

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LOS EQUIPOS DE TIPO ROTATIVO DEL PROCESO “SISTEMA DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN (STAP 6)” EN LA PLANTA “ESTACIÓN CASTILLA 3 (EC3)” DE LA EMPRESA ECOPETROL S.A.

HÉCTOR OMAR SILVA RANGEL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2021

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LOS EQUIPOS DE TIPO ROTATIVO DEL PROCESO “SISTEMA DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN (STAP 6)” EN LA PLANTA “ESTACIÓN CASTILLA 3 (EC3)” DE LA EMPRESA ECOPETROL S.A.

HÉCTOR OMAR SILVA RANGEL

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

Director

JULIAN ANDRES SABOGAL VANEGAS
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2021

DEDICATORIA

*Deseo dedicar este trabajo, que representa la culminación del proceso académico
para obtener mi título como especialista a:*

*A mi compañera de vida, Liseth Beltrán quien ha sido un apoyo significativo en el
desarrollo de esta etapa.*

*A toda mi familia, porque siempre han creído en mí y me han brindado su entera
confianza.*

AGRADECIMIENTOS

Al cuerpo docente de la Especialización por su esmero y dedicación para enseñarnos y promover el crecimiento profesional.

Al ingeniero Julian Sabogal, por el tiempo y la enseñanza en la disciplina de la confiabilidad y su soporte para integrarme y lograr culminar exitosamente este proyecto.

A la empresa Massy Energy Colombia S.A.S. y el equipo de trabajo del área de comisionamiento por su apoyo y acompañamiento.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
3. OBJETIVOS	22
3.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....	22
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4. JUSTIFICACIÓN	23
5. MARCO TEORICO.....	24
5.1. TAXONOMIA DE EQUIPOS	24
5.2. ANALISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS	26
5.3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	27
5.3.1. Proceso de implementación.	27
5.3.2. Equipo RCM.	28
5.3.3. Las siete preguntas básicas del RCM.	28
5.3.4. Falla funcional.	29
5.3.5. Modo de falla.	29
5.3.6. Contexto operacional	29
5.3.7. Árbol lógico de decisión	30
5.4. ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (FMEA).....	31
5.5. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO.....	32
5.5.1. Mantenimiento por condición.....	32

5.5.2. Mantenimiento Preventivo	32
6. METODOLOGIA.....	33
7. CONTEXTO OPERACIONAL.....	36
7.1. TRATAMIENTO, ALMACENAMIENTO Y DESPACHO DE CRUDO.....	36
7.1.1. Tratamiento de crudo	36
7.1.2. Almacenamiento y despacho de Crudo.....	37
7.2. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN STAP6.....	37
7.2.1. Paquete de clarificación.	37
7.2.2. Paquete de lodos.	39
7.2.2.1. Equipos rotativos en STAP6	42
7.2.2.2. Contexto Operacional Equipos rotativos STAP6.....	43
8. IMPLEMENTACIÓN DE TAXONOMIA.....	48
9. IMPLEMENTACIÓN ANALISIS DE SEGURIDAD DE PROCESOS.....	49
10. LISTADO DE EQUIPOS ROTATIVOS STAP6.....	51
11. IMPLEMENTACIÓN DEL RCM	55
11.1. IMPLEMENTACIÓN DEL FMEA.....	55
11.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS Y DE LAS CONSECUENCIAS	57
11.3. CALCULO DE CONSECUENCIAS.....	60
11.4. IMPLEMENTACIÓN DEL ARBOL LOGICO DE DESICIÓN	61
11.5. MITIGACIÓN DEL RIESGO Y EFECTIVIDAD	63
11.6. RESULTADOS DE RCM EN STAP6.....	66
12. CONCLUSIONES.....	73
BIBLIOGRAFIA.....	75
ANEXOS.....	76

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fases en el proceso del crudo.....	15
Figura 2. Infraestructura petrolera 2017.....	18
Figura 3. Ubicación del complejo “Estación Castilla 3 (EC3)”	19
Figura 4. Jerarquización para taxonomía de equipos	24
Figura 5. Flujograma de implementación RCM.....	27
Figura 6. Lógica de selección de estrategia enfoque RCM.....	30
Figura 7. Metodología para el RCM de ECOPETROL S.A.	33
Figura 8. Metodología para implementar en los talleres RCM a Realizar	35
Figura 9. Sistema de Tratamiento y transporte de Crudo (EC3)	40
Figura 10. Sistema de Tratamiento y Aprovechamiento de Agua de Producción - STAP6- (EC3) -Paquete de Clarificación.	41
Figura 11. Ubicación física STPA6 en la planta EC3.....	42
Figura 12. 01_Paquete Clarificación / 01_ACPI / Bombas Progresivas.....	43
Figura 13. 01_Paquete Clarificación / 01_ACPI_Sumidero / Bombas Progresivas.....	43
Figura 14. 01_Paquete Clarificación / 02_Celdas Flotación / Bombas Progresivas /Bombas centrifugas / Reductor Skimmer.....	44
Figura 15. 01_Paquete Clarificación / 03_Filtros Cascara Nuez / Bombas centrifugas	45
Figura 16. 02_Paquete Lodos / 01_Decantadores / Bombas centrifugas	46
Figura 17. 02_Paquete Lodos / 02_Tambores / Bombas Progresivas.....	46
Figura 18. 02_Paquete Lodos / 03_Tratamiento / Decantadores centrífugos / Agitadores.....	47
Figura 19. Jerarquización para taxonomía de equipos en ECOPETROL S.A.	48
Figura 20. Método de análisis de criticidad.....	50

Figura 21. Matriz de Evaluación de Riesgos.....57

Figura 22. Distribución de HH en la estrategia por Año.72

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Sistema de oleoductos.....	16
Tabla 2. Relación entre los datos de Mantenimiento y confiabilidad en los componentes de la taxonomía.	25
Tabla 3. Ejemplo de FMEA	31
Tabla 4. Distribución de equipos Rotativos en el STAP6.....	42
Tabla 5. Agrupación de equipos por criticidad en seguridad.	49
Tabla 6. Relación de equipos rotativos STAP6.....	51
Tabla 7. FMEA 01_Paquete Clarificación / 01_ACPI / Bomba Progresiva AP7553A/B	55
Tabla 8. Relación de valores en Matriz de Riesgos.....	58
Tabla 9. Desarrollo de la evaluación de Riesgos en sus modos de falla Bombas Cavidad Progresiva AP7553A/B	59
Tabla 10. Cálculo de Consecuencias US\$ / año. Bombas Cabo. Progresiva AP7553A/B	60
Tabla 11. Parámetros establecidos para el árbol de decisión.....	61
Tabla 12. Desarrollo del árbol lógico de Decisión. Bombas Cavidad Progresiva AP7553A/B	62
Tabla 13. Cálculo de Consecuencias US\$ / año. Bombas Cav. Progresiva AP7553A/B	63
Tabla 14. Desarrollo de la Reevaluación de Riesgos en sus modos de falla Bombas Cavidad Progresiva AP7553A/B	64
Tabla 15. Resultados del taller.....	65
Tabla 16. Agrupación de equipos para implementar RCM	66
Tabla 17. Resumen Modos de Falla encontrados en los talleres RCM.	67
Tabla 18. Resumen de evaluación del riesgo y su mitigación en los equipos.	68

Tabla 19. Resumen de la evaluación de consecuencias y el EMI	69
Tabla 20. Estrategia de Mantenimiento	70

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. FMEA de los equipos del STAP6 de EC3	76

RESUMEN

TITULO: PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LOS EQUIPOS DE TIPO ROTATIVO DEL PROCESO “SISTEMA DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN (STAP 6)” EN LA PLANTA “ESTACIÓN CASTILLA 3 (EC3)” DE LA EMPRESA ECOPETROL S.A.*.

AUTORES: HÉCTOR OMAR SILVA RANGEL**.

PALABRAS CLAVES: CONFIABILIDAD, MANTENIMIENTO, MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM), MODO DE FALLA, ANÁLISIS DE EFECTO Y MODO DE FALLA (FMECA).

DESCRIPCIÓN: Por medio de las políticas de gestión de activos y de seguridad de procesos encaminadas al cumplimiento de normas y altos estándares internacionales, ECOPETROL S.A. busca establecer una estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad y la seguridad, tanto operativa como humana dentro de sus procesos productivos durante las etapas de diseño, ingeniería, construcción, comisionamiento y operación.

ECOPETROL S.A. acogió y adaptó la metodología RCM y la integro con sus metodologías de evaluación de criticidad y de evaluación de riesgos, logrando un análisis más completo con el objetivo de fortalecer dentro de la planta el aseguramiento de los activos, procesos, la productividad, la rentabilidad, el impacto en la seguridad del recurso humano y ambiental.

Esta monografía muestra el proceso de implementación de la metodología RCM (Mantenimiento basado en la confiabilidad) adaptada por ECOPETROL S.A. a los equipos de tipo mecánico (rotativo) para la etapa de comisión y operación del proceso productivo “Sistema de Tratamiento y Aprovechamiento de Agua de Producción (STAP 6)” en la planta, “Estación Castilla 3 (EC3)”. con el objetivo de establecer un plan de mantenimiento que logre mitigar los riesgos evaluados.

Para la aplicación de esta metodología es necesario analizar desde un nivel macro, estudiando la filosofía operacional de la planta, pasando por la filosofía operacional de los procesos productivos y, por último, un análisis riguroso de los contextos operacionales de cada uno de los ítems mantenibles de acuerdo con su disciplina.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Julian Andres Sabogal Vanegas Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

ABSTRACT

TITLE: RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE PLAN (RCM) FOR THE ROTARY TYPE EQUIPMENT OF THE PROCESS “PRODUCTION WATER TREATMENT AND USE SYSTEM (STAP 6)” IN THE “ESTACIÓN CASTILLA 3 (EC3)” INDUSTRIAL PLANT OF THE ECOPETROL S.A. COMPANY*.

AUTHORS: HÉCTOR OMAR SILVA RANGEL**.

KEYWORDS: RELIABILITY, MAINTENANCE, RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE (RCM), FAILURE MODE, EFFECT ANALYSIS AND FAILURE MODE (FMECA).

DESCRIPTION: Through asset management and process safety policies aimed at complying with international norms and high standards, ECOPETROL S.A. seeks to establish a maintenance strategy based on reliability and safety, both operational and human within its production processes during the design, engineering, construction, commissioning, and operation stages.

ECOPETROL S.A. accepted and adapted the RCM methodology and integrated it with its criticality assessment and risk assessment methodologies, achieving a more complete analysis to strengthen the assurance of assets, processes, productivity, and profitability within the plant., the impact on the safety of human and environmental resources.

This monograph shows the implementation process of the RCM (Reliability-Based Maintenance) methodology adapted by ECOPETROL S.A. to mechanical (rotating) equipment for the commissioning and operation stage of the production process "Production Water Treatment and Use System (STAP 6)" at the plant, "Estación Castilla 3 (EC3)". with the objective of establishing a maintenance plan that mitigates the assessed risks.

For the application of this methodology, it is necessary to analyze from a macro level, studying the operational philosophy of the plant, going through the operational philosophy of the production processes and, finally, a rigorous analysis of the operational contexts of each of the maintainable items. according to their discipline.

* Degree Work

** Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Julian Andres Sabogal Vanegas Maintenance Management Specialist.

INTRODUCCION

Como parte del desarrollo de la infraestructura petrolera de Colombia, la empresa ECOPETROL S.A. viene desarrollando un plan estratégico de repotenciación de transporte del crudo. Para este caso planteo un proyecto de construcción de una planta para poder aumentar el caudal de crudo, esta planta está ubicada en el departamento del Meta.

Como parte del cumplimiento de estándares internacionales, la empresa ECOPETROL tiene metodologías para asegurar y provenir todos los riesgos posibles, por ejemplo, los que se puedan presentar durante la operación de la planta, es por eso que implementa el proceso de comisionamiento de equipos, donde se define una estrategia de mantenimiento para los equipos basada en la confiabilidad.

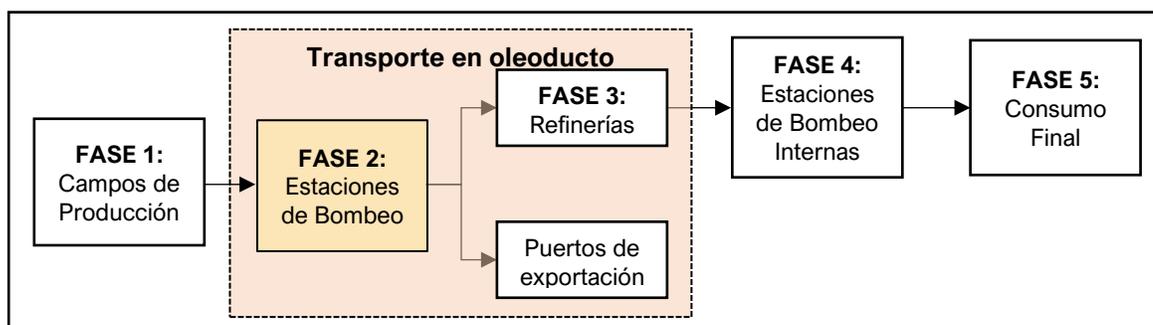
El diseño de este plan puede fortalecer las acciones planteadas para mitigar los riesgos de operación, y por tanto aportar a factores como la seguridad el ambiente y el negocio. Así pues, desde la academia se puede dar acompañamiento en estos procesos dando una significativa retroalimentación de manera recíproca entre la academia y la industria.

1. CONTEXTUALIZACIÓN

la empresa ECOPETROL S.A. es la encargada de gestionar los diferentes procesos de la cadena de hidrocarburos en Colombia: exploración, producción, transporte, refinación y comercialización, por lo cual, debe administrar toda la infraestructura petrolera del país que se compone de diferentes tipos de plantas y activos.

Uno de los procesos es el de transporte del crudo, el cual inicia desde las diferentes estaciones de bombeo, se transporta por medio de oleoductos a lo largo del territorio nacional y finaliza, ya sea en las refinерías para su procesamiento y posterior consumo interno, o en los puertos de transporte marítimo para su exportación.

Figura 1. Fases en el proceso del crudo.



Fuente: El autor.

Muchas de las estaciones de bombeo, pueden ser plantas complejas, donde no solamente se bombea el crudo, sino que también se realiza un tratamiento de este mismo antes de ser transportado, cada estación tendrá sus procesos dependiendo de factores como las características fisicoquímicas del crudo que reciben, del volumen de crudo a transportar, entre otros. Los componentes principales de la infraestructura petrolera son **37 estaciones¹** de bombeo y un oleoducto de **5.325 [Km.]** (Aprox.) y dividido en 55 Tramos (Tabla 1).

¹ Ecopetrol S.A. El petróleo y su mundo. Bogotá: Grupo OP Gráficas S.A. 2014. P.63.

Tabla 1. Sistema de oleoductos

TRANSPORTADOR	#	SISTEMA DE OLEODUCTO	INICIO TRAMO	FIN TRAMO	FIN TRAMO 2
CENIT TRANSPORTE Y LOGÍSTICA DE HIDROCARBUROS S.A.S	1	Oleoducto Apiay - Monterrey 20" y 30"	Apiay	Monterrey 20" y 30"	
	2	Oleoducto Araguañey - Monterrey	Araguañey	Monterrey	
	3	Oleoducto Ayacucho - Coveñas	Ayacucho	Cicuco 16"	
			Cicuco	Coveñas 16"	
	4	Oleoducto Ayacucho - Galán 8"	Ayacucho	Galán 8"	
	5	Oleoducto Caño Limón - Coveñas - OCC	Ayacucho	Coveñas OCC	
			Banadía	Gibraltar OCC	
			Caño Limón	Banadía OCC	
			Gibraltar	Ayacucho OCC	
	6	Oleoducto Churuyaco - Orito - OCHO	Churuyaco	Km 15 OTA	
	7	Oleoducto Coveñas - Cartagena	Coveñas	Cartagena	
	8	Oleoducto Galán - Ayacucho	Galán	Isla VI 14" y 18"	
			Isla VI	Ayacucho 14" y 18"	
	9	Oleoducto Mansoyá - Orito - OMO	Mansoyá	Santana	
	Santana		Yarumo		
	11	Oleoducto Monterrey - Porvenir	Monterrey	El Porvenir	
12	Oleoducto Orito - San Miguel - OSO	Km 58 (Colón)	Yarumo		
		San Miguel	Km 58 (Colón)		
		Yarumo	Orito		
13	Oleoducto Santiago - Porvenir	Santiago	Monterrey 10"		
14	Oleoducto Transandino - OTA	Km 15 OTA	Tumaco		
		Orito	Km 15 OTA		
15	Oleoducto Vasconia - Galán	Vasconia	Galán		
16	Oleoducto Yaguará - Tenay	Yaguará	Tenay		
ECOPETROL S.A.	17	Oleoducto Casabe - Galán	Casabe	Galán	
	18	Oleoducto Castilla - Apiay	Castilla	Apiay	
	19	Oleoducto Chichimene - Castilla	Chichimene	Castilla	
	20	Oleoducto Dina - Tenay	Dina	Tenay	
	21	Oleoducto El Centro - Galán	El Centro	Galán	
	22	Oleoducto Gibraltar - Caño Limón	Gibraltar	Caño Limón	
	23	Oleoducto Palagua - Vasconia	Palagua	Vasconia	
	24	Oleoducto Payoa - Galán	Payoa	Galán	
	25	Oleoducto Provincia - Payoa	Provincia	Payoa	
	26	Oleoducto Río Ceibas - Tello	Río Ceibas	Tello	
	27	Oleoducto San Francisco - Dina	San Francisco	Dina	
	28	Oleoducto Teca - Vasconia	Teca	Vasconia	
	29	Oleoducto Tello - Dina	Tello	Dina	
	30	Oleoducto Tibú - Miramonte	Tibú	Miramonte	
	31	Oleoducto Toldado - Gualanday	Toldado	Gualanday	
	32	Oleoducto Vasconia - Velásquez	Vasconia	Velasquez1	

TRANSPORTADOR	#	SISTEMA DE OLEODUCTO	INICIO TRAMO	FIN TRAMO	FIN TRAMO 2
	33	Oleoducto Yarirí - Comuneros	Yarirí	Comuneros	
EQUION	34	Oleoducto El Morro - Araguaney	El Morro	Araguaney	
FRONTERA ENERGY	35	Oleoducto Guaduas - La Dorada	Guaduas	La Dorada	
GRAN TIERRA ENERGY COLOMBIA	36	Oleoducto Costayaco - Uchupayaco	Costayaco	Uchupayaco	
	37	Oleoducto Mary - Uchupayaco	Linda	Toroyaco	
			Mary	Linda	
			Toroyaco	Uchupayaco	
38	Oleoducto Uchupayaco - Santana	Uchupayaco	Santana		
HOCOL S. A	39	Oleoducto Alto Magdalena	Dorada	Vasconia	
			Gualanday	Vasconia	
			Inyección Chicoral	Vasconia	
			Lerida	Vasconia	
			Purificación	Vasconia	
			Tenay	Vasconia	
40	Oleoducto Hocha - Los Mangos	Hocha	Los Mangos		
41	Oleoducto Ocelote - Palmeras	Ocelote	Palmeras		
MANSAROVAR ENERGY LTD.	42	Oleoducto Jazmín - Vasconia	Jazmín	Vasconia	
	43	Oleoducto Moriche - Jazmín	Moriche	Jazmín	
	44	Oleoducto Velásquez - Galán	Velásquez	Galán	
OCCIDENTAL DE COLOMBIA, LLC	45	Oleoducto Caricare - Caño Limón	Caricare	Caño Limón	
OLEODUCTO BICENTENARIO DE COLOMBIA S.A.S	46	Oleoducto Araguaney - Banadía - BICENTENARIO	Araguaney	Banadía	
OLEODUCTO CENTRAL S.A - OCENSA	47	Oleoducto Central S.A - OCENSA	Segm. 0	Cupiagua	Cusiana
			Segm. 1	Cusiana	El Porvenir
			Segm. 2	El Porvenir	Vasconia
			Segm. 3	Vasconia	Coveñas
OLEODUCTO DE COLOMBIA S.A.	48	Oleoducto de Colombia - ODC	Vasconia	Coveñas	
OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES S.A.	49	Oleoducto de los Llanos Orientales - ODL	Jagüey	Monterrey	Cusiana
			Palmeras	Jagüey	
			Rubiales	Palmeras	
	50	Oleoducto Guando - Chicoral	Abanico	Chicoral	
			Guando	Abanico	
51	Oleoducto Los Toros - Araguaney	Los Toros	Araguaney		
OLEODUCTO DEL NORTE DE COLOMBIA	52	Oleoducto Miramontes - Ayacucho	Miramontes	Ayacucho	
	53	Oleoducto Rio Zulia - Miramontes	Rio Zulia	Miramontes	
PERENCO COLOMBIA LIMITED	54	Oleoducto La Gloria Norte - Araguaney	La Gloria Norte	Araguaney	
	55	Oleoducto Sardinas - Araguaney	Sardinas	Araguaney	

Fuente: Delvasto & Echevarría Asociados. Consultores en Gas y Energía. Documento compilado diagnóstico y propuestas metodológicas. 2017. P.23.

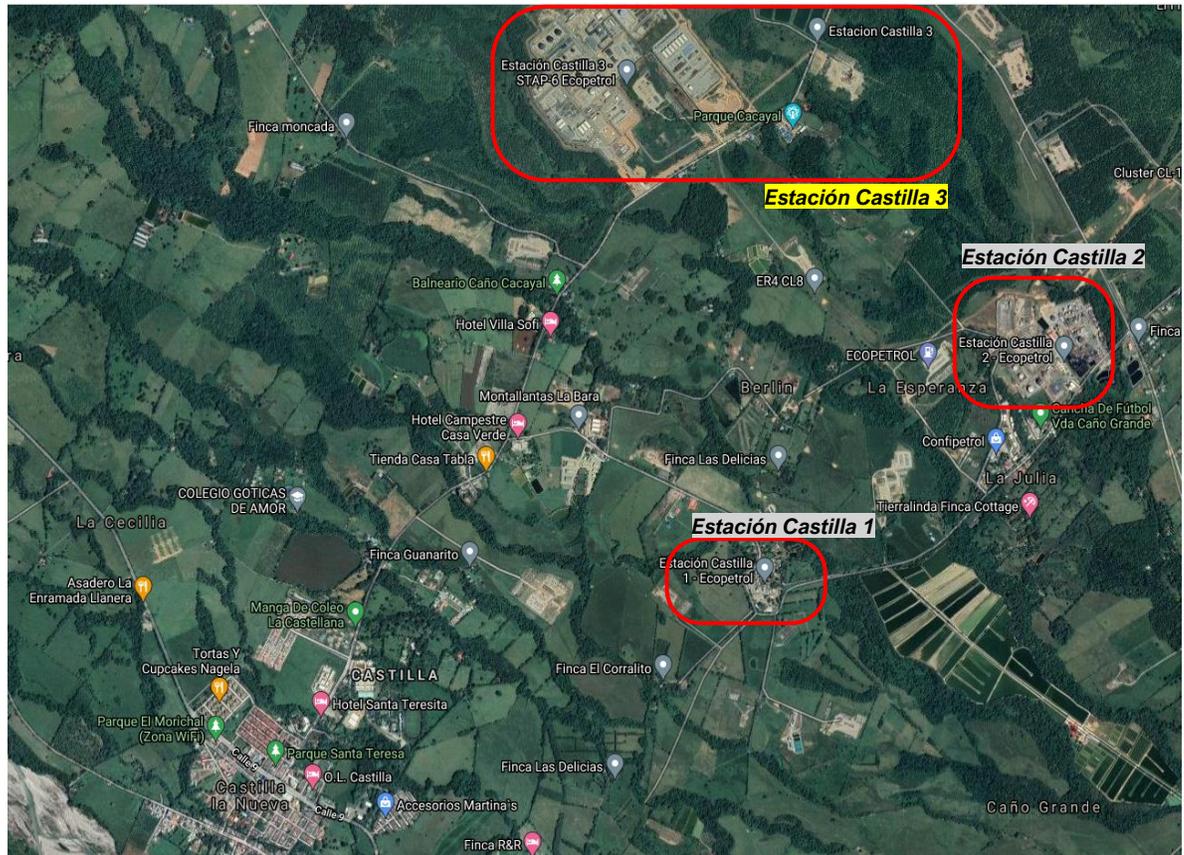
Figura 2. Infraestructura petrolera 2017.



