conversión del valor de la moneda, es decir, el valor en dólares calculado anteriormente se recalcula en COP para el día 13 de diciembre de 2017

que se muestra en la figura 58, el valor final obtenido de la pérdida en la producción es mostrado a continuación.

Figura 58. Equivalente de COP en dólares



Fuente: DÓLAR WEB. Histórico del Dólar TRM. [En línea]. Bogotá D.C., 2017. Recuperado en 13 diciembre 2017. Disponible en: <http://dolar.wilkinsonpc.com.co/divisas/dolar.html>

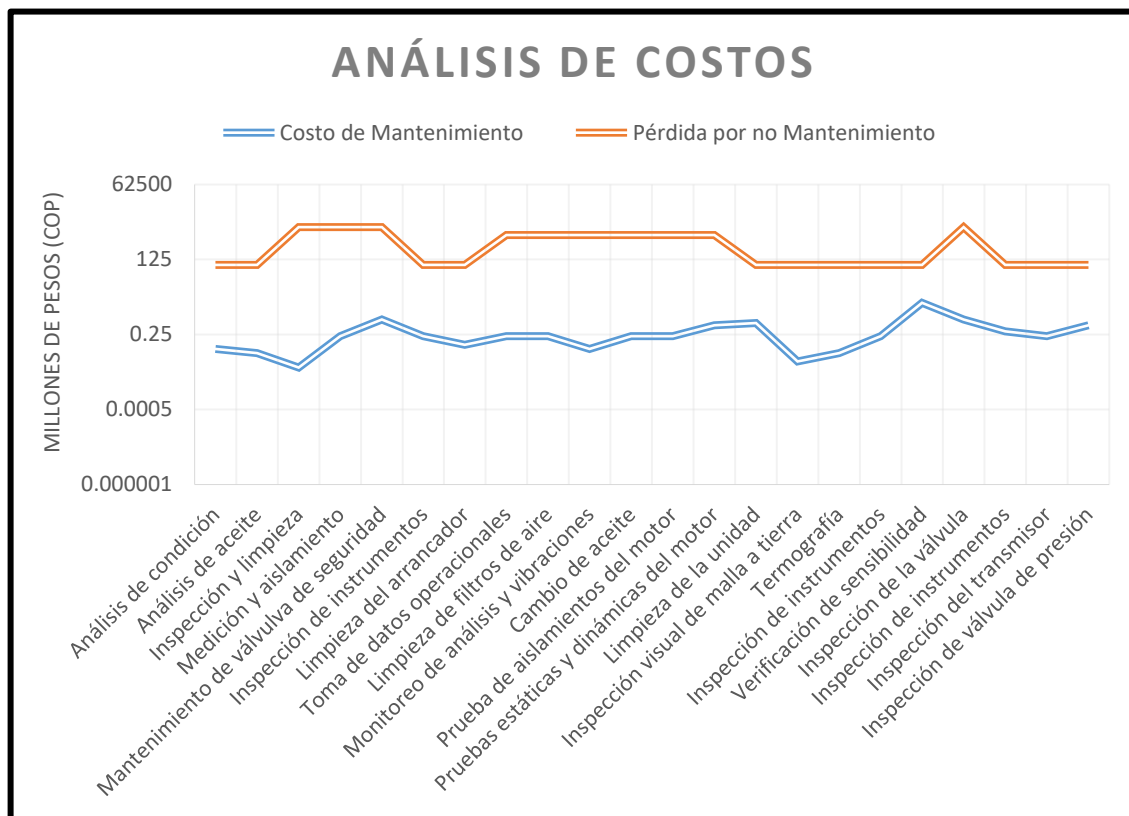
$$30.943 [USD] * 3.029,75 \left[\frac{COP}{USD} \right] = 93'749.554,25 COP \cong 93'750.000 COP$$

Además, si la Unidad de Bombeo es afectada en su integridad debido a un daño catastrófico se incurre en un costo de USD 600.000 (COP 1.817'850.000) el cual es el costo aproximado de la bomba para el 13 de diciembre de 2017.

Para Ecopetrol S.A. es importante que cada equipo clasificado como crítico cuente con su respectivo plan de mantenimiento, no sólo para asegurar la disponibilidad del equipo en la producción, sino también porque a largo plazo se obtiene un

beneficio económico notable. La figura 59 muestra un análisis de costos de mantenimiento para la unidad de inyección Flowserve P-665 en sus referencias F, G, H e I donde se grafican los costos en millones contra los diferentes tipos de tareas establecidos para la unidad de inyección.

Figura 59. Análisis de costos



Como se observa en la gráfica, se justifica la implementación del plan de mantenimiento debido a que la diferencia en costos (Costos de mantenimiento y pérdida por no mantenimiento) para cada una de las tareas es muy grande, dándole la ventaja a la implementación de un plan de mantenimiento reduciendo el riesgo de tener pérdidas de producción y conservando la integridad de los equipos.

Otro factor de alta importancia que se debe conocer al momento de querer implementar un plan de mantenimiento es la inversión requerida para el mismo. Este

valor se calcula sumando los tiempos anualizados que requieren cada una de las tareas definidas en el plan de mantenimiento, los cuales se muestran en el Anexo P, obteniéndose que se requiere un total de 1134,8 horas hombre (HH) al año para el conjunto de las 4 unidades de bombeo y considerando que una persona al año tiene una jornada laboral anual de aproximadamente es de 2496 horas se puede determinar el número de técnicos que se requieren individualmente por cada uno de los frentes ya que no se podría utilizar una misma persona entre ellos debido a que pertenecen a diferentes áreas de conocimiento, esta información se detalla un poco más en la tabla 3.