Fuente: Ecopetrol.

De los oleoductos anteriormente relacionados (Tabla 1), se puede identificar en los oleoductos #17 y #18, la estación Castilla operada por ECOPEPETROL S.A. Este complejo está conformado por 3 plantas, “Estación Castilla 1 (EC1)”, “Estación Castilla 2 (EC2)” y “Estación Castilla 3 (EC3)” (Figura 3).

Figura 3. Ubicación del complejo “Estación Castilla 3 (EC3)”



Fuente: Google Maps.

La planta EC3, es parte de un proyecto de crecimiento de la infraestructura petrolera del país, junto con la construcción de la Estación de bombeo San Fernando (Figura 2) y la construcción de una granja de energía solar²; que busca aumentar la

² Desarrollo petrolero en el Meta está en marcha [En línea]. Bogotá, 2012 [Fecha de consulta: 12 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12293783>

capacidad de transporte de crudo desde el departamento del Meta y de ese modo lograr suplir la demanda actual de hidrocarburos tanto para consumo interno como para exportación.

La construcción de la planta EC3 inicio en el año 2013, con una inversión aproximado de US\$ 361 millones³ y tiene proyectado iniciar operación a mediados del año 2021. La planta EC3 está ubicada en el departamento del Meta, en jurisdicción de los municipios de Castilla La Nueva y Acacias a una hora de Villavicencio y a cuatro (4) horas de Bogotá D.C.

la planta “Estación Castilla 3 (EC3)” tiene dos (2) objetivos principales:

- Garantizar el tratamiento de crudo (deshidratación) proveniente de otras locaciones, como lo son la planta “Estación Castilla 2” y otras zonas de pozos de extracción (Figura 3) con la mayor eficiencia y de manera permanente; para que posteriormente, este crudo sea bombeado por medio del oleoducto a la estación San Fernando – Monterrey y de ahí, hacia el centro del país (Figura 2).
- Garantizar el tratamiento del agua residual que se separa del crudo durante su tratamiento (STAP 6) con la mayor eficiencia y de manera permanente. Esta agua debe ser tratada para ser reutilizada en otros subprocesos que se aplican en la planta EC3, como la inyección de agua a pozos productores de crudo.

Es importante resaltar que, de los 2 procesos de tratamiento mencionados, el proceso de tratamiento de agua es requerido para realizar el proceso de tratamiento de crudo, y por tanto se puede decir que la indisponibilidad de uno de estos dos procesos, significan el paro de la planta.

³ Entra en producción ‘Castilla 3’, planta de crudo y agua en los Llanos. [En línea]. Bogotá, 2021 [Fecha de consulta: 12 mayo 2021]. Disponible en: <https://intenz.co/2021/01/24/entra-en-produccion-de-estacion-de-recoleccion-y-tratamiento-castilla-3/>

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las premisas para dar respuesta es el cómo poder garantizar, desde el proceso de construcción de la planta EC3, el cumplimiento de los dos objetivos operativos principales que esta tendrá durante la producción y con la premisa de que este proceso productivo no deberá tener interrupciones, distintas a las programadas, es decir la planta deberá tener una confiabilidad del 100%.

También es importante tener en cuenta que todos los procesos productivos en la estación implican un alto riesgo para la salud, el ambiente y el negocio, uno de estos procesos críticos es el “Sistema de Tratamiento y Aprovechamiento de Agua para Producción (STAP 6)”, el cual cumple una función importante no solo en el aspecto productivo, sino que también tiene un alto impacto en el aspecto ambiental.

Dentro del proceso STAP6, existen equipos de todas las especialidades, rotativos, estáticos, eléctricos, instrumentación y control, es así que se divide la revisión según las competencias técnicas del equipo de trabajo, por lo que, para el desarrollo de esta problemática, se enfocara en los equipos rotativos.

Es por esto por lo que ECOPEPETROL S.A. requiere establecer una estrategia del mantenimiento optima que garantice la confiabilidad, disponibilidad, integridad y la seguridad de los equipos rotativos que se encuentran en proceso de comisionamiento en el sistema STAP 6.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Diseñar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para los equipos de tipo rotativo del proceso “STAP6” en la estación Castilla 3 “EC3” de Ecopetrol.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la filosofía de operación de la estación Castilla 3 y sus procesos.
- Identificar los equipos rotativos, sus ítems mantenibles y sus respectivos modos de falla, por medio de la metodología FMECA del proceso STAP 6 de la EC3
- Identificar los riesgos asociados a cada modo de falla por medio de una metodología de análisis de criticidad establecida.
- Determinar la metodología de mantenimiento para cada modo de falla (preventivo, por condición y/o productivo) y las frecuencias de las actividades.
- Comprobar la mitigación de los riesgos por medio de la estimación de riesgos e impactos, antes y después de establecer el plan de mantenimiento.

4. JUSTIFICACIÓN

Al lograr establecer un plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) en un sistema crítico como el STAP6, se adelanta por parte de la gestión del mantenimiento un importante avance para la búsqueda en la mitigación de riesgos de todo tipo.

En el aspecto operativo, por medio de la metodología RCM, se busca el aumento de la confiabilidad de los activos, garantizando de esta manera una producción que no se vea interrumpida a causa de fallos en los diferentes equipos.

En el aspecto de seguridad y medio ambiente, se evalúan los posibles riesgos durante el diseño del plan de mantenimiento, y se establecen, por medio del mantenimiento, las actividades prioritarias con base en las posibles consecuencias e impactos que puedan acarrear diferentes tipos de fallos en los diferentes equipos.

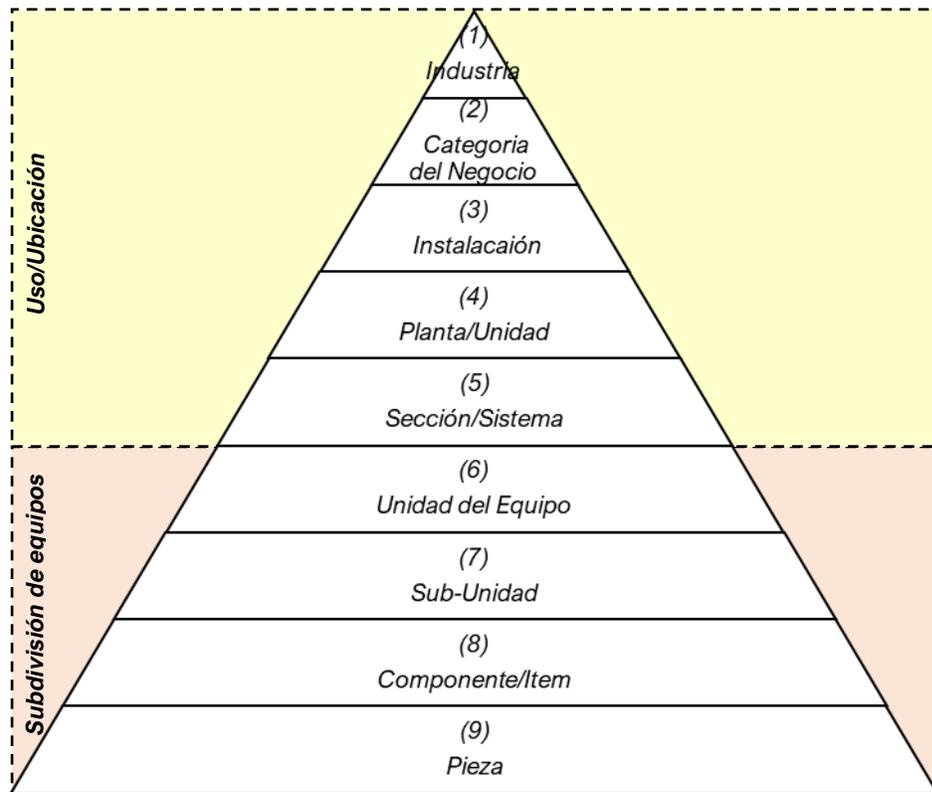
Por supuesto, para la rentabilidad del negocio, este plan busca mantener y prolongar la vida útil de los activos, evitando que se puedan llegar a generar daños catastróficos en estos, generando pérdidas monetarias ya sea por reacondicionamiento o hasta la misma recompra de equipos afectados.

5. MARCO TEORICO

5.1. TAXONOMIA DE EQUIPOS

La taxonomía de equipos según la norma ISO-14224 (2016)⁴, es una estructura sistemática con la cual se pueden clasificar los equipos pertenecientes a una organización. Los primeros cinco datos hacen referencia a la ubicación de los equipos dentro de la organización, y los cuatro últimos datos subdividen al equipo hasta llegar al ítem tangible y por tanto mantenible.

Figura 4. Jerarquización para taxonomía de equipos



Fuente: ISO 14224. 2016

⁴BSI. Industria del petróleo, petroquímica y gas natural – recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO 14224:2016). BSI Standards Limited. 2016. P.30.

La estructura anterior proporciona muchas ventajas, una de ellas se trata de localizar fácilmente un ítem en una organización que comprenda numerosos y complejos procesos; la función principal de esta estructura es una óptima y eficiente administración de los datos de mantenimiento para cada ítem mantenible.

Los niveles de subdivisión del equipo dependerán de la complejidad de este, pueden ser más de cuatro (4) niveles hasta llegar al ítem mantenible. La función de esta clasificación del equipo con respecto a los datos de mantenimiento y confiabilidad, según la norma, son los siguientes.

Tabla 2. Relación entre los datos de Mantenimiento y confiabilidad en los componentes de la taxonomía.

Datos Mantenimiento y Confiabilidad	Nivel de Jerarquía				
	4 Planta / Unidad	5 Sección / Sistema	6 Unidad de equipo	7 Subunidad	8 Componente / Ítem Mantenible
<i>Impacto en falla de seguridad</i>	X				
<i>Impacto de mantenimiento en seguridad</i>	X				
<i>Impacto de falla en operaciones</i>	X	X			
<i>Impacto de mantenimiento en operaciones</i>	X	X			
<i>Impacto de falla en equipos</i>			X	X	X
<i>Modo de falla</i>		X	X	X	X
<i>Mecanismo de falla</i>			X	X	X
<i>Causa de falla</i>				X	X
<i>Método de detección</i>		X	X	X	X
<i>Sub unidad con falla</i>				X	
<i>Componente / Ítem mantenible</i>					X
<i>Tiempo inactivo</i>	X	X	X		
<i>Tiempo de Mantenimiento activo</i>			X	X	X

Fuente: ISO 14224. 2016

5.2. ANALISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

La evaluación de criticidad de los equipos es importante realizarla ya que esto permite jerarquizar Las instalaciones, sistemas y equipos de acuerdo con sus funciones y relevancia dentro de la planta en temas como seguridad de proceso o de producción y así poder tomar decisiones de manera más objetiva.

Para desarrollar una evaluación de criticidad se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

Definir del alcance del análisis.

Definir los criterios de evaluación.

Definir el método de evaluación.

Existen varias metodologías⁵ para realizar esta evaluación, como lo son:

- Método de flujograma de análisis de criticidad (cualitativo)
- Modelo de criticidad semicuantitativo CTR (Criticidad total por riesgo)
- Modelo de criticidad semicuantitativo MCR (Matriz de criticidad por riesgo)
- Modelo de criticidad cuantitativo AHP (Proceso de análisis jerárquico)

⁵ PARRA MARQUEZ, Carlos Alberto. CRESPO MARQUEZ, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Desarrollo y aplicación práctica de un modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM). INGEMAN -Asociación para el desarrollo de la ingeniería del mantenimiento. Pag.58. 2012.

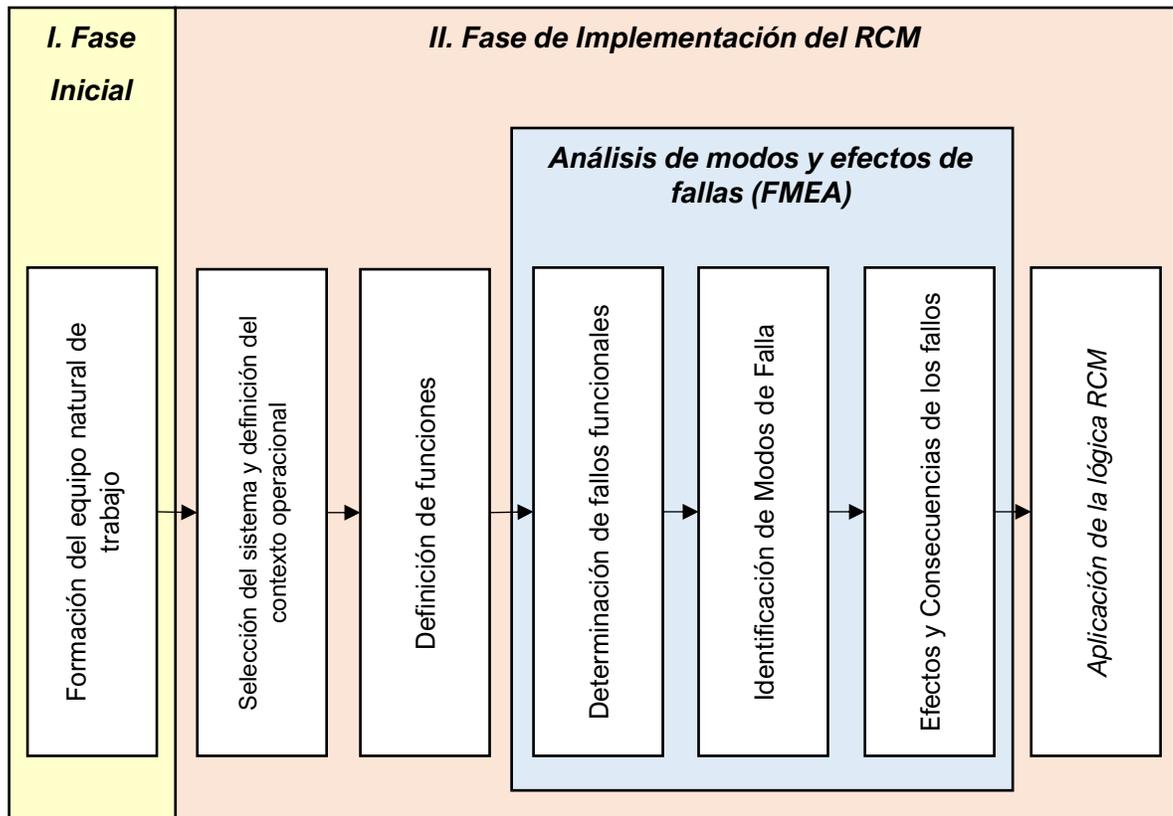
5.3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Como parte de la metodología que se desarrollara, la técnica RCM de la que se relacionara los conceptos fundamentales y que serán utilizados.

El RCM (Reliability Centred Maintenance) es una metodología adaptada de la industria aeronáutica para ser replicada a las demás industrias, existen normativas como la SAE JA1011-Criterios de evaluación del proceso RCM que dan una guía base de que aspectos fundamentales se deben tener en cuenta y de qué manera se debe desarrollar. Algunos de estos elementos son los siguientes:

5.3.1. Proceso de implementación.

Figura 5. Flujo de implementación RCM.



Fuente: PARRA MARQUEZ, Carlos Alberto. CRESPO MARQUEZ, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos.

5.3.2. Equipo RCM. El equipo RCM debe constar como mínimo del siguiente personal⁶:

- Facilitador RCM (Asesor Metodológico)
- Especialista (Experto en el área)
- Mantenedor (Experto en mantenimiento)
- Operador (Experto en la operación)
- Planeador (Taxonomía y estrategia)
- Producción (Visión del negocio)

5.3.3. Las siete preguntas básicas del RCM. Según Murray⁷, estas preguntas son una serie de cuestionamientos que se deben responder de manera sistemática para implementar esta metodología.

- ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Que ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
- ¿De qué modo afecta cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

⁶ PARRA MARQUEZ, Carlos Alberto. CRESPO MARQUEZ, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Desarrollo y aplicación práctica de un modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM). INGEMAN -Asociación para el desarrollo de la ingeniería del mantenimiento. Pag.119. 2012.

⁷ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Gran Bretaña: Biddles Ltd., Guildorf and Kings Lynn, 2004. P.7.

5.3.4. Falla funcional. Según Moubray⁸, es un estado al que llega un activo cuando no puede cumplir con su función.

5.3.5. Modo de falla. Según Moubray⁹ Toda posible causa que pudo generar la falla funcional

5.3.6. Contexto operacional. El contexto operacional da una primera pauta en el análisis previo al de los equipos y se hace en primer lugar, porque define el contexto en el que el equipo opera en determinado proceso, en determinado sistema, en determinada instalación, determinada filosofía de operación; es por eso por lo que un equipo del mismo tipo puede resultar con un plan de mantenimiento diferente si este tiene otro contexto operativo. Algunos criterios básicos para plantear el contexto operativo son:

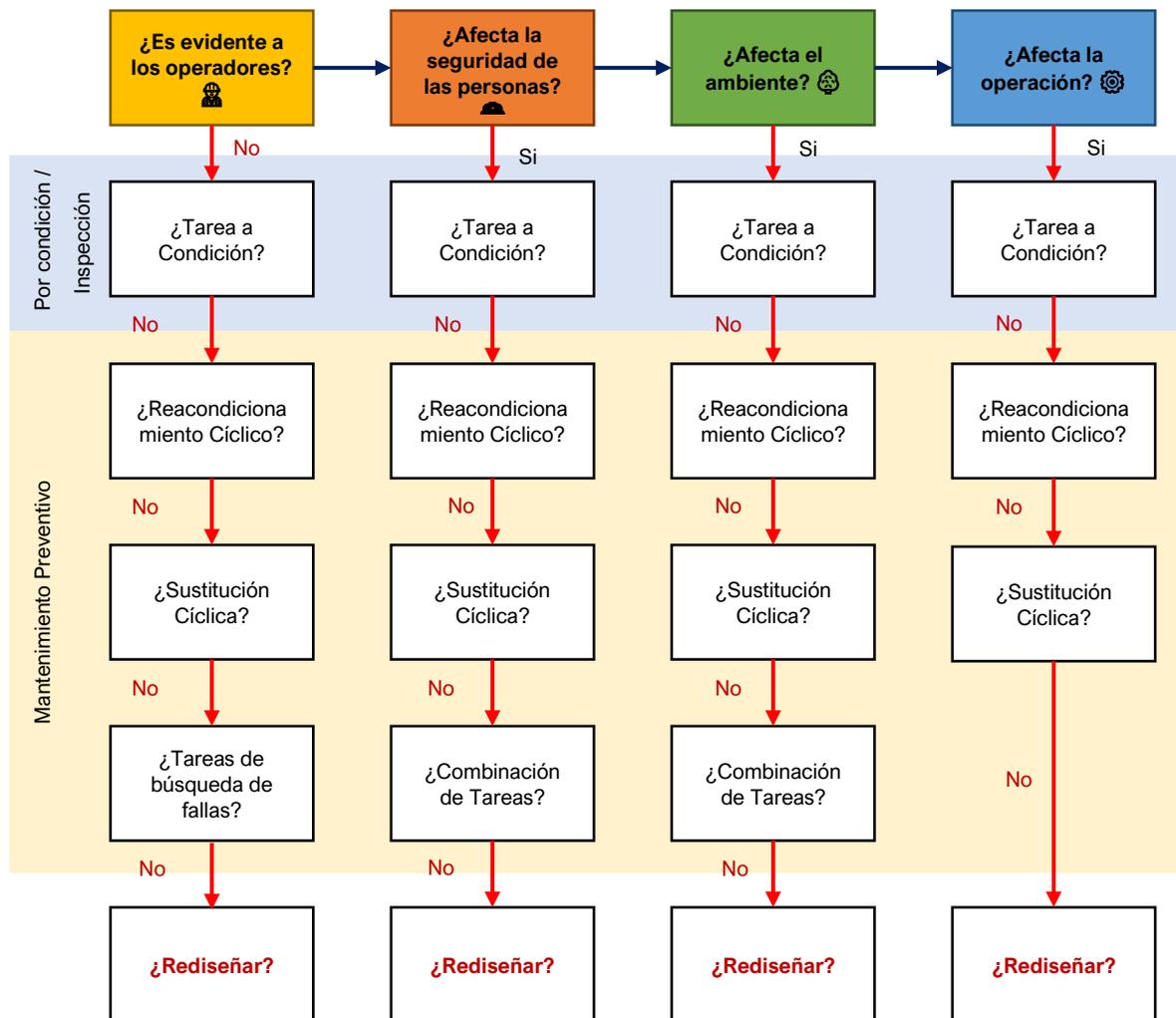
- Producción de la planta
- Identificación del sistema / subsistema
- Condiciones de operación
- Función que el equipo cumple
- Régimen de operación
- Tiene respaldo operativo
- Información técnica del equipo
- Disponibilidad de mano y obra
- Disponibilidad de repuestos
- Consecuencias e indisponibilidad del equipo
- Objetivos HSE.

⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Gran Bretraña: Biddles Ltd, Guildorf and King's Lynn, 2004. P.8.

⁹ Ibid. P.9.

5.3.7. Árbol lógico de decisión. Para cada modo de falla, se analiza su posible tarea de mantenimiento:

Figura 6. Lógica de selección de estrategia enfoque RCM



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

A continuación, estas tareas se consignan en la *plantilla RCM¹⁰* para poder valorar la mitigación del riesgo antes de esta acción, más adelante se hablará del cálculo del riesgo y la consecuencia.

¹⁰ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Gran Bretaña: Biddles Ltd., Guildorf and Kings Lynn, 2004. P.184.

5.4. ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (FMEA)

Este análisis busca establecer las posibles causas que puedan generar una falla funcional y los posibles efectos de estas causas.

Tabla 3. Ejemplo de FMEA¹¹

Sistema		<i>Enfriamiento de agua</i>			
Subsistema					
Función		Falla Funcional (Sustantivo + Verbo)		Modos de falla (Verbos específicos)	
1	<i>Transferir Agua del Tanque X Al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto.</i>	A	<i>Incapaz de transferir Agua</i>	A1	<i>Rodamiento falla</i>
				A2	<i>El propulsor se suelta</i>
				A3	<i>Propulsor atascado por un objeto extraño</i>
				A4	<i>Campana de enganche falla por</i>
		B	<i>Transfiere menos de 800 litro Por minuto.</i>	B1	<i>Se quema el motor</i>
				B2	<i>Válvula de entrada tapada</i>
				B3	<i>Propulsor desgastado</i>
				B4	<i>Línea de succión Parcialmente bloqueada.</i>

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

¹¹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Gran Bretaña: Biddles Ltd., Guildorf and Kings Lynn, 2004. P.57.

5.5. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

5.5.1. Mantenimiento por condición. Manteniendo basado en la condición (CBM) es una metodología de mantenimiento que tiene como base la tecnología de dispositivos de medición para lograr mediciones de viables que permitan determinar el estado de un equipo sin tener que intervenirlo para evaluar su estado. El objetivo de este mantenimiento es evitar las pérdidas por tiempos de paro durante rutinas de intervención intrusiva que puedan estar infra dimensionadas, es decir que no sean necesarias y generan sobrecostos en el mantenimiento. Algunas de las técnicas más conocidas son la medición de vibraciones mecánicas, la medición de temperatura por termografía, el análisis de tribología, entre otras.