Tabla 3. Horas hombre (HH) anuales estimadas para el plan de mantenimiento

FRENTE	HORAS HOMBRE AL AÑO (HH)	TECNICOS DE MANTENIMIENTO
Instrumentos	588,8	0,24→1
Mecánico	72	0,03→1
Eléctrico	474	0,19→1
Total	1134,8	3

La ventaja principal de las inspecciones es que son de bajo costo debido a que no es necesario detener la operación normal del equipo y también porque no es necesario tener repuestos a la mano. Sólo es necesario costear las horas hombre destinadas a la inspección de los componentes seleccionados en cada equipo. Como se observa en la tabla las horas hombre (HH) se cuantifican separando las actividades a realizar por el personal técnico mecánico, por el personal técnico eléctrico y/o por el personal de instrumentación.

Las frecuencias de las actividades se ajustan con el historial de inspección en los equipos y teniendo en cuenta factores como:

- Equipos que cumplen una misma función.
- Área de trabajo en la que se ubican.
- Operan el mismo tiempo diariamente.
- Tienen programaciones de mantenimiento similares.
- Se intervienen simultáneamente.

6. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL SOFTWARE DE GESTIÓN DE ACTIVOS SAP ERP

6.1. VERIFICACIÓN DE LA EXISTENCIA EN SAP DE LAS APL REQUERIDAS EN EL PLAN DE MANTENIMIENTO

Al tener un plan de mantenimiento basado en condición, sus acciones no requieren ningún tipo de repuesto para ser realizadas ya que las actividades realizadas son únicamente de inspección. Por esta razón no se requiere asociar ningún repuesto a las hojas de ruta del plan de mantenimiento al crearse en SAP ERP.

6.2. CREACIÓN DE LAS HOJAS DE RUTA EN SAP ERP

La creación de las hojas de ruta en el sistema se hace mediante dos procedimientos dependiendo de la existencia o no de hojas de ruta similares en SAP ERP:

- **Creación de hoja de ruta:** Este procedimiento se lleva a cabo para hojas de ruta que requieren ser creadas desde cero. Las hojas de ruta relacionadas en la tabla 4 fueron creadas de esta manera.
- **Creación desde hoja de ruta existente:** Este procedimiento se lleva a cabo cuando se desea crear una hoja de ruta similar a una que se encuentre ya en el sistema. Es básicamente la creación de una hoja de ruta a partir de la copia y modificación de otra que ya está establecida. Mediante este proceso fueron creadas las hojas de ruta mostradas en la tabla 5.

Tabla 4. Creación de hoja de ruta

HOJA DE RUTA	DENOMINACIÓN
CGO_EMIM 1	Mantenimiento preventivo del motor
CGO_ESMT 1	Mantenimiento del arrancador
CGO_CLVM 1	Mantenimiento preventivo Bentley Nevada

Tabla 5. Creación desde hoja de ruta existente

HOJA DE RUTA	DENOMINACIÓN
CGO_CBME 11	Medición de aislamiento del motor
CGO_PUCE 26	Análisis de condición de la unidad de bombeo
CGO_CBME 5	Termografía en el motor
CGO_CBME 15	Pruebas estáticas y dinámicas en el motor
CGO_VASC 6	Mantenimiento de la válvula de seguridad
CGO_VASC 12	Mantenimiento de la válvula de seguridad del sistema de inyección
CGO_CLCM 3	Mantenimiento del sistema de control y monitoreo
CGO_IPPR 4	Mantenimiento del lazo de control de presión
CGO_OPRP 6	Mantenimiento de la válvula de control de presión

6.3. CREACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN SAP ERP

Debido a la naturaleza de las diferentes tareas a crear, cada una de las unidades de bombeo deben contar con dos planes de mantenimiento, uno realizado por CBM que incluye los monitoreos de condición realizados por externos a Ecopetrol S.A. mediante un contrato y otro realizado directamente por la empresa el cual consta de las inspecciones y demás acciones de mantenimiento.

Para crear estos planes de mantenimiento en el sistema se asocia cada una de las hojas de ruta a su respectivo plan por medio de una posición de mantenimiento, que no es más que una acción de mantenimiento individual del plan. En la tabla 6 se pueden observar los dos planes de mantenimiento creados junto con sus posiciones. Al final estos datos se diligencian en una plantilla especial que permite la creación de los planes para cada equipo y se sube al sistema.