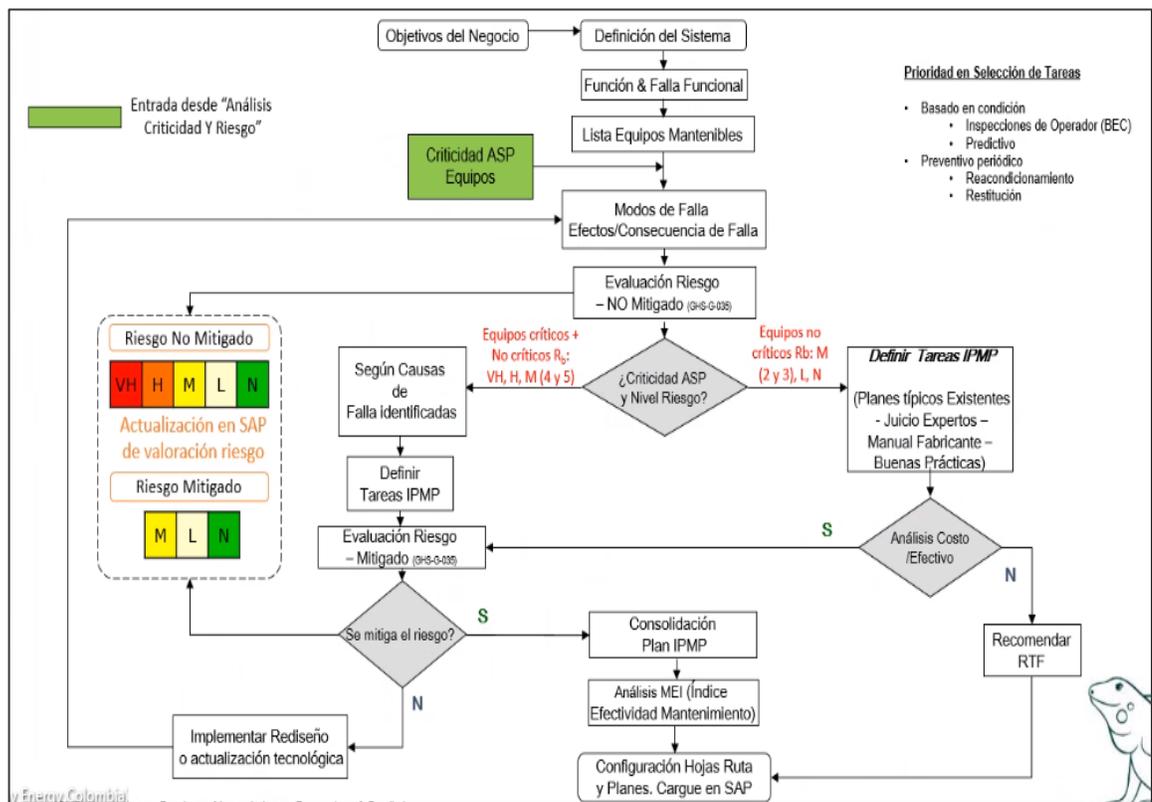
5.5.2. Mantenimiento Preventivo. El mantenimiento preventivo es el método de mantenimiento más básico que hay posterior al mantenimiento por falla, se basa en utilizar como base un plan de mantenimiento, es decir el cumplimiento de unas frecuencias. El cómo se haya redactado este plan, puede variar, puede ser por la experiencia técnica, por las recomendaciones del fabricante, por costos, entre otras.

6. METODOLOGIA

Con Base en las herramientas teóricas citadas en el numeral 5 y con el propósito de encaminar este trabajo al cumplimiento de los objetivos planteados, a continuación, se define la metodología a implementar Para abordar esta problemática.

La empresa ECOPETROL S.A., ha desarrollado una metodología que se integra a la ejecución del proyecto, por medio del proceso de comisionamiento de los equipos en la planta. Este proceso busca implementar los Principios de la Gestión de Activos y de Seguridad de proceso, con base en las políticas de seguridad y salud, medio ambiente y gestión de riesgo; en el aspecto operativo que los equipos tendrán durante la etapa productiva de la planta.

Figura 7. Metodología para el RCM de ECOPETROL S.A.



Fuente: Ecopetrol.

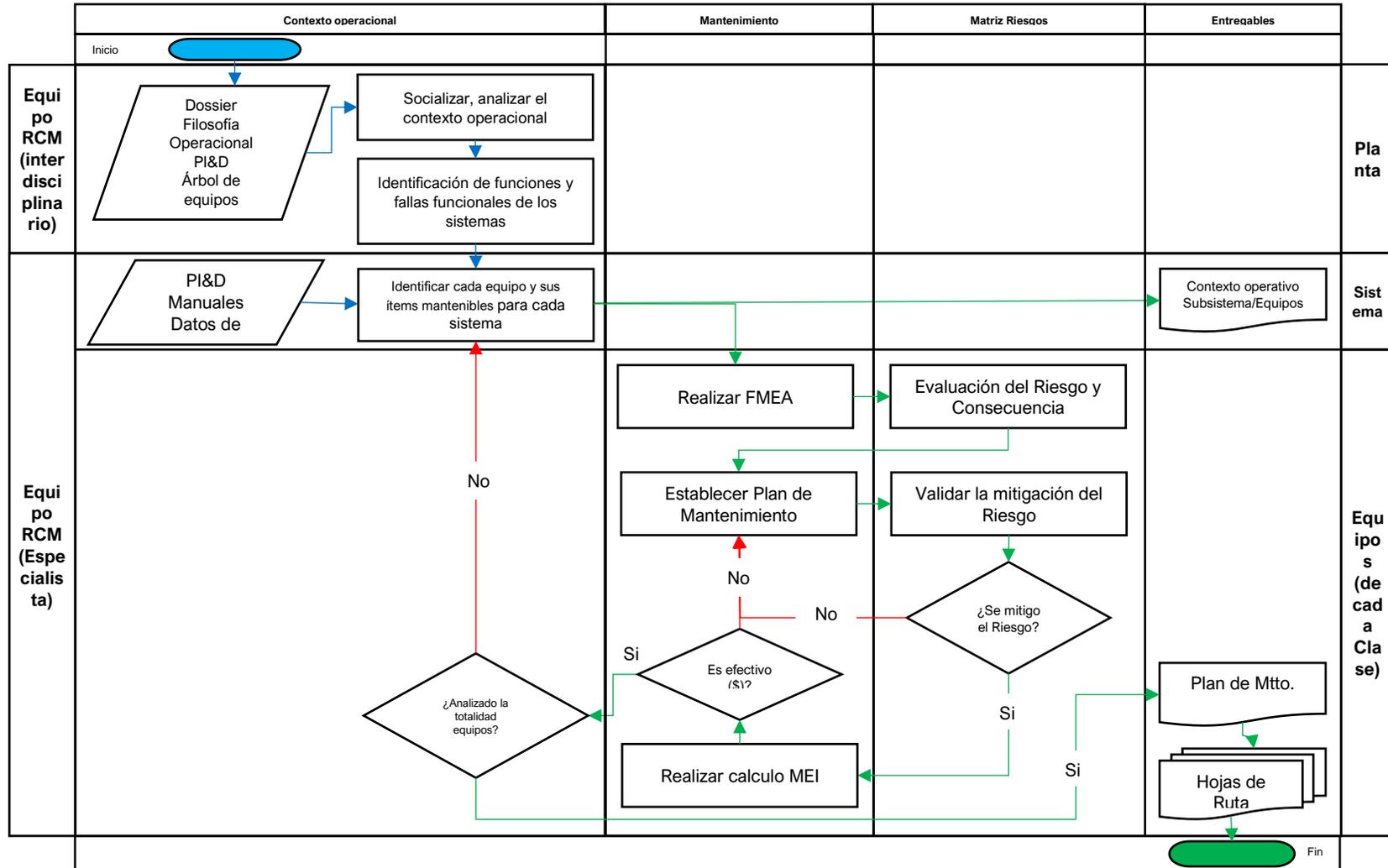
Como se observa en la figura 7, el análisis de criticidad de los equipos se realiza previo a la metodología RCM, con base en esa criticidad se toman ciertos criterios para los equipos críticos donde por ejemplo su estrategia de mantenimiento deberá ir más enfocada al cumplimiento de normativas.

También es importante resaltar como la base metodológica de la empresa, está fundamentada en la metodología RCM que proviene de la teoría y de la norma.

Por tanto, el proceso de comisionamiento, tienen como objetivo la consecución de una estrategia de mantenimiento centrada en la confiabilidad de los equipos durante su vida útil y con las mejores condiciones de eficiencia operativa, enfocada en la mitigación de los riesgos a la salud del personal, al medio ambiente y por supuesto, a las pérdidas de producción.

En la figura 8 muestra la metodología más al detalle del proceso que se reflejará en los talleres RCM a realizar.

Figura 8. Metodología para implementar en los talleres RCM a Realizar



Fuente: El autor.

7. CONTEXTO OPERACIONAL

Como se mencionó anteriormente, la función principal de la planta EC3 es el despacho de crudo que proviene de la planta EC2 y de otras zonas de extracción. Implícita en esta función se encuentran otras funciones como lo son el previo tratamiento del mismo crudo a transportar y el tratamiento de agua (STAP6), el cual es requerido para soportar el proceso de tratamiento de crudo y suplir a otros procesos dentro de la planta.

7.1. TRATAMIENTO, ALMACENAMIENTO Y DESPACHO DE CRUDO

El crudo proveniente del mega múltiple de Castilla y de las líneas de transferencia de fluido de pozos llega al múltiple de la estación Castilla 3 y es direccionado hacia los tanques de surgencia. (Figura 9) El esquema de tratamiento se compone de tres etapas principales:

7.1.1. Tratamiento de crudo

- **Surgencia:** Esta etapa se conforma por tres tanques, cada uno con una bota de separación gas-líquido y en cada tanque se separa el agua libre de los fluidos de producción.
- **Trasiego:** Etapa conformada por dos tanques de compensación. Se utilizan para dar cabeza a las bombas de transferencia o trasiego, que permiten enviar el crudo separado en la etapa de surgencia a las siguientes etapas de tratamiento.
- **Lavado:** Etapa donde se realiza un proceso de mezclado del crudo separado en la etapa de surgencia con nafta como diluyente; el mezclado se realiza con la finalidad de reducir la viscosidad del aceite y facilitar su separación del agua remanente en la corriente. La corriente mezclada pasa una bota separación gas-

líquido y un tanque de lavado para que se produzca la separación del agua y el aceite y obtener crudo dentro de especificaciones.

7.1.2. Almacenamiento y despacho de Crudo. Está conformado por tanques de almacenamiento, un sistema de bombas y una unidad LACT que permiten enviar el crudo en especificación hasta la estación de recibo de la VIT, San Fernando.

7.2. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN STAP6

El Sistema de Tratamiento de Agua de Producción (STAP6) de la estación Castilla 3 está compuesto por dos (2) paquetes tecnológicos.

7.2.1. Paquete de clarificación. (Remoción de G&A y SST) el cual se conforma con tecnología convencional de clarificación que consiste en CPIs, Celdas de flotación y Filtros cáscara de nuez y tiene como objetivo disminuir la concentración de Grasas y Aceites (G&A). (Figura 10):

- **Interruptores de placas corrugadas (ACPI):** El agua de producción se recibe provenientes del tanque de surgencia para ingreso individual a cada ACPI, previo ingreso, se cuenta con un medidor de flujo para verificación del flujo de entrada a los equipos. La señal de flujo de los FIT se lleva al PLC del sistema y se tienen alarmas de bajo y alto flujo para alerta del operador. En los ACPI se separa el aceite libre, las grasas y los sólidos suspendidos a través de un proceso de separación física por diferencia de densidades. La fase aceitosa fluye a un colector de tubería ranurado ajustable localizado en la parte superior del CPI, y desde allí es llevado por gravedad a través de una línea hacia el sumidero El agua, con trazas de aceite y sólidos que no pudieron ser separados en esta etapa, se dirige hacia las celdas de flotación a través de líneas individuales unen para ingresar a la siguiente etapa del proceso. Los lodos se depositan en el compartimiento inferior del CPI y se envían al sistema de tratamiento de lodos de Veolia mediante las bombas de lodos

alineadas para los ACPI, de la pareja de bombas una está en operación y la otra en respaldo. La descarga de lodos se realiza en determinados intervalos de tiempo, luego de que las válvulas de descarga de lodos se abren se arranca la bomba de lodos respectiva, una vez esto sucede, los cuatro CPIs alineados son desocupados sucesivamente.

- Celdas de Flotación. Cada celda de flotación consiste en una vasija horizontal dividida en seis (6) cámaras: una caja para la recepción de fluidos, cuatro cámaras de flotación y una caja para salida de fluido. Las cámaras están divididas por bafles que se extienden completamente de lado a lado, pero son abiertas en la parte superior y en el fondo para permitir flujo. El agua fluye por gravedad desde la boquilla de entrada, a través de las celdas, hasta la boquilla de salida. El sistema está diseñado para tener un tiempo de retención de 4 minutos (1 minuto por cada cámara de flotación) y cuenta con un mecanismo motorizado que hace girar un agitador sumergido con el objetivo de crear pequeñas burbujas que en su ascenso ocasionan la conglomeración de sólidos y aceites. Para remover los sobrenadantes generados en este proceso, se utilizan desnatadoras motorizados que arrastran los sobrenadantes hasta una cámara de recolección desde donde son bombeados hacia la unidad de tratamiento de lodos. De acuerdo con los requerimientos del proceso se adicionan polímeros y rompedor de emulsiones en la entrada de las celdas de flotación para mejorar la coagulación y aglomeración de partículas de aceite y sólidos.

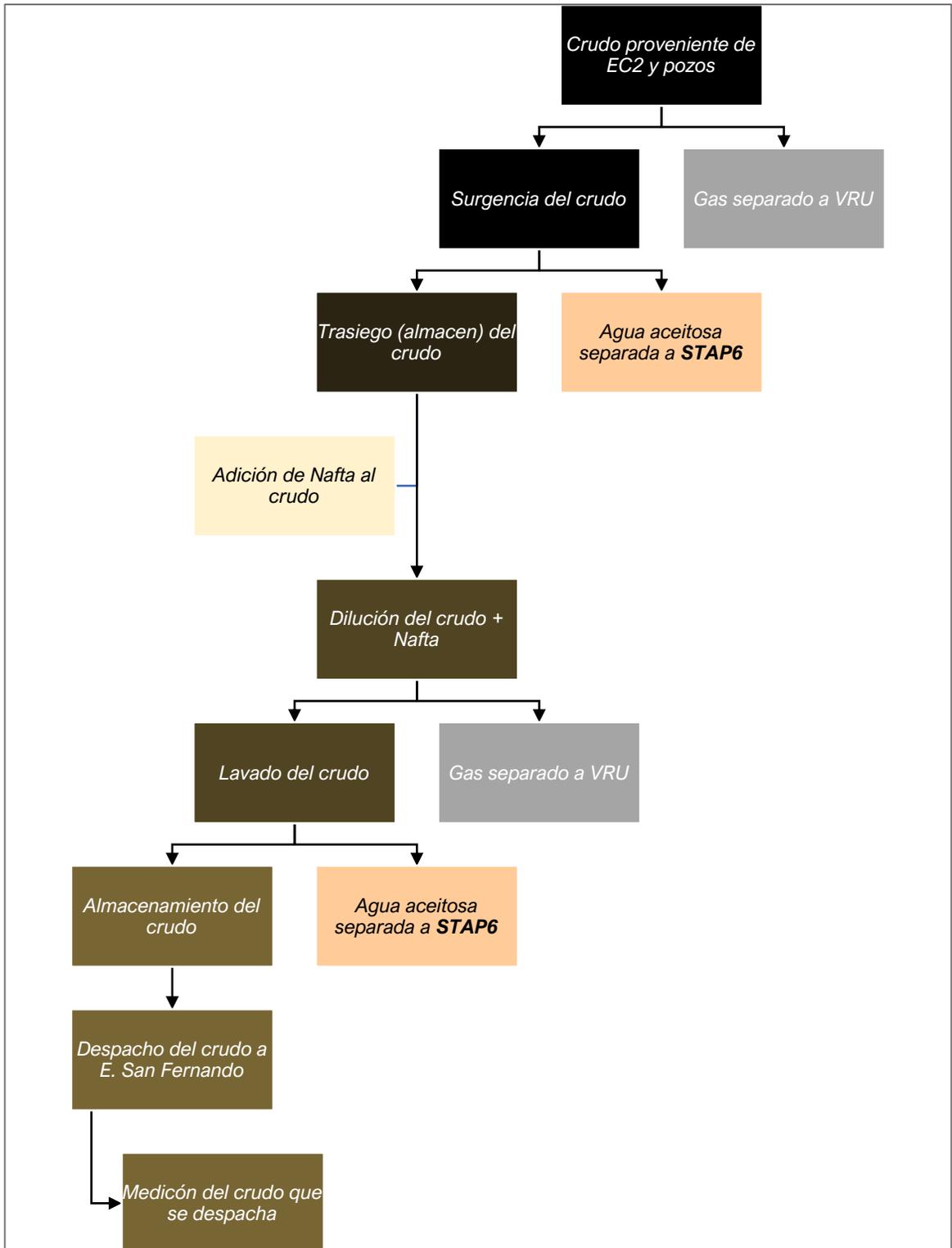
- Filtros de cascara de nuez. Son 13 unidades que operan a la vez, cada filtro es automatizado y auto-limpiante, diseñado para remover aceite del agua proveniente de las celdas de flotación. El agua que entra a la etapa de filtración proviene de las bombas de alimentación de filtros para asegurar un flujo constante que permite el correcto funcionamiento de los filtros. Como se mencionó anteriormente, las bombas de alimentación a filtros de cáscara de nuez se controlan por medio de una válvula de control de nivel localizada a la descarga de las bombas. Un indicador de

flujo se localiza aguas arriba de la válvula de control para monitoreo del flujo saliente de cada celda de flotación. En el PLC, todos los flujos de descarga deben ser totalizadas para calcular y obtener el flujo al que se deben ajustar las bombas. El flujo por bomba se debe ajustar calculando el caudal total descargado por las bombas de alimentación a filtros de cáscara de nuez dividido por el número de filtros de cáscara de nuez en servicio. Después de cierto periodo de tiempo el medio filtrante debe ser limpiado para eliminar aceites y sólidos acumulados durante la filtración. Para esto se realiza una serie de etapas de retrolavado que permiten lavar y estabilizar el medio filtrante. Los retrolavados son enviados al paquete de tratamiento de lodos.

7.2.2. Paquete de lodos. (tratamiento de fluidos secundarios o residuales de las operaciones de clarificación). El sistema de lodos constará de unidades de espesadores y centrífuga que permiten la separación de aceite, agua y sólidos en suspensión presentes en los lodos de CPIs, retrolavados de filtros y desnate de celdas de flotación, producto de los procesos de clarificación en los paquetes de tratamiento de agua de la planta.

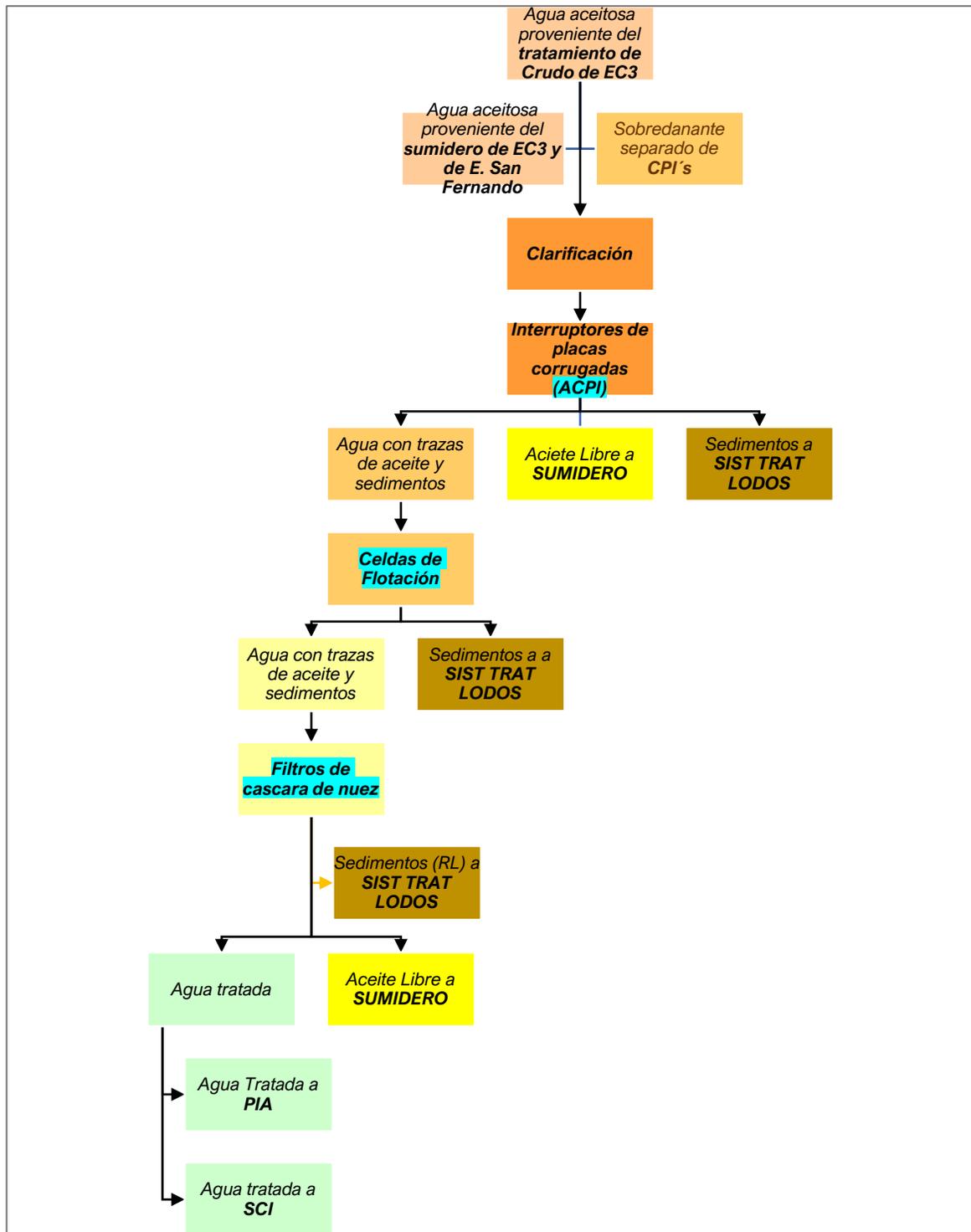
- **Tratamiento de Lodos.** De Los tanques decantadores donde se reciben los lodos de CPIs, sobrenadantes de celdas y retrolavados de filtros cuenta con válvulas automáticas para permitir el retiro de efluente clarificado, desnate y remoción de lodos. Los Tanques de Decantación tienen el fondo inclinado en 30° para aumentar la concentración de lodo. Cada tanque tiene tres líneas de alimentación, donde reciben lodos de los CPI's, agua de retrolavado, aceite desnatado de las celdas de flotación y coagulante de lodos. Por cada línea tiene una válvula neumática; para salida de aceite, para remoción de agua clarificada y una para remoción de lodo. El agua clarificada se retorna a la entrada de las celdas de flotación a través de bombas, los lodos aceitosos se envían hacia los tanques de lodos estos están equipados con agitadores para evitar la sedimentación de los sólidos

Figura 9. Sistema de Tratamiento y transporte de Crudo (EC3)



Fuente: Ecopetrol

Figura 10. Sistema de Tratamiento y Aprovechamiento de Agua de Producción - STAP6- (EC3) -Paquete de Clarificación.