Tabla 6. Creación del plan de mantenimiento en SAP ERP

PLAN DE MANTENIMIENTO	POSICIÓN DE MANTENIMIENTO	EQUIPO
CBM BOMBAS CARCASA PARTIDA	Med Aislamiento Motor A Sist Lubricación	Comp-Motor Lubricación A
	Med Aislamiento Motor B Sist Lubricación	Comp-Motor Lubricación B
	Análisis de condición Und Bombeo	Comp-Bomba Inyección
	Termografía Motor	Comp-Motor eléctrico inyección
MANTENIMIENTO BOMBAS CARCASA PARTIDA	Pruebas estáticas y dinámicas Motor	Comp-Motor eléctrico inyección
	Mtto Válvula Seguridad Sist Lubricación	Control y Monitoreo
	Mtto preventivo Motor	Comp-Motor eléctrico inyección
	Mtto Arrancador	Arrancador Motortronex
	Mtto Pvo Bentley Nevada	Comp-Monitoreo vibración
	Mtto Válvula Seguridad	Válvula seguridad descarga
	Mtto Control & Monitoreo	Control y Monitoreo
	Mtto Transmisor Lazo Control Presión	Transmisor indicador de presión recirculación
Mtto Válvula Lazo Control Presión	Válvula presión línea recirculación (PCV)	

En el sistema SAP ERP se crean dos tipos de planes de mantenimiento, el mantenimiento basado en condición (CBM) que son las labores de inspección que se llevan a cabo con el equipo en funcionamiento y el mantenimiento preventivo que se lleva a cabo cuando algunos de los equipos están fuera de operación porque se requiere su intervención, por esta razón cada plan tiene sus posiciones individuales, es decir, las acciones generales a grandes rasgos que se deben hacer en el equipo.

Finalmente se verifican en SAP ERP los planes de mantenimiento respectivos para las 4 unidades de bombeo objeto de este trabajo de grado y desde la figura 60 hasta la 66 se muestran los pantallazos constatando lo mencionado anteriormente.

Figura 60. Planes de mantenimiento en SAP para las unidades de bombeo

Visualizar posición del plan-manten.: Lista de posiciones de manteni

Posición mantenimiento Planes de mantenimiento preventivo Cálculo de costes

PLMantPr	Pos.PM	Descripción posición de mantenimiento	Ubicación técnica	Denom.ubic.técnica	Equipo	Denominación de objeto técnico	Geo.hojas ruta	CentGpOrd	Est.	T. Emplaz.	PtoTráRes	AMA	C	P	CapI	PstoTl
1080750	111515	Medi Adalmento Motor A Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107197	Comp-Motor Lubricacion A	CGO_CBME	11	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080750	111516	Medi Adalmento Motor B Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107199	Comp-Motor Lubricacion B	CGO_CBME	11	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080750	111517	Análisis de condición Und Bombeo	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107098	Comp-Bomba Inyección	CGO_PUCE	26	E01	A	E0780	DMECC	P06	X	5012	
1080750	111518	Termografía Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107099	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_CBME	5	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080751	111519	Pruebas estáticas y dinámicas Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107099	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_CBME	15	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080751	111520	Mto Válvula Seguridad Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107098	Comp-Bomba Inyección	CGO_VASC	6	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080751	111781	Mto preventivo Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107099	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_EMM	2	E02	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080751	111782	Mto Arrancador	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107100	Arrancador Motortroneo	CGO_ESMT	1	E02	A	E0780	DPESECC	P04	X	5012	
1080751	111783	Mto Pvo Bentley Nevada	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107101	Comp-Montoreo vibracion	CGO_CLVM	1	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080751	111784	Mto Válvula Seguridad	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107103	Válvula Seguridad descarga	CGO_VASC	12	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080751	111785	Mto Control & Montoreo	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107104	Control y Montoreo	CGO_CLCH	3	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080751	111786	Mto Transmisor Lazo Control Presion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107207	Transmisor Presión Recirculación a TKG	CGO_PPFR	4	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080751	111787	Mto Válvula Lazo Control Presion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107208	Válvula presión línea recirculación	CGO_ORPP	6	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080752	111788	Medi Adalmento Motor A Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107209	Comp-Motor Lubricacion A	CGO_CBME	11	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080752	111789	Medi Adalmento Motor B Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107211	Comp-Motor Lubricacion B	CGO_CBME	11	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080752	111790	Análisis de condición Und Bombeo	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107106	Comp-Bomba Inyección	CGO_PUCE	26	E01	A	E0780	DMECC	P06	X	5012	
1080752	111791	Termografía Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107107	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_CBME	5	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080752	111792	Pruebas estáticas y dinámicas Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107107	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_CBME	15	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080753	111793	Mto Válvula Seguridad Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107106	Comp-Bomba Inyección	CGO_VASC	6	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080753	111794	Mto preventivo Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107107	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_EMM	2	E02	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080753	111795	Limpieza del arrancador	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107108	Arrancador Motortroneo	CGO_ESMT	1	E02	A	E0780	DPESECC	P04	X	5012	
1080753	111796	Mto Pvo Bentley Nevada	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107109	Comp-Montoreo vibracion	CGO_CLVM	1	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080753	111797	Mto Anual Válvula Seguridad	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107111	Válvula Seguridad descarga	CGO_VASC	12	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080753	111798	Inspeccion de instrumentos	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107112	Control y Montoreo	CGO_CLCH	3	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080753	111799	Inspeccion Transmisor presion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107210	Transmisor Presión Recirculación a TKG	CGO_PPFR	4	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080753	111800	Inspeccion Válvula presion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107200	Válvula presión línea recirculación	CGO_ORPP	6	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080754	111801	Medi Adalmento Motor A Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107221	Comp-Motor Lubricacion A	CGO_CBME	11	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080754	111802	Medi Adalmento Motor B Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107223	Comp-Motor Lubricacion B	CGO_CBME	11	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080754	111803	Análisis de condición Und Bombeo	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107114	Comp-Bomba Inyección	CGO_PUCE	26	E01	A	E0780	DMECC	P06	X	5012	
1080754	111804	Termografía Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107115	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_CBME	5	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080754	111805	Pruebas estáticas y dinámicas Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107115	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_CBME	15	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080755	111806	Mto Válvula Seguridad Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107114	Comp-Bomba Inyección	CGO_VASC	6	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080755	111807	Mto preventivo Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107115	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_EMM	2	E02	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080755	111808	Limpieza del arrancador	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107116	Arrancador Motortroneo	CGO_ESMT	1	E02	A	E0780	DPESECC	P04	X	5012	
1080755	111809	Mto Pvo Bentley Nevada	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107117	Comp-Montoreo vibracion	CGO_CLVM	1	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080755	111810	Mto Anual Válvula Seguridad	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107119	Válvula Seguridad descarga	CGO_VASC	12	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080755	111811	Inspeccion de instrumentos	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107120	Control y Montoreo	CGO_CLCH	3	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080755	111812	Inspeccion Transmisor presion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107231	Transmisor Presión Recirculación a TKG	CGO_PPFR	4	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080755	111813	Inspeccion Válvula presion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107232	Válvula presión línea recirculación	CGO_ORPP	6	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	

1080756	111815	Medi Adalmento Motor B Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107235	Comp-Motor Lubricacion B	CGO_CBME	11	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080756	111816	Análisis de condición Und Bombeo	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107122	Comp-Bomba Inyección	CGO_PUCE	26	E01	A	E0780	DMECC	P06	X	5012	
1080756	111817	Termografía Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107123	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_CBME	5	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080756	111818	Pruebas estáticas y dinámicas Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107123	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_CBME	15	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080756	111819	Medi Adalmento Motor A Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107233	Comp-Motor Lubricacion A	CGO_CBME	11	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080757	111820	Mto Válvula Seguridad Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2J	Und De Bombeo Inyeccion P665J	11107122	Comp-Bomba Inyección	CGO_VASC	6	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080757	111821	Mto preventivo Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2J	Und De Bombeo Inyeccion P665J	11107123	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_EMM	2	E02	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080757	111822	Limpieza del arrancador	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2J	Und De Bombeo Inyeccion P665J	11107124	Arrancador Motortroneo	CGO_ESMT	1	E02	A	E0780	DPESECC	P04	X	5012	
1080757	111823	Mto Pvo Bentley Nevada	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2J	Und De Bombeo Inyeccion P665J	11107125	Comp-Montoreo vibracion	CGO_CLVM	1	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080757	111824	Mto Anual Válvula Seguridad	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2J	Und De Bombeo Inyeccion P665J	11107127	Válvula Seguridad	CGO_VASC	12	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080757	111825	Inspeccion de instrumentos	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2J	Und De Bombeo Inyeccion P665J	11107128	Control y Montoreo	CGO_CLCH	3	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080757	111826	Inspeccion Transmisor presion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2J	Und De Bombeo Inyeccion P665J	11107243	Transmisor Presión Recirculación a TKG	CGO_PPFR	4	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080757	111827	Inspeccion Válvula presion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2J	Und De Bombeo Inyeccion P665J	11107244	Válvula presión línea recirculación	CGO_ORPP	6	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	

Figura 61. Mantenimiento para unidad de bombeo P-665 F

Visualizar posición del plan-manten.: Lista de posiciones de manteni

Posición mantenimiento Planes de mantenimiento preventivo Cálculo de costes

PLMantPr	Pos.PM	Descripción posición de mantenimiento	Ubicación técnica	Denom.ubic.técnica	Equipo	Denominación de objeto técnico	Geo.hojas ruta	CentGpOrd	Est.	T. Emplaz.	PtoTráRes	AMA	C	P	CapI	PstoTl
1080750	111515	Medi Adalmento Motor A Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107197	Comp-Motor Lubricacion A	CGO_CBME	11	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080750	111516	Medi Adalmento Motor B Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107199	Comp-Motor Lubricacion B	CGO_CBME	11	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080750	111517	Análisis de condición Und Bombeo	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107098	Comp-Bomba Inyección	CGO_PUCE	26	E01	A	E0780	DMECC	P06	X	5012	
1080750	111518	Termografía Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107099	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_CBME	5	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080751	111519	Pruebas estáticas y dinámicas Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107099	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_CBME	15	E01	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080751	111520	Mto Válvula Seguridad Set Lubricacion	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107098	Comp-Bomba Inyección	CGO_VASC	6	E02	A	E0780	DINSECCO	P04	X	5012	
1080751	111781	Mto preventivo Motor	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107099	Comp-Motor Eléctrico Inyección	CGO_EMM	2	E02	A	E0780	DPESECC	P06	X	5012	
1080751	111782	Mto Arrancador	YAR-PBYV-BYVE-AGU-GYARP1B2F	Und De Bombeo Inyeccion P665F	11107100	Arrancador Motortroneo	CGO_ESMT	1	E02	A	E0780	DPESECC	P04	X	5012	
1080751	111783	Mto Pvo Bentley Nevada	YAR-PBYV-BYVE-AG													