Fuente: Ecopetrol

Figura 11. Ubicación física STPA6 en la planta EC3



Fuente: Ecopetrol

7.2.2.1. Equipos rotativos en STAP6. En el STAP6 se encuentran repartidos la siguiente cantidad de equipos Rotativos:

Tabla 4. Distribución de equipos Rotativos en el STAP6

SISTEMA	SUBSISTEMA	Agitador de tanque	Bomba Cavidad Progressiva	Bomba Centrífuga	Decantador Centrífugo	Reductor de Skimmer	Reductor para agitador	TOTAL
01_PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	01_ACPI		4					4
	01_ACPI_SUMIDERO		2					2
	02_CELDAS FLOTACIÓN		5	5		10	20	40
	03_FILTROS CASCARA NUEZ			13				13
<i>Sub Total</i>			11	18		10	20	59
02_PAQUETE DE LODOS	01_DECANTADORES			6		6		12
	02_TAMBORES		2					2
	03_TRATAMIENTO	2		4	2			8
<i>Sub Total</i>		2	2	10	2	6		22
TOTAL		2	13	28	2	16	20	81

Fuente: El autor.

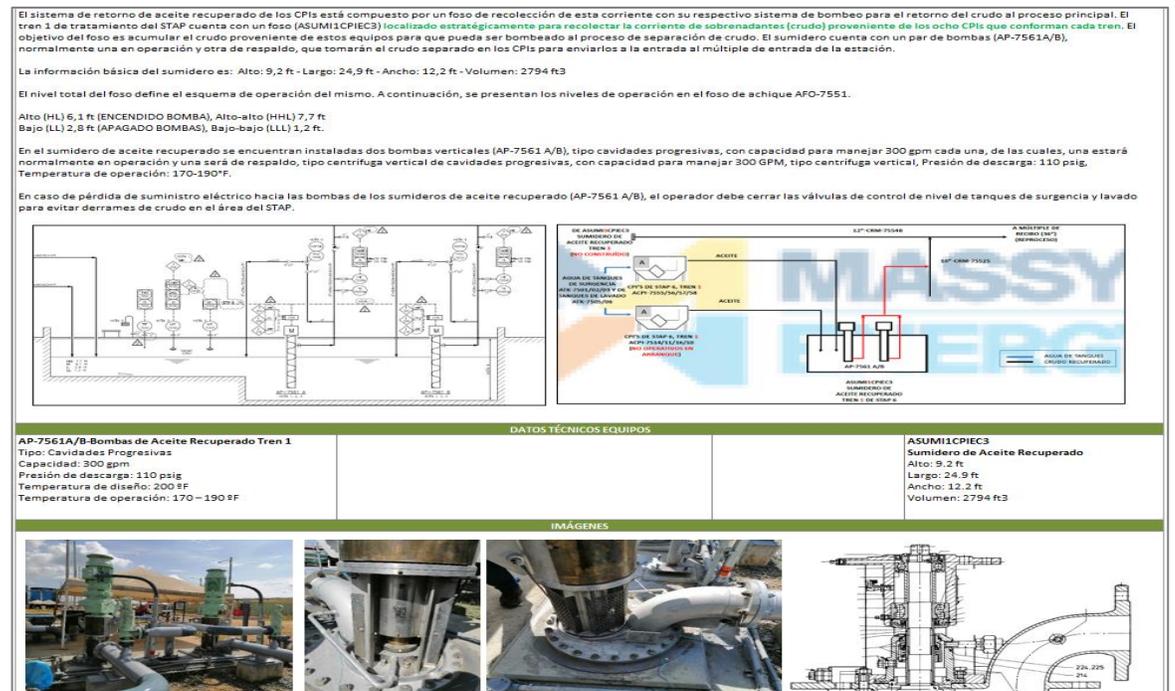
7.2.2.2. Contexto Operacional Equipos rotativos STAP6

Figura 12. 01_Paquete Clarificación / 01_ACPI / Bombas Progresivas



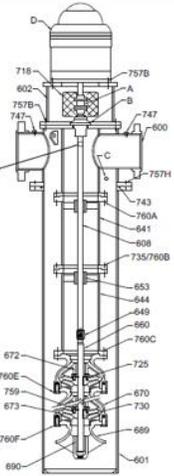
Fuente: El autor.

Figura 13. 01_Paquete Clarificación / 01_ACPI_Sumidero / Bombas Progresivas



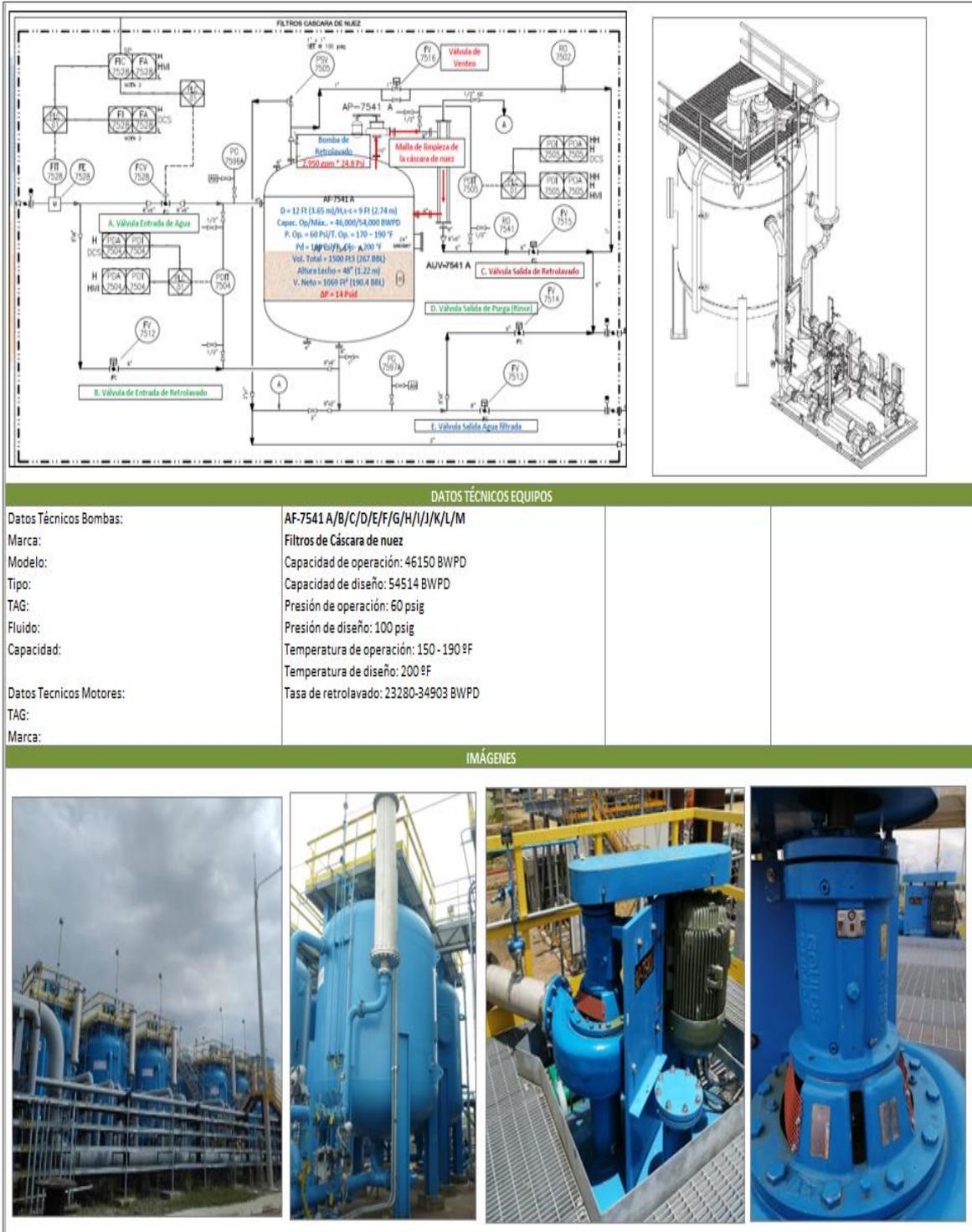
Fuente: El autor.

Figura 14. 01_Paquete Clarificación / 02_Celdas Flotación / Bombas Progresivas / Bombas centrífugas / Reductor Skimmer

DATOS TÉCNICOS EQUIPOS			
Datos Técnicos Bombas: Marca: Modelo: Tipo: TAG: Fluido: Capacidad:	ADA-7551/52/53/54/55 Celdas de Flotación Capacidad de operación: 120000 BWPD Capacidad de diseño: 150000 BWPD Presión de diseño: 0.5 Oz/in ² Temperatura de diseño: 200 °F	AP-7555-1 /56-1/ 57-1/ 58-1/ 59-1 Bombas de Alimentación a los Filtros de cáscara de nuez Tipo: Centrífuga Vertical Caudal: 4375 GPM Presión descarga: 75 psig Potencia del motor: 300 HP @ 1200 rpm NPSH requerido: 12.7 ft.	AP-7555-2/56-2/57-2/58-2/59-2 Bombas de sobrenadantes de celdas Tipo: Cavidades Progresivas Capacidad: 175 gpm Presión de descarga: 75 psig
Datos Técnicos Motores: TAG:			
IMÁGENES			
			
			

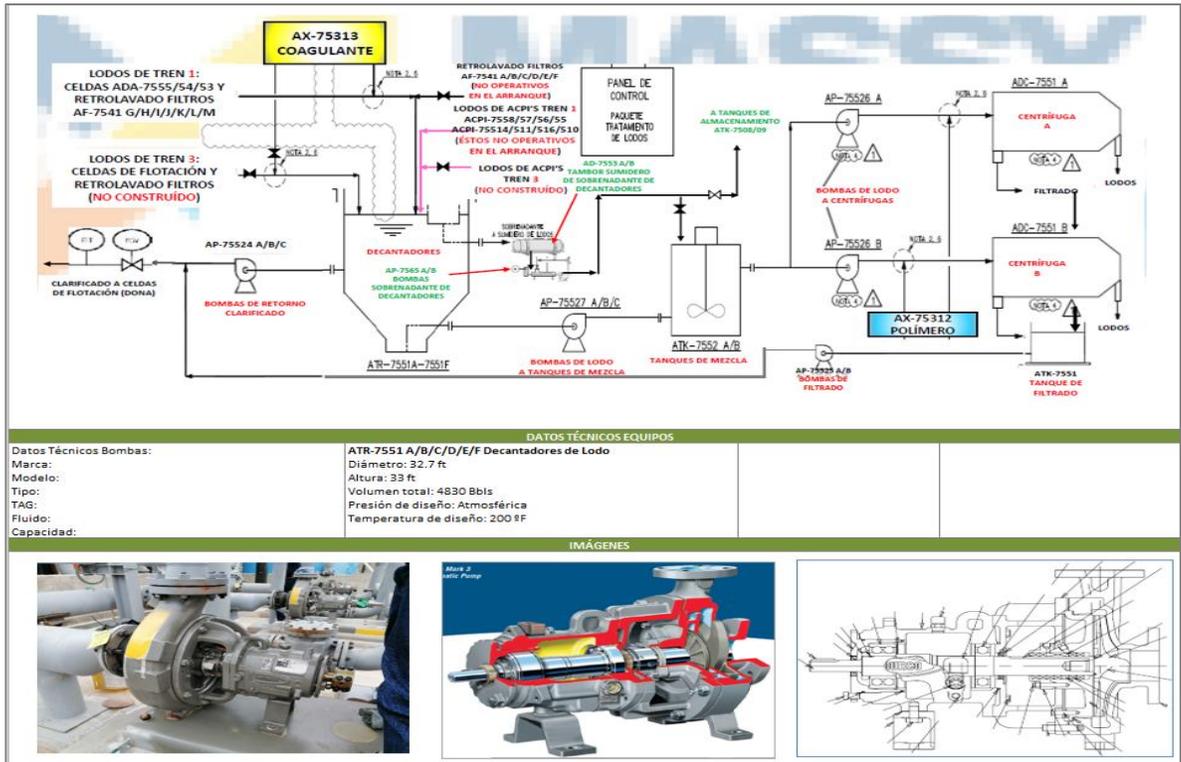
Fuente: El autor.

Figura 15. 01_Paquete Clarificación / 03_Filtros Cascara Nuez / Bombas centrifugas



Fuente: El autor.

Figura 16. 02_Paquete Lodos / 01_Decantadores / Bombas centrifugas



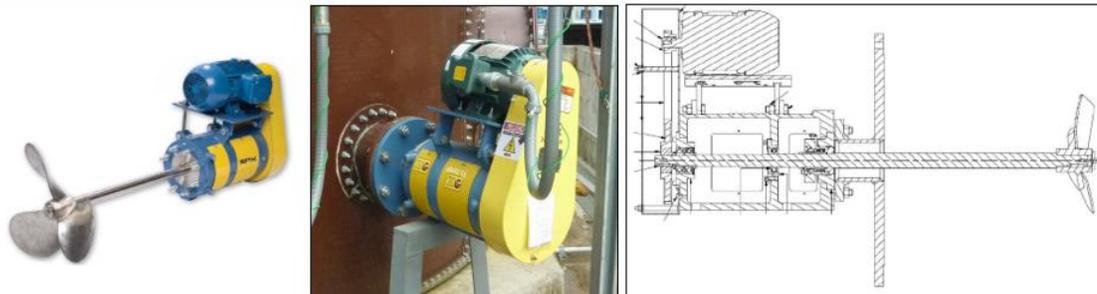
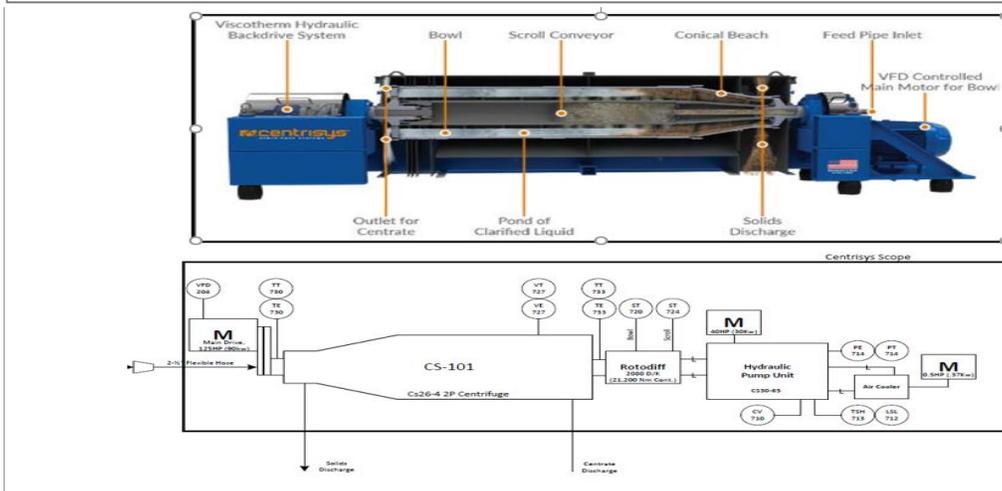
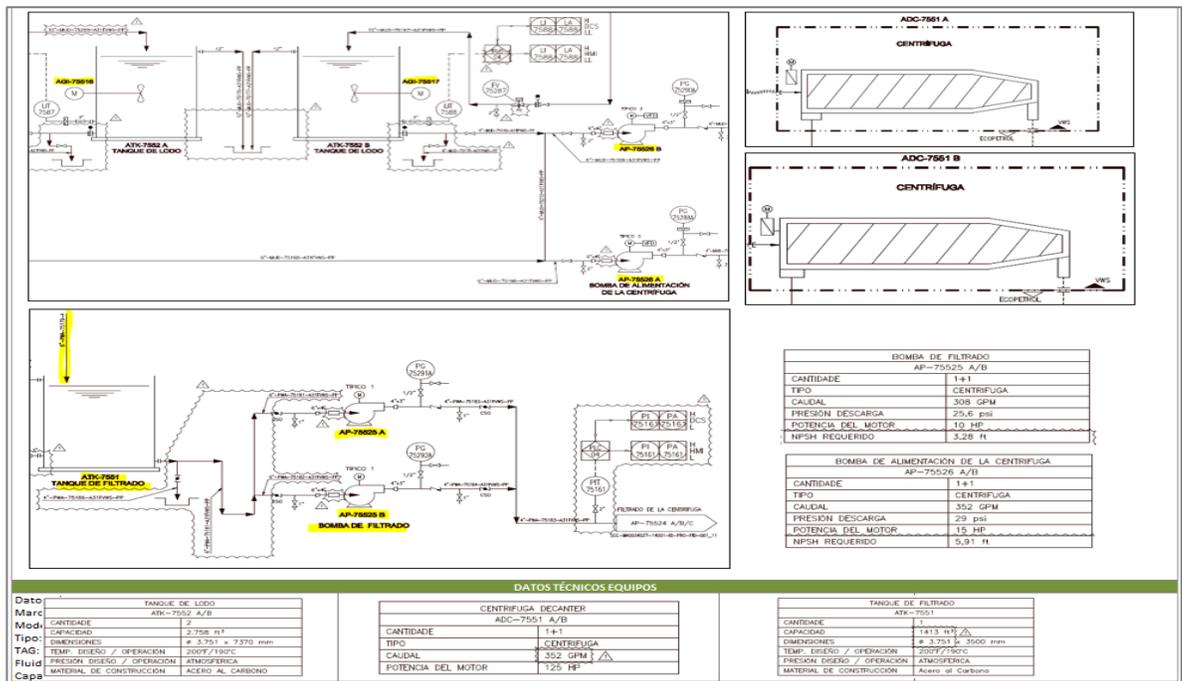
Fuente: El autor.

Figura 17. 02_Paquete Lodos / 02_Tambores / Bombas Progresivas



Fuente: El autor.

Figura 18. 02_Paquete Lodos / 03_Tratamiento / Decantadores centrífugos / Agitadores

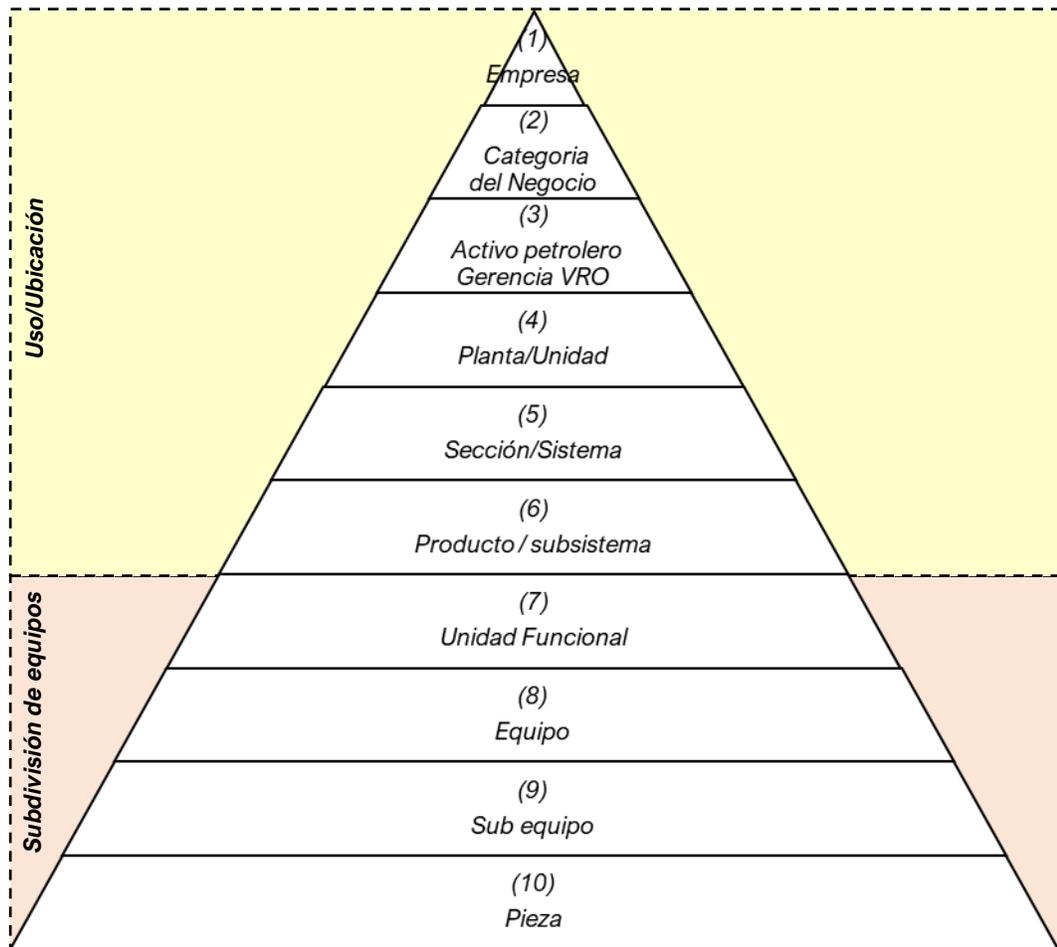


Fuente: El autor.

8. IMPLEMENTACIÓN DE TAXONOMIA

La empresa ECOPETROL S.A. tiene implementado un sistema de taxonomía basado en la norma ISO14224 anteriormente referenciada, su modelo de taxonomía consta de 10 niveles, un nivel más que lo guiado en la norma.

Figura 19. Jerarquización para taxonomía de equipos en ECOPETROL S.A.



Fuente: Ecopetrol

9. IMPLEMENTACIÓN ANÁLISIS DE SEGURIDAD DE PROCESOS

La empresa ECOPETROL S.A. a través del área de Seguridad de Procesos, ha desarrollado un método para la evaluación de criticidad de equipos con la idea de cumplir los siguientes requerimientos¹²:

- Priorizar el manejo del ciclo de vida del equipo y mitigar los riesgos de proceso.
- Priorizar la planeación y la ejecución de los planes de mantenimiento
- Priorizar los planes de Cuidado Básico de Equipos.
- Priorizar los mantenimientos mayores a los mismos

Se tiene un método cualitativo y consta de una clasificación primaria de los equipos por grupos, donde se definen su criticidad (tabla 3) posteriormente el proceso sigue como se muestra en la figura 5 donde se integra el resultado de los análisis de riesgo realizados durante el análisis RCM.

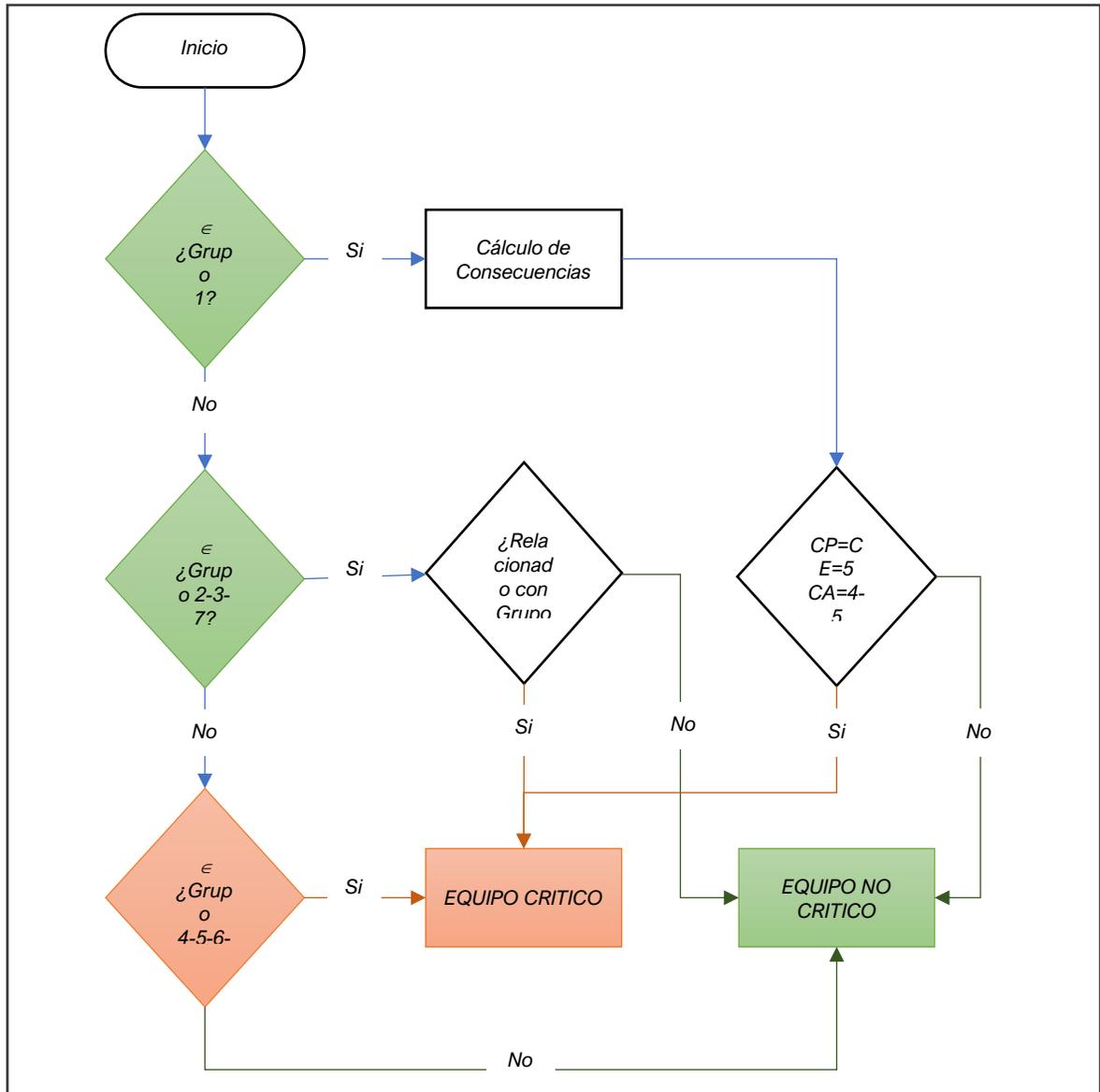
Tabla 5. Agrupación de equipos por criticidad en seguridad.