Figura 62. Mantenimiento para unidad de bombeo P-665 G

Visualizar posición del plan-manten.: Lista de posiciones de manteni

Pos.M	Pos.PM	Descripción posición de mantenimiento	Ubicación técnica	Denom.ubic.técnica	Equipo	Denominación de objeto técnico	Gpo.hojas ruta	ContGpoR	Estr.	T. Emplaz.	Pto.TarRes	AMA	C. P	CapI	Pto.TarJo
1080752	111788	Med Aslamiento Motor A Set Lubricacion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107209	Comp-Motor Lubricacion A	CGO_CBME	11	E01	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
	111790	Med Aslamiento Motor B Set Lubricacion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107211	Comp-Motor Lubricacion B	CGO_CBME	11	E01	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
	111790	Analisis de condicon Und Bombeo	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107106	Comp-Bomba Inyeccion	CGO_PUCE	26	E01	A E0780	DMECEC	P06	X		5012
	111791	Termografia Motor	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107107	Comp-Motor Elctrico Inyeccion	CGO_CBME	5	E01	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
	111792	Pruebas estaticas y dinamicas Motor	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107107	Comp-Motor Elctrico Inyeccion	CGO_CBME	15	E01	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
1080753	111793	Mto Válvula Seguridad Set Lubricacion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107106	Comp-Bomba Inyeccion	CGO_VASC	6	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111794	Mto preventivo Motor	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107107	Comp-Motor Elctrico Inyeccion	CGO_EBMT	2	E02	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
	111790	Limpieza del arrancador	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107108	Arrancador Motortronic	CGO_ESMT	1	E02	A E0780	DPESECG	P04	X		5012
	111796	Mto Pvo Bently Nevada	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107109	Comp- Montores vibracion	CGO_CLVM	1	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111797	Mto Anual Válvula Seguridad	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107111	Válvula Seguridad descarga	CGO_VASC	12	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111798	Inspeccion de instrumentos	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107112	Control y Monitoreo	CGO_CLOM	3	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111799	Inspeccion Transmisor presion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107219	Transmisor Presion Recirculacion a Tks	CGO_PPFR	4	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111800	Inspeccion Valvula presion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2G	Und De Bombeo Inyeccion P665G	11107220	Válvula presion linea recirculacion	CGO_ORPR	6	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012

Figura 63. Mantenimiento para unidad de bombeo P-665 H

Visualizar posición del plan-manten.: Lista de posiciones de manteni

Pos.M	Pos.PM	Descripción posición de mantenimiento	Ubicación técnica	Denom.ubic.técnica	Equipo	Denominación de objeto técnico	Gpo.hojas ruta	ContGpoR	Estr.	T. Emplaz.	Pto.TarRes	AMA	C. P	CapI	Pto.TarJo
1080754	111801	Med Aslamiento Motor A Set Lubricacion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107221	Comp-Motor Lubricacion A	CGO_CBME	11	E01	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
	111802	Med Aslamiento Motor B Set Lubricacion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107223	Comp-Motor Lubricacion B	CGO_CBME	11	E01	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
	111803	Analisis de condicon Und Bombeo	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107114	Comp-Bomba Inyeccion	CGO_PUCE	26	E01	A E0780	DMECEC	P06	X		5012
	111804	Termografia Motor	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107115	Comp-Motor Elctrico Inyeccion	CGO_CBME	5	E01	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
	111805	Pruebas estaticas y dinamicas Motor	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107115	Comp-Motor Elctrico Inyeccion	CGO_CBME	15	E01	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
1080755	111806	Mto Válvula Seguridad Set Lubricacion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107114	Comp-Bomba Inyeccion	CGO_VASC	6	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111807	Mto preventivo Motor	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107115	Comp-Motor Elctrico Inyeccion	CGO_EBMT	2	E02	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
	111808	Limpieza del arrancador	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107116	Arrancador Motortronic	CGO_ESMT	1	E02	A E0780	DPESECG	P04	X		5012
	111809	Mto Pvo Bently Nevada	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107117	Comp- Montores vibracion	CGO_CLVM	1	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111810	Mto Anual Válvula Seguridad	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107119	Válvula Seguridad descarga	CGO_VASC	12	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111811	Inspeccion de instrumentos	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107120	Control y Monitoreo	CGO_CLOM	3	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111812	Inspeccion Transmisor presion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107231	Transmisor Presion Recirculacion a Tks	CGO_PPFR	4	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111813	Inspeccion Valvula presion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2H	Und De Bombeo Inyeccion P665H	11107232	Válvula presion linea recirculacion	CGO_ORPR	6	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012

Figura 64. Mantenimiento para unidad de bombeo P-665 I

Visualizar posición del plan-manten.: Lista de posiciones de manteni

Pos.M	Pos.PM	Descripción posición de mantenimiento	Ubicación técnica	Denom.ubic.técnica	Equipo	Denominación de objeto técnico	Gpo.hojas ruta	ContGpoR	Estr.	T. Emplaz.	Pto.TarRes	AMA	C. P	CapI	Pto.TarJo
1080756	111815	Med Aslamiento Motor B Set Lubricacion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107235	Comp-Motor Lubricacion B	CGO_CBME	11	E01	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
	111817	Analisis de condicon Und Bombeo	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107122	Comp-Bomba Inyeccion	CGO_PUCE	26	E01	A E0780	DMECEC	P06	X		5012
	111817	Termografia Motor	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107123	Comp-Motor Elctrico Inyeccion	CGO_CBME	5	E01	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
	111818	Pruebas estaticas y dinamicas Motor	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107123	Comp-Motor Elctrico Inyeccion	CGO_CBME	15	E01	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
	111814	Med Aslamiento Motor A Set Lubricacion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107233	Comp-Motor Lubricacion A	CGO_CBME	11	E01	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
1080757	111819	Mto Válvula Seguridad Set Lubricacion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107122	Comp-Bomba Inyeccion	CGO_VASC	6	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111820	Mto preventivo Motor	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107123	Comp-Motor Elctrico Inyeccion	CGO_EBMT	2	E02	A E0780	DPESECG	P06	X		5012
	111821	Limpieza del arrancador	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107124	Arrancador Motortronic	CGO_ESMT	1	E02	A E0780	DPESECG	P04	X		5012
	111822	Mto Pvo Bently Nevada	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107125	Comp- Montores vibracion	CGO_CLVM	1	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111823	Mto Anual Válvula Seguridad	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107127	Válvula Seguridad	CGO_VASC	12	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111824	Inspeccion de instrumentos	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107128	Control y Monitoreo	CGO_CLOM	3	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111825	Inspeccion Transmisor presion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107243	Transmisor Presion Recirculacion a Tks	CGO_PPFR	4	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012
	111826	Inspeccion Valvula presion	YAR-PBIV-BIYE-AGU-GYARP1B2I	Und De Bombeo Inyeccion P665I	11107244	Válvula presion linea recirculacion	CGO_ORPR	6	E02	A E0780	DINSECGO	P04	X		5012