Grupo de Equipos	Descripción del Grupo	¿Equipo Crítico de Seguridad?
1	Sistemas de contención primaria consistentes de tuberías, vasijas y otros equipos de proceso diseñados para mantener controladas sustancias peligrosas y energías del proceso	NO
2	Equipos que generalmente no contiene una sustancia peligrosa	NO
3	Equipos que garanticen una parada segura.	NO
4	Equipos asociados con la liberación y control de emisiones de sustancias peligrosas fuera de operación normal.	SI
5	Equipos asociados con la detección o respuesta al desfogue o emisión de la sustancia peligrosa.	SI
6	Equipos asociados con la detección o respuesta al desfogue o emisión de la sustancia peligrosa.	SI
7	Protecciones pasivas o equipos que no requieren ser activados para reducir el potencial o minimizar los desfogues o emisiones peligrosas, incendios y explosiones relacionadas con el proceso.	NO
8	Equipos que ayudan a mantener una operación segura. Se refiere al equipo de respaldo eléctrico asociados a instalaciones de proceso.	SI

Fuente: Ecopetrol

¹² Ecopetrol S.A. Cartilla Equipos Críticos.

Figura 20. Método de análisis de criticidad



Fuente: Ecopetrol

10. LISTADO DE EQUIPOS ROTATIVOS STAP6

A continuación, se relacionan los equipos rotativos pertenecientes al STAP6, con sus respectiva taxonomía y valoración de criticidad.

Tabla 6. Relación de equipos rotativos STAP6

TAXONOMÍA. (desde nivel 7)	SISTEMA	SUBSISTEMA	No.	EQUIPOS	CRITICIDAD
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7553A	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI Bombas de lodos de ACPI	1	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7553B	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI Bombas de lodos de ACPI	2	Bomba Cavidad Progresiva AP7553B SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7554A	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI Bombas de lodos de ACPI	3	Bomba Cavidad Progresiva AP7554A SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7554B	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI Bombas de lodos de ACPI	4	Bomba Cavidad Progresiva AP7554B SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7555-1	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	5	Bomba Centrífuga Vertical AP7555-1 SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7555-2	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	6	Bomba Cavidad Progresiva AP7555-2 SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7556-1	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	7	Bomba Centrífuga Vertical AP7556-1 SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7556-2	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	8	Bomba Cavidad Progresiva AP7556-2 SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7557-1	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	9	Bomba Centrífuga Vertical AP7557-1 SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7557-2	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	10	Bomba Cavidad Progresiva AP7557-2 SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7558-1	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	11	Bomba Centrífuga Vertical AP7558-1 SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7558-2	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	12	Bomba Cavidad Progresiva AP7558-2 SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7559-1	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	13	Bomba Centrífuga Vertical AP7559-1 SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-AP7559-2	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	14	Bomba Cavidad Progresiva AP7559-2 SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
#/N/A	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	15	Reduc Agitador AGI7551A De ADA7551 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
#/N/A	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	16	Reduc Agitador AGI7551B De ADA7551 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
#/N/A	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	17	Reduc Agitador AGI7551C De ADA7551 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
#/N/A	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	18	Reduc Agitador AGI7551D De ADA7551 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-ADA7551	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	19	Reduc Skimmer ASK7551A De ADA7551 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-ADA7551	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	20	Reduc Skimmer ASK7551B De ADA7551 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
#/N/A	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	21	Reduc Agitador AGI7552A De ADA7552 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
#/N/A	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	22	Reduc Agitador AGI7552B De ADA7552 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
#/N/A	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	23	Reduc Agitador AGI7552C De ADA7552 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
#/N/A	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	24	Reduc Agitador AGI7552D De ADA7552 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-AGUR-ADA7552	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	Celdas de flotación ADA-7551/52/53/54/55 Bombas de sobrenadantes de celdas Bombas de Alimentación Filtros de cáscara de nuez	25	Reduc Skimmer ASK7552A De ADA7552 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP

TAXONOMIA. (desde nivel 7)	SISTEMA	SUBSISTEMA	No.	EQUIPOS	CRITICIDAD
CAS-CEC3-USRE-CRUD-AP7561A	STAP	Retorno de Aceite Recuperado de CPIs ASUMI1CPIEC3 Foso de recolección aceite recuperado CPIs	58	Bomba Cavidad Progresiva AP7561A SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-USRE-CRUD-AP7561B	STAP	Retorno de Aceite Recuperado de CPIs ASUMI1CPIEC3 Foso de recolección aceite recuperado CPIs	59	Bomba Cavidad Progresiva AP7561B SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-SFIL-AGUR-ATR7551A	PAQUETE DE LODOS	Decantadores de Lodo ATR-7551 A/B/C/D/E/F Reductores ASK75516 A/B/C/D/E/F AP-75524 A/B/C bombas de retorno a clarificado AP-75527 A/B/C bombas de lodo	60	Redu Skimmer ASK75516A De ATR7551A SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-SFIL-AGUR-ATR7551B	PAQUETE DE LODOS	Decantadores de Lodo ATR-7551 A/B/C/D/E/F Reductores ASK75516 A/B/C/D/E/F AP-75524 A/B/C bombas de retorno a clarificado AP-75527 A/B/C bombas de lodo	61	Redu Skimmer ASK75516B De ATR7551B SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-SFIL-AGUR-ATR7551C	PAQUETE DE LODOS	Decantadores de Lodo ATR-7551 A/B/C/D/E/F Reductores ASK75516 A/B/C/D/E/F AP-75524 A/B/C bombas de retorno a clarificado AP-75527 A/B/C bombas de lodo	62	Redu Skimmer ASK75516C De ATR7551C SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-SFIL-AGUR-ATR7551D	PAQUETE DE LODOS	Decantadores de Lodo ATR-7551 A/B/C/D/E/F Reductores ASK75516 A/B/C/D/E/F AP-75524 A/B/C bombas de retorno a clarificado AP-75527 A/B/C bombas de lodo	63	Redu Skimmer ASK75516D De ATR7551D SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-SFIL-AGUR-ATR7551E	PAQUETE DE LODOS	Decantadores de Lodo ATR-7551 A/B/C/D/E/F Reductores ASK75516 A/B/C/D/E/F AP-75524 A/B/C bombas de retorno a clarificado AP-75527 A/B/C bombas de lodo	64	Redu Skimmer ASK75516E De ATR7551E SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-SFIL-AGUR-ATR7551F	PAQUETE DE LODOS	Decantadores de Lodo ATR-7551 A/B/C/D/E/F Reductores ASK75516 A/B/C/D/E/F AP-75524 A/B/C bombas de retorno a clarificado AP-75527 A/B/C bombas de lodo	65	Redu Skimmer ASK75516F De ATR7551F SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-SFIL-AGUR-AP75524A	PAQUETE DE LODOS	Decantadores de Lodo ATR-7551 A/B/C/D/E/F Reductores ASK75516 A/B/C/D/E/F AP-75524 A/B/C bombas de retorno a clarificado AP-75527 A/B/C bombas de lodo	66	Bomba Centrífuga AP75524A SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-SFIL-AGUR-AP75524B	PAQUETE DE LODOS	Decantadores de Lodo ATR-7551 A/B/C/D/E/F Reductores ASK75516 A/B/C/D/E/F AP-75524 A/B/C bombas de retorno a clarificado AP-75527 A/B/C bombas de lodo	67	Bomba Centrífuga AP75524B SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-SFIL-AGUR-AP75524C	PAQUETE DE LODOS	Decantadores de Lodo ATR-7551 A/B/C/D/E/F Reductores ASK75516 A/B/C/D/E/F AP-75524 A/B/C bombas de retorno a clarificado AP-75527 A/B/C bombas de lodo	68	Bomba Centrífuga AP75524C SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-SFIL-LODO-AP75527A	PAQUETE DE LODOS	Decantadores de Lodo ATR-7551 A/B/C/D/E/F Reductores ASK75516 A/B/C/D/E/F AP-75524 A/B/C bombas de retorno a clarificado AP-75527 A/B/C bombas de lodo	69	Bomba Centrífuga AP75527A SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-SFIL-LODO-AP75527B	PAQUETE DE LODOS	Decantadores de Lodo ATR-7551 A/B/C/D/E/F Reductores ASK75516 A/B/C/D/E/F AP-75524 A/B/C bombas de retorno a clarificado AP-75527 A/B/C bombas de lodo	70	Bomba Centrífuga AP75527B SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-SFIL-LODO-AP75527C	PAQUETE DE LODOS	Decantadores de Lodo ATR-7551 A/B/C/D/E/F Reductores ASK75516 A/B/C/D/E/F AP-75524 A/B/C bombas de retorno a clarificado AP-75527 A/B/C bombas de lodo	71	Bomba Centrífuga AP75527C SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-USRE-CRUD-AP7565A	PAQUETE DE LODOS	AD-7553A/B Tambores Sumidero de Sobrenadante de Decantadores	72	Bomba Cavidad Progresiva AP7565A SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-USRE-CRUD-AP7565B	PAQUETE DE LODOS	AD-7553A/B Tambores Sumidero de Sobrenadante de Decantadores	73	Bomba Cavidad Progresiva AP7565B SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-LODO-ATK7552A	PAQUETE DE LODOS	Tratamiento de Lodos ATK-7552 A/B	74	Agitador Tanque Homogenei AGI75516 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-LODO-ATK7552B	PAQUETE DE LODOS	Tratamiento de Lodos ATK-7552 A/B	75	Agitador Tanque Homogenei AGI75517 SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-LODO-AP75526A	PAQUETE DE LODOS	Tratamiento de Lodos ATK-7552 A/B	76	Bomba Centrífuga AP75526A SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-LODO-AP75526B	PAQUETE DE LODOS	Tratamiento de Lodos ATK-7552 A/B	77	Bomba Centrífuga AP75526B SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-LODO-ADC7551A	PAQUETE DE LODOS	Tratamiento de Lodos -Centrifugas ADC-7551 A/B	78	Decantador Centrifugo Lodos ADC7551A SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-LODO-ADC7551B	PAQUETE DE LODOS	Tratamiento de Lodos -Centrifugas ADC-7551 A/B	79	Decantador Centrifugo Lodos ADC7551B SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-LODO-AP75525A	PAQUETE DE LODOS	Tratamiento de Lodos -Centrifugas ADC-7551 A/B	80	Bomba Centrífuga AP75525A SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-STRA-LODO-AP75525B	PAQUETE DE LODOS	Tratamiento de Lodos -Centrifugas ADC-7551 A/B	81	Bomba Centrífuga AP75525B SP6	GRUPO 1 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP7538A	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	82	Bomba De Diafragma AP7538A SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP7538B	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	83	Bomba De Diafragma AP7538B SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP7538C	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	84	Bomba De Diafragma AP7538C SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP7538D	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	85	Bomba De Diafragma AP7538D SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP

TAXONOMIA. (desde nivel 7)	SISTEMA	SUBSISTEMA	No.	EQUIPOS	CRITICIDAD
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP7538E	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	86	Bomba Diafragma Respaldo AP7538E SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP7539A	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	87	Bomba De Diafragma AP7539A SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP7539B	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	88	Bomba De Diafragma AP7539B SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-ATQ75310A	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	89	Agitador AGI75310A De ATQ75310A SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-ATQ75310B	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	90	Agitador AGI75310B De ATQ75310B SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75310A	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	91	Bomba De Diafragma AP75310A SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75310B	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	92	Bomba De Diafragma AP75310B SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75310C	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	93	Bomba De Diafragma AP75310C SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75310D	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	94	Bomba De Diafragma AP75310D SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75310E	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	95	Bomba De Diafragma Respe AP75310E SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75310F	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	96	Bomba De Diafragma AP75310F SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75310G	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	97	Bomba De Diafragma AP75310G SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75310H	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	98	Bomba De Diafragma AP75310H SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75310I	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	99	Bomba De Diafragma AP75310I SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75310J	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	100	Bomba De Diafragma Respe AP75310J SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75311A	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	101	Bomba De Diafragma AP75311A SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75311B	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	102	Bomba De Diafragma AP75311B SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-ATQ75312A	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	103	Agitador AGI75312A De ATQ75312A SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-ATQ75312B	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	104	Agitador AGI75312B De ATQ75312B SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75312A	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	105	Bomba De Diafragma AP75312A SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75312B	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	106	Bomba De Diafragma AP75312B SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75312C	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	107	Bomba De Diafragma AP75312C SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75313A	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	108	Bomba De Diafragma AP75313A SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75313B	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	109	Bomba De Diafragma AP75313B SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP
CAS-CEC3-INYE-QUII-AP75313C	INYECCION DE QUIMICOS	Inyección de Químicos	110	Bomba De Diafragma AP75313C SP6	GRUPO 0 NO CRITICO ASP NO CRITICO DISP

Fuente: Ecopetrol

De la tabla anterior se puede concluir que de los 110 equipos rotativos no hay equipos críticos de seguridad ni tampoco equipos críticos por disponibilidad operativa.

11. IMPLEMENTACIÓN DEL RCM

11.1. IMPLEMENTACIÓN DEL FMEA

A continuación, se muestra la plantilla FMEA del equipo No.1 y 2, los cuales tienen las mismas características técnicas, las mismas condiciones de operación, están en el mismo subsistema y tienen la misma función.

Tabla 7. FMEA 01_Paquete Clarificación / 01_ACPI / Bomba Progresiva AP7553A/B

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	SUB SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO MANTENIBLE	DESCRIPCIÓN AMPLIADA DE MODO FALLA	EFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	CAUSA DE FALLA
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN <u>Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI</u>	CPIs	Separación primaria del agua de producción el aceite libre, las grasas y los sólidos suspendidos a través de un proceso de separación física por diferencia de densidades. Enviar la fase aceitosa hacia el sumidero ASUM1CPIEC3. Bombear el agua con trazas de aceite y sólidos hacia las celdas de flotación. Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	No realizar separación primaria del agua de producción.	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A/B	N/A	N/A	N/A
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN <u>Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI</u>	CPIs	Separación primaria del agua de producción el aceite libre, las grasas y los sólidos suspendidos a través de un proceso de separación física por diferencia de densidades. Enviar la fase aceitosa hacia el sumidero ASUM1CPIEC3. Bombear el agua con trazas de aceite y sólidos hacia las celdas de flotación. Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	No enviar fase aceitosa hacia ASUM1CPIEC3	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A/B	N/A	N/A	N/A
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN <u>Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI</u>	CPIs	Separación primaria del agua de producción el aceite libre, las grasas y los sólidos suspendidos a través de un proceso de separación física por diferencia de densidades. Enviar la fase aceitosa hacia el sumidero ASUM1CPIEC3. Bombear el agua con trazas de aceite y sólidos hacia las celdas de flotación. Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	No Bombear el agua hacia las celdas de flotación.	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A/B	N/A	N/A	N/A
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN <u>Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI</u>	CPIs	Separación primaria del agua de producción el aceite libre, las grasas y los sólidos suspendidos a través de un proceso de separación física por diferencia de densidades. Enviar la fase aceitosa hacia el sumidero ASUM1CPIEC3. Bombear el agua con trazas de aceite y sólidos hacia las celdas de flotación. Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	No Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A/B	Obstrucción de la bomba	Mayor probabilidad de operación del CPI en condición de alto nivel (H/HH). Se requiere realizar inspección y limpieza de la succión. Entrada en operación del standby.	Fluido Contaminado

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	SUB SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO MANTENIBLE	DESCRIPCIÓN AMPLIADA DE MODO FALLA	EFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	CAUSA DE FALLA
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN <u>Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI</u>	CPIs	Separación primaria del agua de producción el aceite libre, las grasas y los sólidos suspendidos a través de un proceso de separación física por diferencia de densidades. Enviar la fase aceitosa hacia el sumidero ASUM1CPIEC3. Bombear el agua con trazas de aceite y sólidos hacia las celdas de flotación. Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	No Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A/B	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Mayor probabilidad de operación del CPI en condición de alto nivel (H/HH). Se requiere realizar inspección y limpieza de la succión. Entrada en operación del standby.	Desgaste por vida útil
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN <u>Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI</u>	CPIs	Separación primaria del agua de producción el aceite libre, las grasas y los sólidos suspendidos a través de un proceso de separación física por diferencia de densidades. Enviar la fase aceitosa hacia el sumidero ASUM1CPIEC3. Bombear el agua con trazas de aceite y sólidos hacia las celdas de flotación. Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	No Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A/B	Daño Sello Mecánico	Fuga de fluido en área de las bombas. Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de sello Mecánico	Desalineación de ejes
							Desgaste Sello Mecánico
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN <u>Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI</u>	CPIs	Separación primaria del agua de producción el aceite libre, las grasas y los sólidos suspendidos a través de un proceso de separación física por diferencia de densidades. Enviar la fase aceitosa hacia el sumidero ASUM1CPIEC3. Bombear el agua con trazas de aceite y sólidos hacia las celdas de flotación. Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	No Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A/B	Daño Rodamientos	Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de rodamiento de empuje de la bomba.	Cumplimiento vida útil
							Degradación de la grasa
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN <u>Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI</u>	CPIs	Separación primaria del agua de producción el aceite libre, las grasas y los sólidos suspendidos a través de un proceso de separación física por diferencia de densidades. Enviar la fase aceitosa hacia el sumidero ASUM1CPIEC3. Bombear el agua con trazas de aceite y sólidos hacia las celdas de flotación. Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	No Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A/B	Rotura de Acople	Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de acople de la bomba.	Desalineación de ejes
							Cumplimiento vida útil
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN <u>Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI</u>	CPIs	Separación primaria del agua de producción el aceite libre, las grasas y los sólidos suspendidos a través de un proceso de separación física por diferencia de densidades. Enviar la fase aceitosa hacia el sumidero ASUM1CPIEC3. Bombear el agua con trazas de aceite y sólidos hacia las celdas de flotación. Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	No Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A/B	Atascamiento Reductor de Velocidad	Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere mantenimiento gear box	Cumplimiento vida útil
							Deficiente lubricación

Fuente: El autor.

11.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS Y DE LAS CONSECUENCIAS

Continuando con el desarrollo del RCM, ahora se realiza el análisis de Riesgos y Consecuencias para los modos de falla identificados en los equipos muestra que se analizaron en el FMEA.

La metodología de cálculo de Riesgo implementado por ECOPETROL S.A. se basa en la siguiente matriz:

Figura 21. Matriz de Evaluación de Riesgos

CONSECUENCIAS					No ha ocurrido en la industria	Ha ocurrido en la Empresa o en la industria	Ha ocurrido en la Empresa en los últimos 10 años	Sucede varias veces al año en la Empresa. De probable ocurrencia en un lapso entre 1 y 5 años	Sucede varias veces al año en el Departamento*. Puede ocurrir en el transcurso de año	
CATEGORÍAS					GRAVEDAD	PROBABILIDAD				
PERSONAS	ECONÓMICA (USDs)	AMBIENTAL	CLIENTES	REPUTACIÓN		A	B	C	D	E
Una o Más Fataidades de trabajadores ó o Incapacidades permanentes a personal de la comunidad	Mayor a 10 Millones	Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad Permanente (Total o Parcial) de trabajadores ó Incapacidad temporal de personal de la comunidad	Mayor a 1 Millon y Menor o Igual a 10 Millones	Importante	Pérdida de clientes de mercado sensible o prioritario	Nacional y con rechazo de un grupo de interés	4	L	M	M	H	H
Incapacidad Temporal (Mayor o Igual a 1 Día) de trabajadores y hospitalización en centros asistenciales de personal de la comunidad	Mayor a 100,000 y Menor o Igual a 1 Millon	Localizada	Desabastecimiento y/o Pérdida de Clientes	Nacional y sin rechazo de un grupo de interés	3	N	L	M	M	H
Lesión Menor (Sin Incapacidad) en trabajadores ó Primeros auxilios, sin hospitalización a personal de la comunidad	Mayor a 10,000 y Menor o Igual a 1 00.000	Menor	Quejas y/o Reclamos	Nacional y baja importancia	2	N	N	L	M	M
Lesión Leve de trabajadores (Primeros Auxilios)	Menor a 10.000	Leve	Incumplimiento de Especificaciones solucionado	Local y baja importancia	1	N	N	N	L	L
Sin Lesión	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	0	N	N	N	N	N

*Donde no existe un Departamento, se toma la Gerencia

Fuente: Ecopetrol.

Para cada modo de falla se hace:

- Para cada aspecto, Personas, Económica, Ambiental, Clientes y Reputación se hace la estimación de los riesgos.
- Se estima la gravedad de la consecuencia entre 0 – 5 (Eje y)
- Se estima la probabilidad A – E (Eje x)

- El cruce de estos valores en la Matriz da como resultado el Riesgo, que puede ser Nulo (N), **Bajo (L)**, **Medio (M)**, **Alto (H)** y **Muy Alto (VH)**
- Posteriormente el valor resultado del riesgo se reclasifica en valores numéricos entre 1-4 para todos los aspectos
- De esos valores numéricos se escoge el mayor y se vuelve a clasificar en Nulo (N), **Bajo (L)**, **Medio (M)**, **Alto (H)** y **Muy Alto (VH)**

Ahora para cada equipo

- Se toma el valor máximo del riesgo obtenido en la segunda clasificación de los modos de falla.
- De esos valores numéricos se escoge el mayor y se vuelve a clasificar en Nulo (N), **Bajo (L)**, **Medio (M)**, **Alto (H)** y **Muy Alto (VH)**. Ese es el valor de Riesgo del equipo.

Tabla 8. Relación de valores en Matriz de Riesgos

CONSECUENCIA	PROBABILIDA	RAM	RIESGO	RIESGO EN NUM	RECL. RIESGO
5	A	5A	M	3	M
5	B	5B	M	3	M
5	C	5C	H	4	H
5	D	5D	H	4	H
5	E	5E	VH	5	VH
4	A	4A	L	2	L
4	B	4B	M	3	M
4	C	4C	M	3	M
4	D	4D	H	4	H
4	E	4E	H	4	H
3	A	3A	N	1	N
3	B	3B	L	2	L
3	C	3C	M	3	M
3	D	3D	M	3	M
3	E	3E	H	4	H
2	A	2A	N	1	N
2	B	2B	N	1	N
2	C	2C	L	2	L
2	D	2D	M	2	M
2	E	2E	M	3	M
1	A	1A	N	1	N
1	B	1B	N	1	N
1	C	1C	N	1	N
1	D	1D	L	2	L
1	E	1E	L	2	L
0	A	0A	N	1	N
0	B	0B	N	1	N
0	C	0C	N	1	N
0	D	0D	N	1	N
0	E	0E	N	1	N

Fuente: Ecopetrol

Tabla 9. Desarrollo de la evaluación de Riesgos en sus modos de falla Bombas Cavidad Progressiva AP7553A/B

COD. MODO FALLA	MODOS DE FALLA	DESCRIPCION MODO DE FALLA	Personas				Económica				Ambiental				Clientes				Imagen				Mayor	Riesgo Personas	Riesgo Económica	Riesgo Ambiental	Riesgo Clientes	Riesgo Imagen	Riesgo Mayor	Riesgo Personas	Riesgo Económica	Riesgo Ambiental	Riesgo Clientes	Riesgo Imagen	Riesgo Mayor RAM	RIESGO EQUIPO	Riesgo Mayor Equipo	Consecuencia							
			Consecuencia	Probabilidad	RAM	Riesgo	Consecuencia	Probabilidad	RAM	Riesgo	Consecuencia	Probabilidad	RAM	Riesgo	P(Núm.)	E(Núm.)	P(Núm.)	P(Núm.)	P(Núm.)	Riesgo (Núm.)	RAM	RAM	RAM	RAM	RAM	RAM	Riesgo (Núm.)	RAM	Nivel																
LOO	Salida baja	Obstrucción de la bomba	1	D	P1D	L	1	D	P1D	L	0	D	P0D	N	0	D	P0D	N	0	D	P0D	N	1	2	2	1	1	1	2	P1D	P1D	P0D	P0D	P0D	P0D	L									
LOO	Salida baja	Desgaste de componentes internos de la bomba.	1	D	P1D	L	2	D	P2D	M	0	D	P0D	N	0	D	P0D	N	0	D	P0D	N	2	2	3	1	1	1	3	P1D	P2D	P0D	P0D	P0D	P0D	M									
ELP	Fuga externa de medio de proceso	Daño Sello Mecánico	1	D	P1D	L	1	D	P1D	L	0	D	P0D	N	0	D	P0D	N	0	D	P0D	N	1	2	2	1	1	1	2	P1D	P1D	P0D	P0D	P0D	P0D	L									
FRO	No rota	Daño Rodamientos	1	D	P1D	L	1	D	P1D	L	0	D	P0D	N	0	D	P0D	N	0	D	P0D	N	1	2	2	1	1	1	2	P1D	P1D	P0D	P0D	P0D	P0D	L									
FRO	No rota	Rotura de Acople	1	D	P1D	L	1	D	P1D	L	0	D	P0D	N	0	D	P0D	N	0	D	P0D	N	1	2	2	1	1	1	2	P1D	P1D	P0D	P0D	P0D	P0D	L									
FRO	No rota	Atascamiento Reductor de Velocidad	1	D	P1D	L	1	D	P1D	L	0	D	P0D	N	0	D	P0D	N	0	D	P0D	N	1	2	2	1	1	1	2	P1D	P1D	P0D	P0D	P0D	P0D	L									
																											3	M	2																

Fuente: El autor.

11.3. CALCULO DE CONSECUENCIAS

Para determinar con más precisión las consecuencias de los efectos de falla a nivel financiero ECOPETROL S.A. implementa la siguiente metodología:

Tabla 10. Cálculo de Consecuencias US\$ / año. Bombas Cabo. Progresiva AP7553A/B

COD. MODO FALLA	MODOS DE FALLA	DESCRIPCION AMPLIADA	EFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	Datos parámetros perdidas Producción		Datos parámetros perdidas Mantenimiento		Cálculo del costo			
				Barriles/día	Costo USD/Barril	Tasa de falla por año (sin mantenimiento)	Tiempo para reparar (Horas)	Costo Total del impacto en producción (USD\$)	Costo de Reparación [(MO + repuestos) + Otros] (USD\$)	Costo de la falla sin mantenimiento (USD\$) /AÑO	IMPACTO TOTAL SIN MANTTO (USD)/AÑO
LOO	Salida baja	Obstrucción de la bomba	Mayor probabilidad de operación en condición de alto nivel Se requiere realizar inspección y limpieza de la succión. Entrada en operación del standby.	0	40	0,50	9	-N/A	180	90	1.184
LOO	Salida baja	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Mayor probabilidad de operación en condición de alto nivel (H/HH). Se requiere realizar reparación de la bomba	0	40	0,30	19	-N/A	380	114	
ELP	Fuga externa de medio de proceso	Daño Sello Mecánico	Fuga de fluido en área de las bombas. Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de sello Mecánico	0	40	0,50	7	-N/A	140	70	
FRO	No rota	Daño Rodamientos	Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de rodamientos de la bomba.	0	40	0,50	7	-N/A	140	70	
FRO	No rota	Rotura de Acople	Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de acople de la bomba.	0	40	0,50	7	-N/A	540	270	
FRO	No rota	Atascamiento Reductor de Velocidad	Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere mantenimiento gear box	0	40	0,50	7	-N/A	1.140	570	

Fuente: El autor.

11.4. IMPLEMENTACIÓN DEL ARBOL LOGICO DE DESICIÓN

Posterior a la evaluación del riesgo y las consecuencias financieras, se debe desarrollar el árbol de decisión con base en RCM, para lo cual retomamos la tabla 6 del desarrollo del FMEA. Dentro del árbol de decisiones se tienen las siguientes estrategias y disciplinas de mantenimiento para implementar:

Tabla 11. Parámetros establecidos para el árbol de decisión.

Parámetro	Descripción
Estrategias de Mantenimiento	P01=PVO Intrusivo (Mantenimiento Preventivo)
	P03=PVO Cuidado Básico BEC (Mantenimiento del operador)
	P06=PVO Monitoreo de Condiciones (Mantenimiento por condición / Inspecciones)
Equipo Tecnico	MEC (Cuadrilla de técnicos Mecánicos)
	OPE (Operadores)
	CBM (Tecnico de medición de Vibraciones y Termografía y Aceites)
Frecuencias de Mantenimiento (Días)	1 (Diario)
	7 (Semanal)
	30 (Mensual)
	90 (Trimestral)
	120 (Cuatrimestral)
	180 (Semestral)
	360 (Anual)
	720 (Bianual)
Documentos requeridos	Resultados FMEA
	Evaluación de Riesgos y Consecuencias
	Contexto operativo de los equipos / sistemas / planta
	Dosieres / Filosofías operativas / Manuales O&M
	Retroalimentación del equipo de la planta y expertos

Fuente: Ecopetrol

De este desarrollo, el resultado será la Estrategia de Mantenimiento requerida para los equipos.

Tabla 12. Desarrollo del árbol lógico de Decisión. Bombas Cavidad Progresiva AP7553A/B

COD. MODO	MODOS DE FALLA	DESCRIPCION AMPLIADA	EFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	CAUSA DE FALLA	CLASE DE ACTIVIDAD MANTENIM.	TAREA DE MANTENIMIENTO	DURACIÓN [HH]	CANTIDAD PERSONAS	HH	GRUPO TECNICO	FRECUENCIA [DIAS]
LOO	Salida baja	Obstrucción de la bomba	Mayor probabilidad de operación en condición de alto nivel Se requiere realizar inspección y limpieza de la succión. Entrada en operación del standby.	Fluido Contaminado	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificar presión de descarga, reportar en caso de presentarse una reducción de un 70% de la presión normal de operación.	0,1	1	0,1	OPE	1
LOO	Salida baja	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Mayor probabilidad de operación en condición de alto nivel (H/HH). Se requiere realizar reparación de la bomba	Desgaste por vida útil	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	2	1	2	CBM	90
ELP	Fuga externa de medio de proceso	Daño Sello Mecánico	Fuga de fluido en área de las bombas. Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de sello Mecánico	Desalineación de ejes	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	0	1	0	CBM	90
				Desgaste Sello Mecánico	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Inspección visual para Identificar fugas excesivas en el Sello Mecánico de la bomba.	0,1	1	0,1	OPE	1
FRO	No rota	Daño Rodamientos	Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de rodamientos de la bomba.	Cumplimiento vida útil	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	0	1	0	CBM	90
				Degradación de la grasa	P01=PVO Intrusivo	Cambiar grasa de la caja de rodamientos de la bomba	1	1	1	MEC	0
FRO	No rota	Rotura de Acople	Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de acople de la bomba.	Desalineación de ejes	P01=PVO Intrusivo	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible.	0,5	1	0,5	MEC	180
				Cumplimiento vida útil	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	0	1	0	CBM	90
FRO	No rota	Atascamiento Reductor de Velocidad	Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere mantenimiento gear box	Cumplimiento vida útil	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	0	1	0	CBM	90
				Deficiente lubricación	P01=PVO Intrusivo	Realizar cambio de aceite Gear Box (iso vg 220)	2	1	2	MEC	180

Fuente: El Autor.

11.5. MITIGACIÓN DEL RIESGO Y EFECTIVIDAD

Se evalúan nuevamente el nivel de riesgo y las consecuencias para verificar la efectividad de la estrategia de mantenimiento.

Tabla 13. Cálculo de Consecuencias US\$ / año. Bombas Cav. Progresiva AP7553A/B

COD. MODO FALLA	MODOS DE FALLA	DESCRIPCION AMPLIADA	EFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	Datos parámetros pérdidas Producción		Datos parámetros pérdidas Mantenimiento		Cálculo del costo				
				Barriles/día	Costo USD/Barril	Tasa de falla por año (sin	Tiempo para reparar (Horas)	Costo Total del impacto en producción.(USD\$)	Costo de Reparación [(MO + repuestos) + Otros]	Costo de la falla sin mantenimiento (USD\$)/AÑO	IMPACTO TOTAL CON MANTTO (USD)/AÑO	
LOO	Salida baja	Obstrucción de la bomba	Mayor probabilidad de operación en condición de alto nivel Se requiere realizar inspección y limpieza de la succión. Entrada en operación del standby.	0	40	0,30	0	-N/A				300
LOO	Salida baja	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Mayor probabilidad de operación en condición de alto nivel (H/HH). Se requiere realizar reparación de la bomba	0	40	0,20	0	-N/A				
ELP	Fuga externa de medio de proceso	Daño Sello Mecánico	Fuga de fluido en área de las bombas. Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de sello Mecánico	0	40	0,25	0	-N/A				
FRO	No rota	Daño Rodamientos	Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de rodamientos de la bomba.	0	40	0,50	0	-N/A				
FRO	No rota	Rotura de Acople	Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de acople de la bomba.	0	40	0,30	0	-N/A				
FRO	No rota	Atascamiento Reductor de Velocidad	Parada de Bomba Ppal., y entrada en operación del Stand by. Se requiere mantenimiento gear box	0	40	0,20	0	-N/A				

Fuente: El Autor

El valor del MEI, se calcula con la siguiente formula:

$$MEI = \frac{(Costo\ Total\ Impacto\ SIN\ Estrategia) - (Costo\ Total\ Impacto\ CON\ Estrategia)}{(Costo\ Estrategia\ Mantenimiento)}$$

De acuerdo con los resultados de los análisis anteriores se tienen los siguientes datos:

Tabla 15. Resultados del taller

Riesgo evaluado antes de RCM	Riesgo evaluado después de RCM
M (Medio)	L (Bajo)
Valor de Consecuencias antes de RCM	Valor de Consecuencias después de RCM
USD\$ 1.184	USD\$ 300
Índice Efectividad Mantenimiento (MEI)	
2,9	

Fuente: El autor.

11.6. RESULTADOS DE RCM EN STAP6

Estas son algunas estadísticas resultantes de la Implementación del RCM en el STAP6 de EC3

Tabla 16. Agrupación de equipos para implementar RCM

SISTEMA	SUBSISTEMA	Agitador de tanque	Bomba Cavidad Progressiva	Bomba Centrífuga	Decantador Centrífugo	Reductor de Skimmer	Reductor para agitador	TOTAL
01_PAQUETE DE CLARIFICACIÓN	01_ACPI		4 (2)					4(2)
	01_ACPI_SUMIDERO		2(1)					2(1)
	02_CELDAS FLOTACIÓN		5(1)	5(1)		10(1)	20(1)	40(4)
	03_FILTROS CASCARA NUEZ			13(1)				13(1)
<i>Sub Total</i>			11(4)	18(1)		10(1)	20(1)	59(8)
02_PAQUETE DE LODOS	01_DECANTADORES			6(2)		6		12(2)
	02_TAMBORES		2(1)					2(1)
	03_TRATAMIENTO	2(1)		4(2)	2(1)			8(4)
<i>Sub Total</i>		2(1)	2(1)	10(4)	2(1)	6		22(8)
TOTAL		2(2)	13(5)	28(5)	2(2)	16(1)	20(1)	81 (16)

Fuente: El autor.

De la tabla anterior se agrupan los equipos por clase, por especificaciones técnicas, subsistema y funciones y estos se pueden agrupar para realizar un análisis por cada clase y al final replicarlo para la totalidad, en total se hacen 16 talleres RCM.

En el análisis se definieron 18 modos de falla en los equipos, y donde estos mismos se repiten de manera tal que se replican 164 veces en la totalidad de los 81 equipos.

Tabla 17. Resumen Modos de Falla encontrados en los talleres RCM.

COD. MOD O FALL A ISO	MODOS DE FALLA ISO 14224	No.	DESCRIPCIÓN AMPLIADA DE MODO FALLA	01_PAQUETE DE CLARIFICACIÓN						02_PAQUETE DE LODOS						TOTAL				
				01_ACP1		01_ACP1_SUMIDERO		02_CELDAS FLOTACIÓN		03_FILTROS		01_DECATADORES		02_TAMBORES			03_TRATAMIENTO			
				Bomba Cavidad Progressiva	Bomba Cavidad Progressiva	Bomba Cavidad Progressiva	Bomba Cavidad Progressiva	Bomba Centrífuga Vertical	Reduc Agitador	Reduc Skimmer	Bomba centrífuga Retrolav	Bomba Centrífuga	Bomba Centrífuga	Bomba Cavidad Progressiva	Agitador Tanque Homogenei		Bomba Centrífuga AP75525A/IB	Bomba Centrífuga AP75526A/IB	Decantador Centrifugo Lodos	
ELP	Fuga externa de medio de proceso	1	Daño Sello Mecánico	2	2	2	2	3			2			2	1					16
ELU	Fuga externa de medio utilitario	2	Falla en el sistema hidráulico																1	1
FRO	No rota	3	Atascamiento Reductor de Velocidad	2	2	2	2		3					2						13
		4	Daño Rodamientos	2	2	2	2		2		3	5	5	2	1	5	5			36
		5	Rotura de Acople	2	2		2							2						8
		6	Rotura de Correas					2		2					1			1		6
		7	rotura del acople flexible									2	2			2	2			8
INL	Fuga interna	8	daño sello mecánico									2	2			2	2			8
LOO	Salida baja	9	Desgaste de componentes internos de la bomba.	1	1	1	1	1		1	1	1	1		1	1				11
		10	Obstrucción de la bomba	1	1		1							1						4
		11	Saturación de filtro de succión					1												1
		12	Saturación de succión de la bomba			1														1
N/A	N/A	13	N/A	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	43
OHE	Alta temperatura	14	Daño de Rodamientos Principales																2	2
		15	Obstrucción en el intercambiador de calor																1	1
PLU	Obstrucción / restricción	16	Falla en el sistema hidráulico																2	2
VIB	Excesiva Vibración	17	Daño de rodamientos Internos																2	2
		18	Daño de Rodamientos Principales																1	1
Total				13	13	11	13	8	7	6	9	13	13	13	6	13	13	13	13	164

Fuente: El autor.

Tabla 18. Resumen de evaluación del riesgo y su mitigación en los equipos.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	EQUIPO MANTENIBLE	RIESGO EVALUADO ANTES RCM	RIESGO MITIGADO
ASUMI1CPIEC3	Bomba Cavidad Progresiva AP7561A/B	M(MEDIO)	L(BAJO)
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Celdas de flotación ADA	Bomba Cavidad Progresiva	M(MEDIO)	L(BAJO)
	Bomba Centrifuga Vertical	M(MEDIO)	L(BAJO)
	Reduc Agitador	L(BAJO)	L(BAJO)
	Reduc Skimmer	L(BAJO)	N(NULO)
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Filtros Cascara de Nuez	Bomba centrifuga Retrolav SP6	M(MEDIO)	L(BAJO)
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A/B	M(MEDIO)	L(BAJO)
	Bomba Cavidad Progresiva AP7554A/B	M(MEDIO)	L(BAJO)
PAQUETE DE LODOS Decantadores de Lodo	Bomba Cavidad Progresiva AP7565A/B SP6	M(MEDIO)	L(BAJO)
	Bomba Centrifuga AP75524A/B/C SP6	M(MEDIO)	L(BAJO)
	Bomba Centrifuga AP75527A/B/C SP6	M(MEDIO)	L(BAJO)
PAQUETE DE LODOS Deshidratación de Lodos	Agitador Tanque Homogenei	L(BAJO)	L(BAJO)
	Bomba Centrifuga AP75525A/B SP6	M(MEDIO)	L(BAJO)
	Bomba Centrifuga AP75526A/B SP6	M(MEDIO)	L(BAJO)
	Decantador Centrifugo Lodos ADC7551A/B	M(MEDIO)	L(BAJO)

Fuente: El autor.

La mayoría de los equipos tenían una tendencia de riesgo medio, esto debido a que en la mayoría el factor que aumentaba el riesgo era en el aspecto económico por los costos que pueden costar las piezas derivadas de daños catastróficos.

Tabla 19. Resumen de la evaluación de consecuencias y el EMI

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	EQUIPO MANTENIBLE	QTY Eqs	COSTO SIN ESTRATEGIA / CLASE EQ / AÑO (USD \$)	COSTO TOTAL SIN ESTRATEGIA / AÑO (USD \$)	COSTO CON ESTRATEGIA / CLASE EQ / AÑO (USD \$)	COSTO TOTAL CON ESTRATEGIA / AÑO (USD \$)	MEI
ASUMI1CPIEC3	Bomba Cavidad Progresiva	2	3.664,00	7.328,00	600,00	1.200,00	5,11
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Celdas de flotación ADA	Bomba Cavidad Progresiva	5	1.184,00	5.920,00	300,00	1.500,00	2,95
	Bomba Centrifuga Vertical	5	634,00	3.170,00	320,00	1.600,00	0,98
	Reduc Agitador	20	1.945,00	38.900,00	260,00	5.200,00	3,74
	Reduc Skimmer	10	1.300,00	13.000,00	210,00	2.100,00	5,19
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Filtros Cascara de Nuez	Bomba centrifuga Retrolav	13	1.204,00	15.652,00	268,00	3.484,00	3,49
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A/B	2	1.184,00	2.368,00	300,00	600,00	2,95
	Bomba Cavidad Progresiva AP7554A/B	2	1.184,00	2.368,00	300,00	600,00	2,95
PAQUETE DE LODOS Decantadores de Lodo	Bomba Cavidad Progresiva AP7565A/B SP6	2	1.184,00	2.368,00	360,00	720,00	2,95
	Bomba Centrifuga AP75524A/B/C SP6	3	634,00	1.902,00	268,00	804,00	1,37
	Bomba Centrifuga AP75527A/B/C SP6	3	634,00	1.902,00	268,00	804,00	1,37
PAQUETE DE LODOS Deshidratación de Lodos	Agitador Tanque Homogenei AGI75516 / 17 SP6	2	158,00	316,00	60,00	120,00	1,63
	Bomba Centrifuga AP75525A/B SP6	2	634,00	1.268,00	268,00	536,00	1,37
	Bomba Centrifuga AP75526A/B SP6	2	634,00	1.268,00	268,00	536,00	1,37
	Decantador Centrifugo Lodos ADC7551A/B	2	31.835,00	63.670,00	4.198,57	8.397,14	6,58

Fuente: El autor.

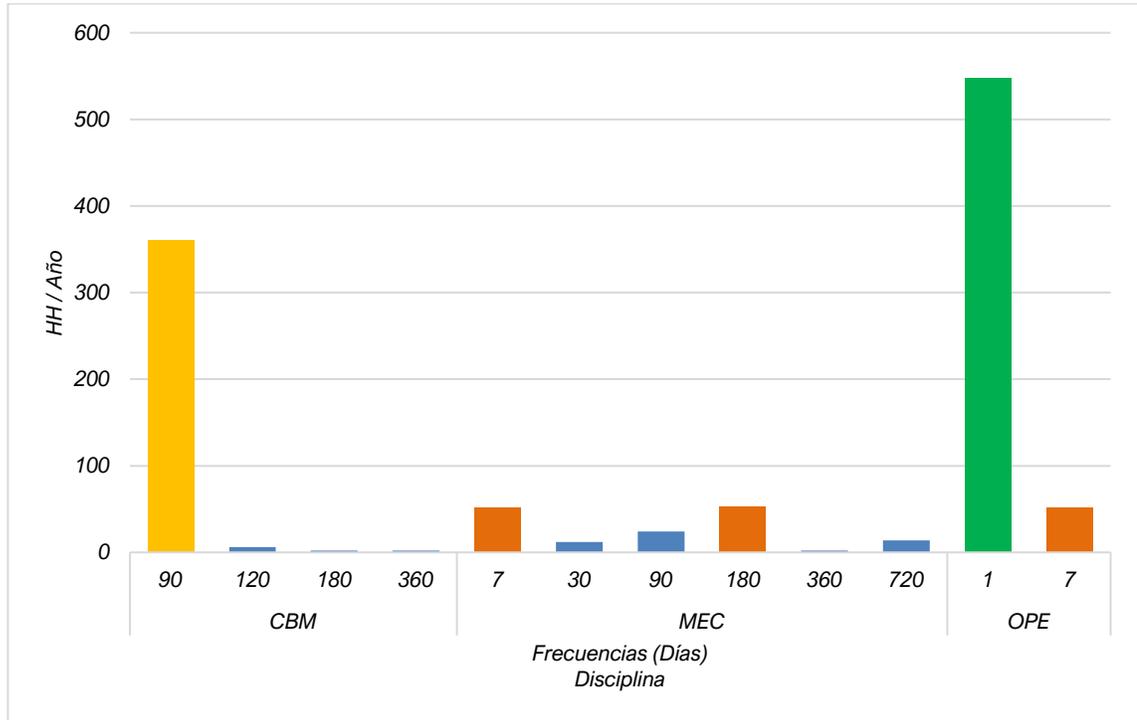
Tabla 20. Estrategia de Mantenimiento

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	EQUIPO MANTENIBLE	Clase Act. PM	DISCIPLINA	TAREA MANTENIMIENTO	1	7	30	90	120	180	360	720	
ASUM11CPIEC3	Bomba Cavidad Progressiva AP7561A/B	P01=PVO Intrusivo	MEC	Engrasar Rodamiento de empuje. Realizar cambio de aceite Gear Box (iso vg 220 - 2,5 Lt)			1				2		
		P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Inspección visual para Identificar fugas excesivas en el Sello Mecánico de la bomba. Verificar presión de descarga, reportar en caso de presentarse una reducción de un 70% de la presión normal de operación.	0,1								
		P06=PVO Monitoreo de Condiciones	CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.				2					
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Celdas de flotación ADA	Bomba Cavidad Progressiva AP-7555-2 /56-2/57-2/58-2/59-2	P01=PVO Intrusivo	MEC	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible. Realizar cambio de aceite Gear Box (iso vg 220)						0,5			
		P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Inspección visual para Identificar fugas excesivas en el Sello Mecánico de la bomba. Verificar presión de descarga, reportar en caso de presentarse una reducción de un 70% de la presión normal de operación.	0,1								
		P06=PVO Monitoreo de Condiciones	CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.				2					
	Bomba Centrífuga Vertical AP-7555-1 /56-1/57-1/58-1/59-1	P01=PVO Intrusivo	MEC	Realizar limpieza de la línea de refrigeración del sello mecánico.				1					
		P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Inspección visual para Identificar fugas excesivas en el Sello Mecánico de la bomba. Verificar presión de descarga, reportar en caso de presentarse una reducción de un 70% de la presión normal de operación.	0,1								
		P06=PVO Monitoreo de Condiciones	CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.				2					
	Reduc Agitador AGI7551A/B/C/D AGI7552A/B/C/D AGI7553A/B/C/D AGI7554A/B/C/D AGI7555A/B/C/D	P01=PVO Intrusivo	MEC	Inspeccionar el estado de las correas y verificar la tensión. Realizar engrase de las chumaceras.					0,5				
		P06=PVO Monitoreo de Condiciones	CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.				2					
		Reduc Skimmer ASK7551A/B ASK7552A/B ASK7553A/B ASK7554A/B ASK7555A/B	P01=PVO Intrusivo	MEC	Realizar cambio de aceite Reductor de Velocidad (Iso vg 460) Verificar el nivel de aceite del Reductor de velocidad.					0,5			
	P06=PVO Monitoreo de Condiciones		CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.								2	
	PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Filtros Cascara de Nuez	Bomba centrífuga Retrolav SP6 AP7541A/B/C/D/E/ F/G/H/I/J/K/L/M	P01=PVO Intrusivo	MEC	Engrasar rodamientos de la bomba Inspeccionar el estado de las correas y verificar la tensión. Verificar ajuste de pernos de anclaje.				1				
			P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Inspección visual para Identificar fugas excesivas en el Sello Mecánico de la bomba.	0,1							
P06=PVO Monitoreo de Condiciones			CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.					2				
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Unidades de Interceptores de Placas Corrugadas ACPI	Bomba Cavidad Progressiva AP7553A/B	P01=PVO Intrusivo	MEC	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible. Realizar cambio de aceite Gear Box (iso vg 220)						0,5			
		P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Inspección visual para Identificar fugas excesivas en el Sello Mecánico de la bomba. Verificar presión de descarga, reportar en caso de presentarse una reducción de un 70% de la presión normal de operación.	0,1								
		P06=PVO Monitoreo de Condiciones	CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.				2					
	Bomba Cavidad Progressiva AP7554A/B	P01=PVO Intrusivo	MEC	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible. Realizar cambio de aceite Gear Box (iso vg 220)							0,5		
		P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Inspección visual para Identificar fugas excesivas en el Sello Mecánico de la bomba. Verificar presión de descarga, reportar en caso de presentarse una reducción de un 70% de la presión normal de operación.	0,1								
		P06=PVO Monitoreo de Condiciones	CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.				2					
PAQUETE DE LODOS	Bomba Cavidad Progressiva AP7565A/B SP6	P01=PVO Intrusivo	MEC	Engrasar rodamientos de la bomba Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible.				0,5			0,5		