Figura 65. Mantenimiento basado en condición (CBM)

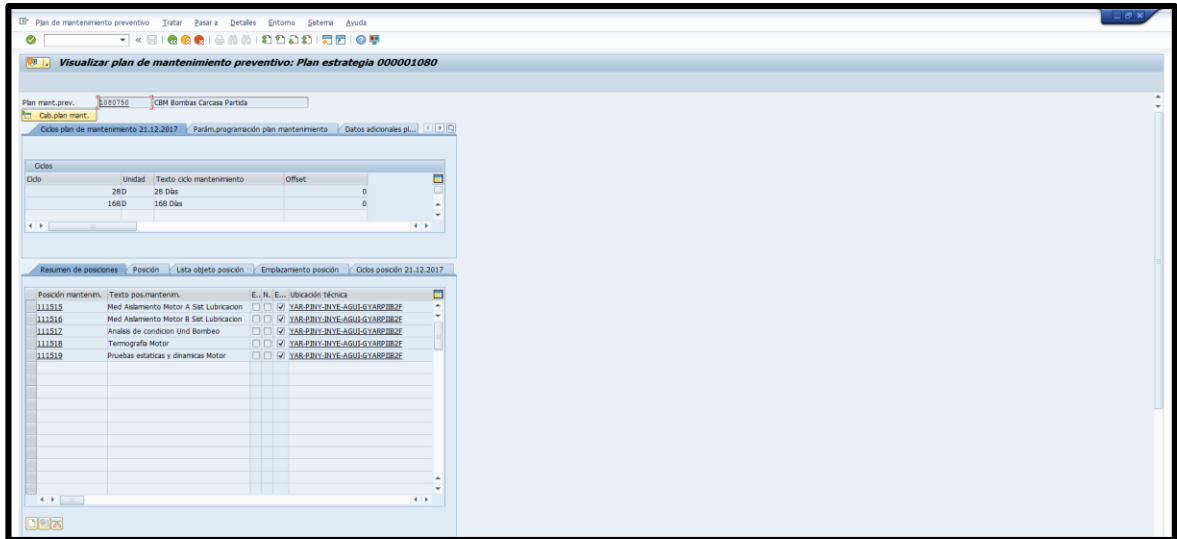
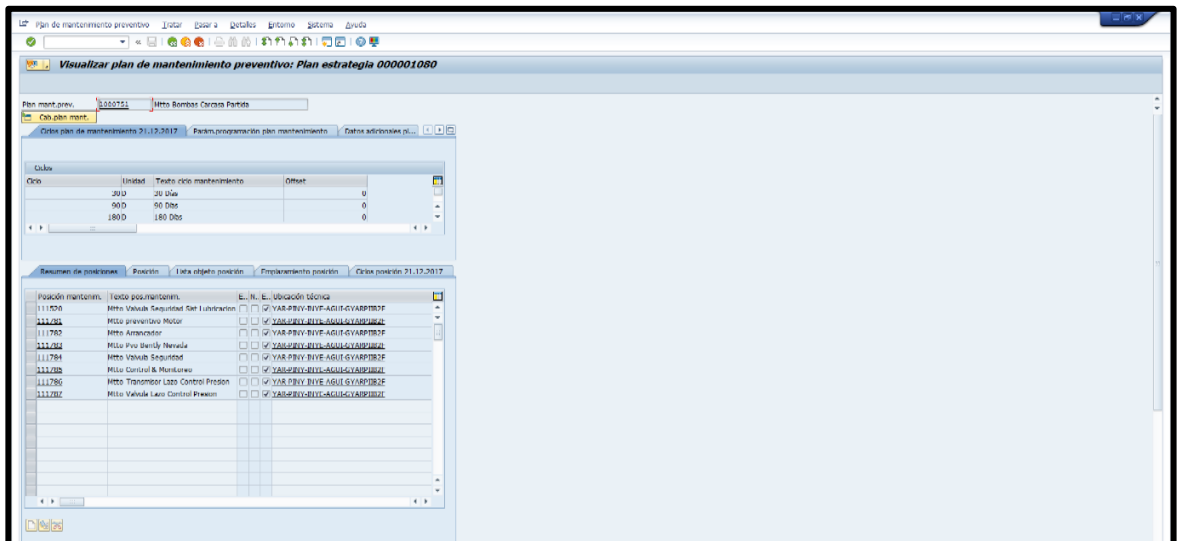