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	EQUIPO MANTENIBLE	Clase Act. PM	DISCIPLINA	TAREA MANTENIMIENTO	1	7	30	90	120	180	360	720	
Decantadores de Lodo				Realizar cambio de aceite Gear Box (iso vg 220)						2			
		P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Inspección visual para Identificar fugas excesivas en el Sello Mecánico de la bomba.	0,1								
		P06=PVO Monitoreo de Condiciones	CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.				2					
	Bomba Centrífuga AP75524A/B/C SP6	P01=PVO Intrusivo	MEC	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible. Realizar cambio de aceite de la caja de rodamientos. Verificar ajuste de pernos de anclaje.				0,2 5			1		
		P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Verificación de fugas excesivas por sello mecánico. Verificar el nivel de aceite de la caja de rodamientos.	0,1			0,1					
		P06=PVO Monitoreo de Condiciones	CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.				2					
		P01=PVO Intrusivo	MEC	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible. Realizar cambio de aceite de la caja de rodamientos. Verificar ajuste de pernos de anclaje.				0,2 5			1		
	Bomba Centrífuga AP75527A/B/C SP6	P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Verificación de fugas excesivas por sello mecánico. Verificar el nivel de aceite de la caja de rodamientos.	0,1			0,1					
		P06=PVO Monitoreo de Condiciones	CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.				2					
		P01=PVO Intrusivo	MEC	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible. Realizar cambio de aceite de la caja de rodamientos. Verificar ajuste de pernos de anclaje.				0,2 5			1		
		P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Verificación de fugas excesivas por sello mecánico. Verificar el nivel de aceite de la caja de rodamientos.	0,1			0,1					
	PAQUETE DE LODOS Deshidratación de Lodos	Agitador Tanque Homogenei AGI75516 / 17 SP6	P01=PVO Intrusivo	MEC	Inspeccionar el estado de las correas y verificar la tensión.						0,5		
P03=PVO Cuidado Básico BEC			OPE	Inspección visual para Identificar fugas excesivas en el Sello Mecánico agitador.	0,1								
P06=PVO Monitoreo de Condiciones			CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.				2			1		
Bomba Centrífuga AP75525A/B SP6		P01=PVO Intrusivo	MEC	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible. Realizar cambio de aceite de la caja de rodamientos. Verificar ajuste de pernos de anclaje.				0,2 5			1		
		P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Verificación de fugas excesivas por sello mecánico. Verificar el nivel de aceite de la caja de rodamientos.	0,1			0,1					
		P06=PVO Monitoreo de Condiciones	CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.				2					
		P01=PVO Intrusivo	MEC	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible. Realizar cambio de aceite de la caja de rodamientos. Verificar ajuste de pernos de anclaje.				0,2 5			1		
Bomba Centrífuga AP75526A/B SP6		P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Verificación de fugas excesivas por sello mecánico. Verificar el nivel de aceite de la caja de rodamientos.	0,1			0,1					
		P06=PVO Monitoreo de Condiciones	CBM	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.				2					
		P01=PVO Intrusivo	MEC	Inspeccionar el estado de las correas y verificar la tensión. Limpieza de intercambiador de calor (sist. aceite hidráulico) Cambio del aceite hidráulico y filtro de aceite hidráulico. Cambiar Rodamientos Principales						1	1	2	
Decantador Centrifugo Lodos ADC7551A/B		P01=PVO Intrusivo	MEC	Cambiar Aceite Lubricante							4		
				Engrasar Rodamientos Internos		1							
	Cambiar Rodamientos Internos											12	
	Verificar nivel de aceite lubricante.			0,1									
	Verificar el nivel de aceite hidráulico en el reservorio.			0,1									
	Verificar la presión diferencial del filtro de aceite hidráulico. (PD<20 psig)			0,1									
	P03=PVO Cuidado Básico BEC	OPE	Verificar el nivel de aceite hidráulico en el reservorio. Verificar la presión diferencial del filtro de aceite hidráulico. (PD<20 psig)	0,1									

Fuente: El autor.

Figura 22. Distribución de HH en la estrategia por Año.



Fuente: El Autor

Como se puede identificar de la figura anterior, la estrategia esta mas enfocada a mantenimiento por condición (CBM) lo que es una ventaja a la hora de buscar un equilibrio entre lo económico y la confiabilidad. También se puede ver una mayor tendencia en hacer partícipe de los operadores de los equipos en la estrategia de mantenimiento, que es una base para emprender el TPM y mejorar la confiabilidad de los activos.

12. CONCLUSIONES

- Se cumple con el objetivo principal diseñando un plan de mantenimiento para los equipos rotativos del proceso STAP6 de la planta EC3 por medio de la metodología RCM implementada en la empresa ECOPETROL S.A.
- Se determinaron los modos de falla de los equipos rotativos, a partir de las fallas funcionales de cada equipo y las respectivas causas de estos modos de falla.
- La mayoría de las posibles causas planteadas para los respectivos modos de falla se encuentra el cumplimiento de la vida útil de los ítems mantenibles.
- Se realizó la evaluación de riesgo de cada modo de falla y posteriormente de cada equipo, el 80% de los equipos obtuvo una evaluación en medio y el resto en bajo. Y posteriormente al mitigar los riesgos los equipos tuvieron una valoración baja.
- Se realizó el cálculo de consecuencias de los modos de falla y al realizar la mitigación de los riesgos, el valor económico de las posibles consecuencias logró disminuirse en un 80% aproximadamente.
- El índice de efectividad tuvo un valor promedio entre las diferentes clases de equipos de 2,93.
- El equipo con los costos más altos asociados fue el decantador centrífugo de lodos, ya que es un equipo de especial diseño y fabricación y sus componentes llegan a ser muy costosos, se puede decir que económicamente es un equipo crítico.

- El plan de mantenimiento resultante del RCM es un plan diverso en frecuencias, sin embargo, el 70% de las horas hombre se encuentran concentradas en la frecuencia trimestral de CBM y en la frecuencia diaria de rondas operativas.

BIBLIOGRAFIA

ECOPETROL. Cartilla Equipos Críticos. Colombia. 2020.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANITATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, ISO 14224. Suiza. 2 ed. 2006

MOUBRAY John, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. RCM II. 2 ed. Estados Unidos, Aladon LLC, 2004. ISBN 09539603-2-3.

NORZOK STANDARD. Risk based maintenance and consequence classification, Z-008. Noruega. 3 ed. 2011.

PARRA MARQUEZ Carlos Alberto y CRESPO MARQUEZ, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Desarrollo y aplicación práctica de un Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM). España, INGEMAN, 2012. ISBN 978-84-95499-67-7.

SAE THE ENGINEERING SOCIETY FOR ADVANCING MOBILITY LAND SEA AIR AND SPACE INTERNATIONAL. Surface vehicle / Aerospace Standard. Evaluation Criteria for Reliability- Centred Maintenance (RCM) Process, SAE JA1011. Estados Unidos. 1999.

ANEXOS

Anexo A. FMEA de los equipos del STAP6 de EC3

SISTEMA	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO MANTENIBLE	DESCRIPCIÓN AMPLIADA DE MODO FALLA	EFFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	PLAN - No. de Modo de Fallo	PLAN - No. de Modo de Fallo	CAUSA DE FALLA	PATRON DE FALLA	Clase Art. PM	TAREA MANTENIMIENTO	Grado de Severidad de Fallo	Grado de Impacto de Fallo	DURM. [hrs]	CANT. [perso]	FREC. [días]	GRUPO A CARGO	Costo Medio de Reparación	NET	RECOMENDACIÓN	
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Unidades de Intercorrientes de Placas Corrugadas ACP	No realizar separación primaria del agua de producción.	Bomba Cavidad Progressiva AP7553A/B	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	3	N/A	
		Bomba Cavidad Progressiva AP7554A/B	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	3	N/A	
		Bomba Cavidad Progressiva AP7553A/B	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	3	N/A
		Bomba Cavidad Progressiva AP7554A/B	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	3	N/A
	No empujar fase acerosa hacia ASUMI(OP-EC3)	No Bombear el agua hacia las celdas de flotación.	Bomba Cavidad Progressiva AP7553A/B	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	3	N/A
			Bomba Cavidad Progressiva AP7554A/B	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Mayor probabilidad de operación del CPE en condición de alto nivel (N/HM). Se requiere realizar inspección y limpieza de la succión. Entrada en operación del standby.	M2	M2	Desgaste por vida útil	Envejecimiento Lento	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L2	L2	2	1	90	CBM	40	3	Catálogo Kit de reparación de elementos de desgaste de la bomba.
			Daño Sello Mecánico	Fuga de fluido en área de las bombas. Parada de Bomba Psal, y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de sello Mecánico	L1	M2	Desalineación de ejes	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3	N/A	
			Desgaste Sello Mecánico	Fin ciclo vida	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Inspección visual para identificar fugas excesiva en el Sello Mecánico de la bomba.	L1	L2	0,1	1	1	OPE	0	3	Catálogo Sello Mecánico					
			Oblstrucción de la bomba	Mayor probabilidad de operación del CPE en condición de alto nivel (N/HM). Se requiere realizar inspección y limpieza de la succión. Entrada en operación del standby.	L1	M2	Fluido Contaminado	Aleatoria	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificar presión de descarga, reportar en caso de presentarse una reducción de un 70% de la presión normal de operación.	L1	L2	0,1	1	1	OPE	0	3	N/A	
			Daño Rodamientos	Parada de Bomba Psal, y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de rodamientos de la bomba.	L1	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3	Catálogo Rodamientos	
			Rotura de Acople	Parada de Bomba Psal, y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de acople de la bomba.	L1	M2	Degradación de la grasa	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	1	1	0	MEC	20	3	N/A	
			Atascamiento Reductor de Velocidad	Parada de Bomba Psal, y entrada en operación del Stand by. Se requiere mantenimiento gear box.	L1	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3	Catálogo Kit de reparación de Gear Box	
No Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	Bomba Cavidad Progressiva AP7553A/B	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Mayor probabilidad de operación del CPE en condición de alto nivel (N/HM). Se requiere realizar inspección y limpieza de la succión. Entrada en operación del standby.	M2	M2	Desgaste por vida útil	Envejecimiento Lento	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L2	L2	2	1	90	CBM	40	3	Catálogo Kit de reparación de elementos de desgaste de la bomba.		
		Daño Sello Mecánico	Fuga de fluido en área de las bombas. Parada de Bomba Psal, y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de sello Mecánico	L1	M2	Desalineación de ejes	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3	N/A		
		Desgaste Sello Mecánico	Fin ciclo vida	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Inspección visual para identificar fugas excesiva en el Sello Mecánico de la bomba.	L1	L2	0,1	1	1	OPE	0	3	Catálogo Sello Mecánico						

SISTEMA	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO MANTENIBLE	DESCRIPCIÓN AMPLIADA DE MODO FALLA	EFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	Riesgo - No Investigado (modo de FALLA)	Riesgo - No Investigado (modo EQUIPO)	CAUSA DE FALLA	PATRÓN DE FALLA	Clase Act. PM	TAREA MANTENIMIENTO	Número de Horas de Mantenimiento de FALLA	Número de Horas de Mantenimiento EQUIPO	Clase A. (hrs)	Clase B. (semanas)	FRECU. (DÍAS)	ESTADO DE CAMBIO	Costo (Miles de Dólares)	MTI	RECOMENDACIÓN			
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Unidades de Intercambios de Placas Corrugadas ACP1	No Bombear los lodos hacia el sistema de tratamiento de lodos.	Bomba Cavidad Progresiva AP7553A/B	Obstrucción de la bomba	Mayor probabilidad de operación del CPI en condición de alto nivel (H/HH). Se requiere realizar inspección y limpieza de la succión. Entrada en operación del standby.	L1	M2	Fluido Contaminado	Aleatoria	P03-PV0 Cuidado Básico BEC	Verificar presión de descarga, reportar en caso de presentarse una reducción de un 70% de la presión normal de operación.	L1	L2	0,1	1	1	OPE	0	3	N/A			
			Daño Rodamientos	Parada de Bomba Ppa1, y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de rodamientos de la bomba.	L1	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06-PV0 Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3	Catálogo Rodamientos Aclarar que el sensor de vibraciones utilizado debe ser de desplazamiento por ser una velocidad menor a 900 rpm.			
			Parada de Bomba Ppa1, y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de rodamiento de empuje de la bomba.	L1	M2	Degradación de la grasa	Desgaste Fin ciclo vida	P01-PV0 Intrusivo	Cambiar grasa de la caja de rodamientos de la bomba	L1	L2	1	1	0	MEC	20	3	N/A				
			Rotura de Acople	Parada de Bomba Ppa1, y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de acople de la bomba.	L1	M2	Desalineación de ejes	Aleatoria	P06-PV0 Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3	N/A			
				Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P01-PV0 Intrusivo	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible.	L1	L2	0,5	1	180	MEC	10	3	Catálogo Acople						
			Atascamiento Reductor de Velocidad	Parada de Bomba Ppa1, y entrada en operación del Stand by. Se requiere mantenimiento gear box	L1	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06-PV0 Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3	Catálogo Kit de reparación de Gear Box			
				Deficiente lubricación	Desgaste Fin ciclo vida	P01-PV0 Intrusivo	Realizar cambio de aceite Gear Box (soy vg 220)	L1	L2	2	1	180	MEC	40	3	N/A						
			PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Celdas de Flotación ADA	No Remover aceite libre y sólidos suspendidos del agua proveniente de los ACP1, mediante la conglomeración de sólidos y aceites.	Bomba Cavidad Progresiva AP7554A/B	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	3	N/A
					Reduc. Agitador AG17551A/B/C/D AG17552A/B/C/D AG17553A/B/C/D AG17554A/B/C/D AG17555A/B/C/D	N/A	N/A	N/A	L1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L1	0	0	0	N/A	0	4	N/A
					Daño Rodamientos	Parada del Agitador. Deficiente proceso de remoción de aceite libre y sólidos suspendidos. Se requiere cambio de chumaceras	L1	L1	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06-PV0 Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L1	2	1	90	CBM	40	4	Catálogo Chumaceras Dodge P/N 0662170	
Deficiente lubricación	Desgaste Fin ciclo vida	P01-PV0 Intrusivo				Realizar engrase de las chumaceras.	L1	L1	0,5	1	90	MEC	10	4	Grasa mobile XHP222							
Rotura de Correas	Parada del Agitador. Deficiente proceso de remoción de aceite libre y sólidos suspendidos. Se requiere cambio de set de correas.	L1			L1	Desalineación de ejes	Aleatoria	P06-PV0 Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L1	0	1	90	CBM	0	4	N/A				
	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida			P01-PV0 Intrusivo	Inspeccionar el estado de las correas y verificar la tensión.	L1	L1	0,5	1	90	MEC	10	4	Catálogo Set 6 Correas SV13120							
Reduc. Skimmer ASK7551A/B ASK7552A/B ASK7553A/B ASK7554A/B ASK7555A/B	N/A	N/A			N/A	N/A	L1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0	0	0	N/A	0	5	N/A		
	Bomba Centrífuga Vertical AP-7555-1 /56-1/57-1/58-1/59-1	N/A			N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	1	N/A	
Bomba Cavidad Progresiva AP-7555-2 /56-2/57-2/58-2/59-2	N/A	N/A			N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L1	0	0	0	N/A	0	3	N/A		
Reduc. Agitador AG17551A/B/C/D AG17552A/B/C/D AG17553A/B/C/D AG17554A/B/C/D AG17555A/B/C/D	N/A	N/A			N/A	N/A	L1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L1	0	0	0	N/A	0	4	N/A		
No Bombear el agua de alimentación de filtros de cáscara de nuez.																						

SISTEMA	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO MANTENIBLE	DESCRIPCIÓN AMPLIADA DE MODO FALLA	EFEECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	RANKING - RIESGO - Múltiplo de Frecuencia de FALLA	RANKING - RIESGO - Múltiplo de Costo D	CAUSA DE FALLA	PATRÓN DE FALLA	Clase Act. PMA	TAREA MANTENIMIENTO	RANKING - RIESGO - Múltiplo de Frecuencia de FALLA	RANKING - RIESGO - Múltiplo de Costo D	DURADA [hrs]	C.A.M.T. [per-no]	E.FREC. (DÍAS)	RECURSOS A CARGO	Costo Obrero x Mes	MET	RECOMENDACIÓN		
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Celulas de flotación ADA	No Bombear el agua de alimentación de filtros de cáscara de nuez.	Reduc Skimmer ASK7551A/B ASK7552A/B ASK7553A/B ASK7554A/B ASK7555A/B	N/A	N/A	N/A	L1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N1	0	0	0	N/A	0	5	N/A		
		Bomba Centrífuga Vertical AP-7555-1 /56-1/57-1/58-1/59-1	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Mayor probabilidad de operación del ADA en condición de alto nivel. Se requiere realizar reparación de la bomba	M2	M2	Cumplimiento vida útil, degradación debido a composición e agua de proceso.	Envejecimiento Lento	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	1	Catálogo kit de reparación de elementos de desgaste de la bomba.	
			Daño Sello Mecánico	Fuga de fluido en áreas de bombas. Parada de Bomba y de la celda de flotación. Se requiere cambio de sello Mecánico	L1	M2	Desalineación de ejes	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	3	1	90	CBM	60	1	1	N/A	
				Desgaste Sello Mecánico	Desgaste Fin ciclo vida	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Inspección visual para identificar fugas excesiva en el Sello Mecánico de la bomba.	L2	L2	0,1	1	1	OPE	0	1	1	N/A				
				Obstrucción falla en líneas de lubricación prensa estopa	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Realizar limpieza de las líneas de refrigeración del sello mecánico. Verificar presión de descarga, reportar en caso de presentarse una reducción de un 70% de la presión normal de operación.	L1	L2	1	1	90	MEC	20	1	1	N/A				
		Saturación de filtro de succión	Mayor probabilidad de operación del ADA en condición de alto nivel. Se requiere realizar inspección y limpieza del filtro de succión.	L1	M2	Contaminación Fluido de proceso	Aleatoria	P03=PVO Cuidado Básico BEC		L1	L2	0,1	1	1	OPE	0	1	1	N/A		
	Bomba Cavidad Progressiva AP-7555-2 /56-2/57-2/58-2/59-2	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L1	L2	0	0	0	N/A	0	3	N/A		
	No Remover los sobrenadantes generados mediante desnatadores motorizados.	Reduc Skimmer ASK7551A/B ASK7552A/B ASK7553A/B ASK7554A/B ASK7555A/B	Atascamiento Reductor de Velocidad	Parada de Skimmer Sobrenadantes. Se requiere mantenimiento gear box	L1	L1	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	N1	N1	2	1	360	CBM	40	5	5	Catálogo kit de reparación de Gear Box	
							Deficiente lubricación	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Verificar el nivel de aceite del Reductor de velocidad.	N1	N1	0,5	1	90	MEC	10	5	5	Inspección del funcionamiento del skimmer. [Ajustamiento y bandeja] Recomendación INM Taller BOM.	
		Bomba Centrífuga Vertical AP-7555-1 /56-1/57-1/58-1/59-1	Bomba Cavidad Progressiva AP-7555-2 /56-2/57-2/58-2/59-2																		
No Bombear los sobrenadantes hacia la unidad de tratamiento de lodos.	Reduc Skimmer ASK7551A/B ASK7552A/B ASK7553A/B ASK7554A/B ASK7555A/B																				
		Bomba Centrífuga Vertical AP-7555-1 /56-1/57-1/58-1/59-1																			
	Bomba Cavidad Progressiva AP-7555-2 /56-2/57-2/58-2/59-2	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Mayor probabilidad de operación del ADA en condición de alto nivel. Parada de Bomba y de la celda de flotación. Se requiere realizar reparación de la bomba.	M2	M2	Desgaste por vida útil	Envejecimiento Lento	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	2	1	90	CBM	40	3	3	Catálogo kit de reparación de elementos de desgaste de la bomba.		