Figura 66. Mantenimiento preventivo



La implementación en SAP de la información desarrollada en este proyecto mediante hojas de ruta y planes de mantenimiento conlleva a un aporte importante en la gestión de mantenimiento debido a las siguientes razones:

- Al ser un sistema modificable permite la normalización de las acciones de mantenimiento en hojas de ruta que son editables, adaptables y replicables a cualquier activo.
- Facilita la búsqueda de información en el sistema y permite que sea replicada o exportada.
- Integra a SAP activos que no contaban con plan de mantenimiento y establece los mismos.
- Permite la realización de un control sobre las acciones históricas de mantenimiento realizadas.
- Simplifica la planificación del mantenimiento al facilitar la programación de las acciones de mantenimiento en grupos de activos semejantes y/o conjuntos de acciones de mantenimiento similares.

7. CONCLUSIONES

- Con el desarrollo de este trabajo de grado se consiguió la implementación en SAP ERP del plan de mantenimiento basado en la metodología RCM de las bombas de inyección de la planta de inyección de agua del campo Yariguí de la gerencia de operaciones de desarrollo y producción del río de Ecopetrol S.A. a partir del diagnóstico del estado de mantenimiento de la planta, generando documentos y tareas de mantenimiento implementados dentro del sistema de información SAP ERP que pueden ser estandarizadas y aplicadas a futuros sistemas bajo análisis RCM.
- El presente trabajo es un aporte importante a la interrelación Industria-Academia ya que permitió el relacionamiento e intercambio de conocimientos entre una de las empresas más grandes de Colombia como lo es Ecopetrol S.A. y una de las mejores universidades públicas del país, como lo es la Universidad Industrial de Santander – UIS logrando de esta manera el fortalecimiento de los lazos ya existentes entre estas dos grandes instituciones y también propiciando la continuidad en la participación activa de estudiantes en prácticas empresariales debido al exitoso resultado que se obtuvo en este proyecto.
- Se realizó una actualización del gestor de información SAP ERP a partir de la creación de 80 componentes objeto de la metodología RCM pertenecientes a 4 unidades de bombeo de carcasa partida, cuya falencia fue detectada mediante un proceso de levantamiento de información en la planta de inyección de agua PIA llevado a cabo por la coordinación de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad IMC.

- A partir de la definición de una plantilla para la realización del análisis AMEF se desarrolló exitosamente un proceso RCM bajo los lineamientos y directrices de Ecopetrol S.A. siendo la base en el establecimiento del plan de mantenimiento para las 4 unidades de bombeo de carcasa partida tratadas en este proyecto.
- Debido a la naturaleza del plan de mantenimiento propuesto para el conjunto de bombas de inyección no es necesario el uso de APL dentro de las tareas definidas en SAP ERP, sin embargo, dichas APL deben ser ingresadas al sistema, pero esta acción sobrepasa los límites de este proyecto debido a que esta tarea fue asignada a otro departamento de Ecopetrol S.A.
- Como producto final del proceso aplicado en este trabajo se tiene un plan de mantenimiento para las unidades de bombeo de carcasa partida que requiere 1135 horas hombre (HH) anuales, lo que se traduce en 3 técnicos de mantenimiento para ser desarrollado y está cargado en el sistema de información SAP ERP disponible para su respectiva programación y activación por parte del planeador de mantenimiento del campo Yariguí.

BIBLIOGRAFÍA

ALFAROA, Marycruz y ARANDA, Gilberto. El análisis causa raíz utilizado como herramienta en la evaluación de eventos no deseados en instalaciones de una refinería. [En línea]. México, 2014. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en:

https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wpcontent/Portal2015/Licenciaturas/iq/tesis/tesis_alfaro_antor.pdf

BETANCOURT, Luis. Elementos de Seguridad de los Procesos. [En línea]. Costa Rica, 2014. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: <https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2014/03/05-Tecnologia-del-Proceso.pdf>

CAMELO, John y RAMIREZ, Eduin. Incremento de la disponibilidad operacional para el sostenimiento de la producción de las plantas del departamento de petroquímica de la Gerencia Refinería Barrancabermeja, Ecopetrol S.A., mediante el diseño de una estrategia de mantenimiento para el equipo rotativo crítico. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de físicomecánicas, 2015.

CARLSON, Carl. Effective FMEAs. Recuperado por John Wiley & Sons. [En línea]. USA, 2012. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: http://www.effectivefmeas.com/uploads/Failure_Mode_and_Effects_Analysis__FMEA_for_publication.pdf

CASTRO, Daison. Plan estratégico para la implantación de la metodología de Análisis de Fallas enfocado en los equipos críticos de los campos de producción de la Superintendencia de Mares Ecopetrol S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2006.

COORDINACIÓN IMC-VRC. Estructura, roles, funciones nuevos procesos e&p Interrelaciones con mantenimiento – producción – proyectos. [diapositivas]. Barrancabermeja. 16 diapositivas.

CORREA, Álvaro y CORREA, Mario. Jornadas de capacitación, diapositivas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. [En línea]. Colombia, 2014. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: http://www.comdes.com.co/ac_webmasters_img/ac_uploads/1395451188.pdf

DEFENSE STANDARDIZATION PROGRAM OFFICE. Parts Management Guide. [En línea]. USA, 2014. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: http://www.dla.mil/Portals/104/Documents/LandAndMaritime/V/VA/PSMC/Documents/LM_SD19FINAL_151030.pdf

DÓLAR WEB. Histórico del Barril de Petróleo WTI. [En línea]. Bogotá D.C., 2017. Recuperado en 13 diciembre 2017. Disponible en: <http://dolar.wilkinsonpc.com.co/commodities/petroleo-wti.html>

DÓLAR WEB. Histórico del Dólar TRM. [En línea]. Bogotá D.C., 2017. Recuperado en 13 diciembre 2017. Disponible en: <http://dolar.wilkinsonpc.com.co/divisas/dolar.html>

DOMENECH, José. Diagrama de Pareto. Recuperado en 08 septiembre 2017. [En línea]. Disponible en: http://www.jomaneliga.es/PDF/Administrativo/Calidad/Diagrama_de_Pareto.pdf

ECOPETROL S.A. Cadena de valor ECP. [En línea]. Bogotá D.C., 2017. Recuperado en 26 octubre 2017. Disponible en: <http://www.emcopetrol.plateau.com/-Ecopetrol>

ECOPETROL S.A. Estructura organizacional, organigrama. [En línea]. Bogotá D.C., 2017. Recuperado en 24 octubre 2017. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/estructura-organizacional/organigrama>

ECOPETROL S.A. Estructura organizacional. [En línea]. Recuperado en 26 octubre 2017. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/estructura-organizacional/organigrama>

ECOPETROL S.A. Estructura organizacional. [En línea]. Recuperado en 26 octubre 2017. Disponible en: <http://iris/contenido/contenido.aspx?catID=278&conID=48123&pagID=178938>

ECOPETROL S.A. Estructura organizacional. [En línea]. Recuperado en 26 octubre 2017. Disponible en: <http://iris/contenido/contenido.aspx?catID=278&conID=48123&pagID=179960>

ECOPETROL S.A. Implementación de estrategias y prácticas de mantenimiento e inspección basadas en riesgo: RCM. [diapositivas]. Barrancabermeja, 2012.

ECOPETROL S.A. Nuestra historia. [En línea]. Bogotá D.C., 2017. Recuperado en 24 octubre 2017. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/nuestra-historia>

ECOPETROL S.A. Nuestros principios y valores. [En línea]. Bogotá D.C., 2017. Recuperado en 24 octubre 2017. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/nuestros-principios-y-valores>

ECOPETROL S.A. Nuestros productos. [En línea]. Bogotá D.C., 2017. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/gasnatural.html

GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier. Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid, España. Editorial F.C., 2004. p. 60.

INSTITUTO DE ASSET MANGEMENT (IAM). *Publicly Available Specification*. PAS 55. UK, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. ISO 14224:2006. 2 ed. Geneve, Suiza:ISO, 2006.

LA COMUNIDAD PETROLERA. Métodos de recuperación secundaria. [En línea]. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: <https://www.lacomunidadpetrolera.com/2008/12/mtodos-de-recuperacin-secundaria.html>

MOUBRAY, John. RCM II: Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Traducido por Ellmann, Sueiro y Asociados. 2 ed. Liecestershire: Aladon Ltd, 2004. 446 p. ISBN 09539603-2-3

MUNDARAIN, Christian. Diseño de un programa de mantenimiento basado en condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Puerto la Cruz: Universidad de Oriente, 2009.

MUÑOZ, Enrique. ¿Qué es el número de prioridad del riesgo (RPN)? [En línea]. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: <http://blog.enrimusa.com/que-es-el-numero-de-prioridad-del-riesgo-npr/>

PERTUZ COMAS, Alberto David. Apuntes de clase de Ingeniería de Mantenimiento. Generalidades del mantenimiento. [En línea]. Recuperado en 24 octubre 2017. p. 4. Disponible en: <http://tic.uis.edu.co/ava/course/view.php?id=11675>

PINTO, Alba. Desarrollo de estrategia de confiabilidad APL's para equipos rotativos de la área ambiental de la gerencia de la refinería de Barrancabermeja, ECOPETROL S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011.

PROGRAMA DE REGIONALIZACIÓN SECTOR HIDROCARBUROS. La cadena del sector hidrocarburos. [En línea]. Recuperado en 24 octubre 2017. Disponible en: <http://www.anh.gov.co/portalsegmentacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>

TIC. Navegación SAP. [En línea]. USA, 2011. Recuperado en 08 septiembre 2017. Disponible en: http://www.sigmaq.com/pdf/Navegacion_SAP.pdf

VALENCIA, Carlos y MORERA, Victor. Elaboración de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la productora de concreto Hormigón Colombia S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físicomecánicas, 2013.

WIKISPACES. Plantas de Inyección de Agua Salada. [En línea]. Recuperado en 08 septiembre 2017. Editado por Autores. Disponible en: [https://thecontrolengineerep.wikispaces.com/Proyecto+PIAS+\(Plantas+de+Inyeccion+de+Agua+Salda](https://thecontrolengineerep.wikispaces.com/Proyecto+PIAS+(Plantas+de+Inyeccion+de+Agua+Salda)

YAÑEZ MEDINA, Medardo; GÓMEZ DE LA VEGA, Hernando y VALBUENA CHOURIO, Genebelin. Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo. Reliability & Risk Management, S.A., 2004. 332 p. ISBN 980-12-12-0116-9