SISTEMA	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO MANTENIBLE	DESCRIPCIÓN AMPLIADA DE MODO FALLA	EFFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	RANK - RIESGO MANTENIMIENTO DE FALLA	RANK - RIESGO MANTENIMIENTO EQUIPO	CAUSA DE FALLA	PATRÓN DE FALLA	Clase Act. PM	TAREA MANTENIMIENTO	RANK - RIESGO MANTENIMIENTO DE FALLA	RANK - RIESGO MANTENIMIENTO EQUIPO	DURA. [hrs]	CANT. [operes]	FREC. (DIAS)	GRUPO A CARGO	TIPO DE CARGO	REI	RECOMENDACIÓN
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Celulas de flotación ADA	No Bombear los sobrenadantes hacia la unidad de tratamiento de lodos.	Bomba Cavidad Progressiva AP-7552-2 /56-2/57-2/58-2/59-2	Daño Sello Mecánico	Fuga de fluido en área de bombas. Parada de Bomba y de la celda de flotación. Se requiere cambio de sello Mecánico	L1	M2	Desalineación de ejes	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	N/A	L2	0	1	90	CBM	0	3	N/A
				Desgaste Sello Mecánico	Fin ciclo vida	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Inspección visual para identificar fugas excesiva en el Sello Mecánico de la bomba.	N/A	L2	0,1	1	1	OPE	0	3	Catalogar Sello Mecánico			
			Obstrucción de la bomba	Mayor probabilidad de operación del ADA en condición de alto nivel. Se requiere realizar inspección y limpieza de la succión. Parada de Bomba y de la celda de flotación.	L1	M2	Fluido Contaminado	Aleatoria	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificar presión de descarga, reportar en caso de presentarse una reducción de un 70% de la presión normal de operación.	L1	L2	0,1	1	1	OPE	0	3	N/A
				Daño Rodamientos	Fuga de fluido en área de bombas. Parada de Bomba y de la celda de flotación. Se requiere cambio de sello Mecánico	L1	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	N/A	L2	0	1	90	CBM	0	3
			Rotura de Acople	Parada de Bomba y de la celda de flotación. Se requiere cambio de acople de la bomba.	L1	M2	Desalineación de ejes	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3	N/A
				Atascamiento Reductor de Velocidad	Parada de Bomba y de la celda de flotación. Se requiere mantenimiento gear box	L1	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3
			Deficiente lubricación	Parada de Bomba y de la celda de flotación. Se requiere cambio de aceite Gear Box (soy vg 220)	L1	M2	Deficiente lubricación	Desgaste Fin ciclo vida	P03=PVO Intrusivo	Realizar cambio de aceite Gear Box (soy vg 220)	L1	L2	2	1	180	MEC	40	3	N/A
				PAQUETE DE Lodos Decantadores de Lodo	No recibir los lodos de CPH, sobrenadantes de las ADAS y retrolavados de filtros	Bomba Centrífuga AP75524A/B/C SP6	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A
Bomba Centrífuga AP75527A/B/C SP6	N/A	N/A	N/A			M2	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	1	N/A	
Bomba Cavidad Progressiva AP7365A/B SP6	N/A	N/A	N/A			M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	3	N/A
No Enviar agua clarificada hacia la entrada de las celulas de flotación (AP-75524 A/B/C)	Bomba Centrífuga AP75524A/B/C SP6	daño sello mecanico	salida de la bomba por fuga de fluido en sello mecanico. entrada en operación de bomba stanby. se requiere realizar revision y/o cambio de sello mecanico.	L1	M2	cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificación de fugas excesivas por sello mecanico.	L1	L2	0,1	1	7	OPE	0	1	Catalogar Sello Mecánico.	
			desalineacion de ejes moto bomba	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	N/A				
		Desgaste de componentes internos de la bomba.	Baja eficiencia del decantador y mas probabilidad de operar en alto nivel de agua. Se requiere reparacion de la bomba.	M2	M2	Desgaste por vida útil	Envejecimiento Lento	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L2	L2	2	1	90	CBM	40	1	Catalogar Kit de reparacion de elementos de desgaste de la bomba.	
		Daño Rodamientos	salida de la bomba y entrada en operación de bomba stanby. se requiere realizar cambio de rodamientos y revision de componentes de la bomba.	L1	M2	cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	Catalogación Rodamientos	
			desalineacion de ejes moto bomba	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	N/A				
			bajo nivel de aceite	Aleatoria	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificar el nivel de aceite de la caja de rodamientos.	L1	L2	0,1	1	7	OPE	0	1	N/A				
			degradacion de aceite	Desgaste Fin ciclo vida	P03=PVO Intrusivo	Realizar cambio de aceite de la caja de rodamientos.	L1	L2	0,5	2	180	MEC	20	1	N/A				

SISTEMA	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO MANTENIBLE	DESCRIPCIÓN AMPLIADA DE MODO FALLA	EFFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	RAPIDIDAD - MÍNIMO INDIAGNANDO LA FALLA	RAPIDIDAD - MÁXIMO INDIAGNANDO EQUIPO	CAUSA DE FALLA	PATRÓN DE FALLA	Clase Act. PM	TAREA MANTENIMIENTO	SEVERIDAD - MÍNIMO INDIAGNANDO LA FALLA	SEVERIDAD - MÁXIMO INDIAGNANDO EQUIPO	DURADA [hrs]	CANT. [pieces]	FREC. (H/MES)	GRUPO A CAMBIO	Número de Horas de Mano de Obra	MEI	RECOMENDACIÓN	
PAQUETE DE LODOS Decantadores de Lodo	No Enviar agua clarificada hacia la entrada de las celdas de flotación (AP-75524 A/B/C)	Bomba Centrífuga AP75524A/B/CS96	Daño Rodamientos	salida de la bomba y entrada en operación de bomba start-by. Se requiere realizar cambio de salida de la bomba y entrada en operación de bomba start-by. Se requiere realizar cambio acople flexible y alineación del equipo.	L1	M2	soltura mecánica ancajes	Aleatoria	P01=PVO Intrusivo	Verificar ajuste de pernos de anclaje.	L1	L2	0,1	1	90	MEC	2	1	N/A	
			rotura del acople flexible		L1	M2	cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible.	L1	L2	0,25	1	90	MEC	5	1	Catalogar Acople Flexible	
					L1	M2	desalineación de ejes moto bomba	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	N/A	
			Bomba Centrífuga AP75527A/B/CS96	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	1	N/A	
			Bomba Cavidad Progresiva AP7565A/B SP6	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	3	N/A	
	No Enviar el desmate (sobrenadantes) una hacia la entrada de tanques de almacenamiento (ATK-7508/09)	Bomba Centrífuga AP75524A/B/CS96	Bomba Cavidad Progresiva AP7565A/B SP6			N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	1	N/A
						N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	1	N/A
				Desgaste de componentes internos de la bomba	Mayor probabilidad de operación del CPI en condición de alto nivel (H/HH). Se requiere realizar inspección y limpieza de la succión. Entrada en operación del stand-by.	M2	M2	Desgaste por vida útil	Envejecimiento Lento	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L2	L2	2	1	90	CBM	40	3	Catalogar Kit de reparación de elementos de desgaste de la bomba.
				Daño Sello Mecánico	Fuga de fluido en área de las bombas. Parada de Bomba Ppa1 y entrada en operación del Stand-by. Se requiere cambio de sello Mecánico	L1	M2	Desalineación de ejes	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3	N/A
						L1	M2	Desgaste Sello Mecánico	Desgaste Fin ciclo vida	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Inspección visual para identificar fugas excesiva en el Sello Mecánico de la bomba.	L1	L2	0,1	1	1	OPE	0	3	Catalogar Sello Mecánico
				Obstrucción de la bomba	Mayor probabilidad de operación del CPI en condición de alto nivel (H/HH). Se requiere realizar inspección y limpieza de la succión. Entrada en operación del stand-by.	L1	M2	Fluido Contaminado	Aleatoria	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificar presión de descarga, reportar en caso de presentarse una reducción de un 70% de la presión normal de operación.	L1	L2	0,1	1	1	OPE	0	3	N/A
				Daño Rodamientos	Parada de Bomba Ppa1 y entrada en operación del Stand-by. Se requiere cambio de rodamientos de la bomba.	L1	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3	Catalogar Rodamientos
					Parada de Bomba Ppa1 y entrada en operación del Stand-by. Se requiere cambio de rodamiento de empuje de la bomba.	L1	M2	Degradación de la grasa	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Engrasar rodamientos de la bomba	L1	L2	0,5	1	90	MEC	10	3	N/A
				Rotura de Acople	Parada de Bomba Ppa1 y entrada en operación del Stand-by. Se requiere cambio de acople de la bomba.	L1	M2	Desalineación de ejes	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3	N/A
						L1	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible.	L1	L2	0,5	1	180	MEC	10	3	Catalogar Acople
Atascamiento Reductor de Velocidad				Parada de Bomba Ppa1 y entrada en operación del Stand-by. Se requiere mantenimiento gear box	L1	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	3	Catalogar Kit de reparación de Gear Box	
					L1	M2	Deficiente lubricación	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Realizar cambio de aceite Gear Box (iso vg 220)	L1	L2	2	1	180	MEC	40	3	N/A	
No Enviar los lodos acefrosos hacia los tanques de lodos ATK-7552 A/B (AP-75527 A/B/C)	Bomba Centrífuga AP75524A/B/CS96	Bomba Centrífuga AP75527A/B/CS96			N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	1	N/A	
			daño sello mecanico	salida de la bomba por fuga de fluido en sello mecanico. entrada en operación de bomba start-by. se requiere realizar revision y/o cambio de sello mecanico.	L1	M2	cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificación de fugas excesivas por sello mecanico.	L1	L2	0,1	1	7	OPE	0	1	Catalogar Sello Mecánico.	
					L1	M2	desalineación de ejes moto bomba	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	N/A	

SISTEMA	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO MANTENIBLE	DESCRIPCIÓN AMPLIADA DE MODO FALLA	EFFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	RANK - NO. INVIÉSADO MANTENIMIENTO DE FALLA	RANK - NO. INVIÉSADO EQUIPO	CAUSA DE FALLA	PATRÓN DE FALLA	Clase Act. PM	TAREA MANTENIMIENTO	RANK - NO. INVIÉSADO MANTENIMIENTO DE FALLA	RANK - NO. INVIÉSADO EQUIPO	DUR. [hrs]	CANT. [pers]	FREC. [días]	GRUPO A CARGO	Costo Obrero x punto	MTI	RECOMENDACIÓN		
PAQUETE DE LODOS Decantadores de Lodo	No Enviar los lodos acerosos hacia los tanques de lodos ATI-7552 A/B (AP-75527 A/B/C)	Bomba Centrífuga AP75527A/B/C SP6	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Baja eficiencia del decantador y mas probabilidad de operar en alto nivel de agua. Se requiere reparación de la bomba.	M2	M2	Desgaste por vida útil	Envejecimiento Lento	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L2	L2	2	1	90	CBM	40	1	Catalogar kit de reparación de elementos de desgaste de la bomba.		
				salida de la bomba y entrada en operación de bomba standby. se requiere realizar cambio de rodamientos y revision de componentes de la bomba.	L1	M2	Daño Rodamientos	cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	1	Catalogación Rodamientos
							desalineacion de ejes moto bomba	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	1	N/A	
							bajo nivel de aceite	Aleatoria	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificar el nivel de aceite de la caja de rodamientos.	L1	L2	0,1	1	7	OPE	0	1	1	N/A	
							degradacion de aceite	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Realizar cambio de aceite de la caja de rodamientos.	L1	L2	0,5	2	180	MEC	20	1	1	N/A	
							soltura mecanica anclajes	Aleatoria	P01=PVO Intrusivo	Verificar ajuste de pernos de anclaje.	L1	L2	0,1	1	90	MEC	2	1	1	N/A	
							rotura del acople flexible	salida de la bomba y entrada en operación de bomba standby. se requiere realizar cambio acople flexible y alineacion del equipo.	L1	M2	cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible.	L1	L2	0,25	1	90	MEC	5
				desalineacion de ejes moto bomba	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	1	N/A				
		Bomba Cavidad Progressiva AP7565A/B SP6	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	3	N/A	
		PAQUETE DE LODOS Deshidratacion de Lodos	No recibir lodos provenientes de los decantadores.	Agitador Tanque Homogenei AGI75516 / 17 SP6	N/A	N/A	N/A	L1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L1	0	0	0	N/A	0	2	N/A
Bomba Centrífuga AP75526A/B SP6	N/A			N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	1	N/A		
Bomba Centrífuga AP75525A/B SP6	N/A			N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	1	N/A		
Decantador Centrif Lodos ADC7553A/B	N/A			N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	7	N/A		
Permitir la precipitación de sólidos del lodo decantado	Agitador Tanque Homogenei AGI75516 / 17 SP6		Daño Sello Mecánico	Fuga de fluido en área de tanques. Parada de agitador y el tanque. Se requiere cambio de sello Mecánico. Puede hacerse en linea sin desmontar el agitador.	L1	L1	Desgaste Sello Mecánico	Desgaste Fin ciclo vida	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Inspeccionar visual para identificar fugas excesiva en el Sello Mecánico/ agitador.	L1	L1	0,1	1	7	OPE	0	2	1	Catalogar Sello Mecánico	
				Daño Rodamientos	Parada de agitador y el tanque. Se requiere cambio de rodamientos del agitador. Puede hacerse en linea sin desmontar el agitador.	N1	L1	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L1	1	1	180	CBM	20	2	1	Catalogar Rodamientos
				Rotura de Correas	Parada de agitador y el tanque. Se requiere cambio de la correa del agitador. Puede hacerse en linea sin desmontar el agitador.	L1	L1	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Inspeccionar el estado de las correas y verificar la tension.	L1	L1	0,5	1	180	MEC	10	2	1	Catalogar Correa
				Bomba Centrífuga AP75526A/B SP6	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	1	N/A
	Bomba Centrífuga AP75525A/B SP6		N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	1	N/A		
	Decantador Centrif Lodos ADC7553A/B		N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	7	N/A		
No separar el agua clarificada	Agitador Tanque Homogenei AGI75516 / 17 SP6	Bomba Centrífuga AP75526A/B SP6	salida de la bomba por fuga de fluido en sello mecanico. entrada en operacion de bomba standby. se requiere realizar revision y/o cambio de sello mecanico.	L1	M2	cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificación de fugas excesivas por sello mecanico.	#REF!	L2	0,1	1	7	OPE	0	1	1	Catalogar Sello Mecánico.		
			desalineacion de ejes moto bomba	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	#REF!	L2	0	1	90	CBM	0	1	1	N/A					
			Desgaste de componentes internos de la bomba.	Baja eficiencia del decantador y mas probabilidad de operar en alto nivel de agua. Se requiere reparación de la bomba.	M2	M2	Desgaste por vida útil	Envejecimiento Lento	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L2	L2	2	1	90	CBM	40	1	1	Catalogar kit de reparación de elementos de desgaste de la bomba.	
			Daño Rodamientos	salida de la bomba y entrada en operación de bomba standby. se requiere realizar cambio de rodamientos y revision de componentes de la bomba.	L1	M2	cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	1	Catalogación Rodamientos	

SISTEMA	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO MANTENIBLE	DESCRIPCIÓN AMPLIADA DE MODO FALLA	EFFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	RANGO - Tubo Máximo Máximo DE FALLA	RANGO - Tubo Máximo Máximo EQUIPO	CAUSA DE FALLA	PATRÓN DE FALLA	Clase Act. PM	TAREA MANTENIMIENTO	1 L1	2 L2	DUR. [hrs]	CANT. [pesos]	FREC. (HRS)	GRUPO A. CATEG.	Costo Obras Mantenimiento	MEI	RECOMENDACIÓN																
PAQUETE DE LODOS Deshidratada de Lodos	No separar el agua clarificada	Bomba Centrífuga AP75526A/B SP6	Daño Rodamientos	salida de la bomba y entrada en operación de bomba stanby. se requiere realizar cambio de rodamientos y revision de	L1	M2	desalineación de ejes moto bomba	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	N/A																
							bajo nivel de aceite	Aleatoria	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificar el nivel de aceite de la caja de rodamientos.	L1	L2	0,1	1	7	OPE	0	1	N/A																
							degradación de aceite	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Realizar cambio de aceite de la caja de rodamientos.	L1	L2	0,5	2	180	MEC	20	1	N/A																
							solura mecanica ancajes	Aleatoria	P01=PVO Intrusivo	Verificar ajuste de pernos de anclaje.	L1	L2	0,1	1	90	MEC	2	1	N/A																
			rotura del acople flexible	salida de la bomba y entrada en operación de bomba stanby. se requiere realizar cambio acople flexible y alineacion del equipo.	L1	M2	cumplimiento vida util	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible.	L1	L2	0,25	1	90	MEC	5	1	Catalogar Acople Flexible																
							desalineación de ejes moto bomba	Aleatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	N/A																
		Bomba Centrífuga AP75525A/B SP6	N/A	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0	0	0	N/A	0	1	N/A																
		Decantador Centrif Lodos ADC7551A/B	Rotura de Correas	Salida de la centrifuga	L1	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Inspeccionar el estado de las correas y verificar la tension.	L1	L2	1	1	180	MEC	20	7	N/A																
											Falla en el sistema hidraulico	Baja presion en la bomba hidraulica Motor hidraulico no opera, puede generar daños al motor hidraulico. Salida de la centrifuga	M2	M2	Fugas de aceite en el sistema hidraulico	Aleatoria	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificar el nivel de aceite hidraulico en el reservorio.	L1	L2	0,1	1	1	OPE	0	7	N/A								
																			Obstrucción parcial / total en el filtro de entrada al motor hidraulico	Aleatoria	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificar la presion diferencial del filtro de aceite hidraulico. (PO=20 ppg)	L1	L2	0,1	1	1	OPE	0	7	Catalogar Filtros de Aceite hidraulico				
																							Degradación del aceite hidraulico	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Cambio del aceite hidraulico y filtro de aceite hidraulico.	L1	L2	3	2	180	MEC	120	7	N/A
											Obstrucción en el intercambiador de calor	Alta temperatura del aceite hidraulico Alarma por alta temperatura Salida de la bomba hidraulica Salida de la centrifuga	L1	M2	Contaminación excesiva en el panel del intercambiador	Aleatoria	P01=PVO Intrusivo	Limpieza de intercambiador de calor (con aceite hidraulico)	L1	L2	1	1	180	MEC	20	7	N/A								
											Daño de Rodamientos Principales	Salida de la centrifuga Se requiere cambio de rodamientos principales.	M2	M2	Cumplimiento de vida util	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Cambiar Rodamientos Principales	L2	L2	6	2	720	MEC	240	7	N/A								
																			Degradacion de aceite lubricante	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Cambiar Aceite Lubricante	L2	L1	2	2	180	MEC	80	7	N/A				
																							Deficiente lubricacion	Desgaste Fin ciclo vida	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificar nivel de aceite lubricante.	L2	L2	0,1	1	1	OPE	0	7	N/A
Daño de roamientos internos	Salida de la centrifuga Se requiere cambio de rodamientos internos										M2	M2	Cumplimiento de vida util	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Cambiar Rodamientos Internos	L2	L2	6	2	720	MEC	240	7	N/A										
		Deficiente lubricacion	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Engrasar Rodamientos Internos	L2	L2	0,5	2	7							MEC	20	7	N/A															
No enviar agua clarificada hacia las ADAs	Agitador/Tanque Homogenei AG75516 / 17 SP6	N/A	N/A	N/A	L1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L1	0	0	0	N/A	0	2	N/A																	
																			Bomba Centrífuga AP75526A/B SP6	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	1	N/A
Degaste de componentes internos de la bomba.	Baja eficiencia del decantador y max probabilidad de operar en alto nivel de agua. Se requiere reparacion de la bomba.	M2	M2	Desgaste por vida util	Envejecimiento Lento	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L2	L2	2	1	90	CBM	40	1	Catalogar kit de reparacion de elementos de desgaste de la bomba.																			

SISTEMA	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO MANTENIBLE	DESCRIPCIÓN AMPLIADA DE MODO FALLA	EFFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	RANK - No Mitigado MODO DE FALLA	RANK - No Mitigado EQUIPO	CAUSA DE FALLA	PATRON DE FALLA	Clase Act. PM	TARJA MANTENIMIENTO	RANK - No Mitigado MODO DE FALLA	RANK - No Mitigado EQUIPO	DTM.F. (hrs)	CANT. (per-100)	EFEC. (DIAS)	CONC.A. CARGO	Costo Ocho x mes	MEI	RECOMENDACIÓN		
PAQUETE DE LODOS Deshidratación de Lodos	No enviar agua clarificada hacia las ADAs	Bomba Centrífuga AP75525A/B SP6	Daño Rodamientos	salida de la bomba y entrada en operación de bomba start-by. se requiere realizar cambio de rodamientos y revisión de componentes de la bomba.	L1	M2	cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	Catálogo Rodamientos		
							desalineación de ejes moto bomba	Aléatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	N/A		
							bajo nivel de aceite	Aléatoria	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificar el nivel de aceite de la caja de rodamientos.	L1	L2	0,1	1	7	OPE	0	1	N/A		
							degradación de aceite	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Realizar cambio de aceite de la caja de rodamientos.	L1	L2	0,5	2	180	MEC	20	1	N/A		
							soltura mecánica anclajes	Aléatoria	P01=PVO Intrusivo	Verificar ajuste de pernos de anclaje.	L1	L2	0,1	1	90	MEC	2	1	N/A		
		rotura del acople flexible	salida de la bomba y entrada en operación de bomba start-by. se requiere realizar cambio acople flexible y alineación del equipo.	L1	M2	cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Inspeccionar visualmente el estado del acople flexible.	L1	L2	0,25	1	90	MEC	5	1	Catálogo Acople Flexible			
		desalineación de ejes moto bomba	Aléatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	1	N/A							
PAQUETE DE CLARIFICACIÓN Filtros Cazaca de Nuez	No remover aceite de las aguas provenientes de las ADAs	Decantador Centriflu Lodos ADC7551A/B	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	7	N/A			
		Bomba centrífuga Retrolav SP6 AP7541A/B/C/D/E/F/G/H//I/J/K/L/M	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	3	N/A			
ASUMILIOPEC3	No realizar retrolavados para limpieza de medio filtrante	Bomba centrífuga Retrolav SP6 AP7541A/B/C/D/E/F/G/H//I/J/K/L/M	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Baja eficiencia del proceso de filtración y retrolavado. Se requiere reparación de la bomba	M2	M2	Desgaste por vida útil	Envejecimiento Lento	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L2	L2	2	1	120	CBM	40	3	Catálogo kit de reparación de elementos de desgaste de la bomba.		
			Daño Sello Mecánico	Fuga de fluido en sobre el filtro. Parada de bomba y de filtro. Se requiere cambio de sello Mecánico	L1	M2	Desalineación de ejes	Aléatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	120	CBM	0	3	N/A		
			Daño Rodamientos	Parada de Bomba y de filtro. Se requiere cambio de rodamientos de la bomba.	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	120	CBM	0	3	Catálogo Rodamientos				
					Degradación de la grasa	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Engrasar rodamientos de la bomba	L1	L2	1	1	90	MEC	20	3	N/A				
					Soltura Mecánica	Aléatoria	P01=PVO Intrusivo	Verificar ajuste de pernos de anclaje.	L1	L2	0,1	1	90	MEC	2	3	N/A				
			Rotura de Correas	Parada del Agitador. Deficiente proceso de remoción de aceite libre y sólidos suspendidos. Se requiere cambio de set de correas.	L1	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Inspeccionar el estado de las correas y verificar la tensión.	L1	L2	0,5	1	90	MEC	10	3	Catálogo Set Correas		
				Parada de Bomba y de filtro. Se requiere cambio de set de correas de la bomba	L1	M2	Desalineación de ejes	Aléatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	0	1	120	CBM	0	3	N/A		
			ASUMILIOPEC3	No recibir aguas aceitosas provenientes los CPs	Bomba Cavidad Progresiva AP7561A/B	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	5	N/A
				No bombear aguas aceitosas hacia el sistema de separación de crudo EC3. (ppm)	Bomba Cavidad Progresiva AP7561A/B	Daño Sello Mecánico	Fuga de fluido en área de bombas de sumidero. Parada de bomba Paj, y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de sello Mecánico	L1	M2	Desalineación de ejes	Aléatoria	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de Vibraciones.	L1	L2	3	1	90	CBM	60	5
										Desgaste Sello Mecánico	Desgaste Fin ciclo vida	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Inspección visual para identificar fuga excesiva en el Sello Mecánico de la bomba.	L1	L2	0,1	1	1	OPE	0	5

SISTEMA	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO MANTENIBLE	DESCRIPCIÓN AMPLIADA DE MODO FALLA	EFFECTO/CONSECUENCIA DE FALLA	Riesgo - Medio - Anticipado - Patrón de FALLA	Riesgo - Medio - Anticipado - EQUIPO	CAUSA DE FALLA	PATRÓN DE FALLA	Clase Act. PM	TAREA MANTENIMIENTO	Nivel - Anticipación - a - Inicio - de - FALLA	Nivel - Anticipación - a - Inicio - de - EQUIPO	DURADA [hrs]	CANT. [pers]	FREC. (DIAS)	GRUPO - A - CARGO	COSTO - Mano - de - obra - y - Materiales	MFI	RECOMENDACIÓN	
ASUMIC/PEC3	No bombear aguas aceitosas hacia el sistema de separación de crudo EC3. (0gpm)	Bomba Cavidad Progressiva AP7561A/B	Daño Rodamientos	Parada de Bomba Ppal, y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de rodamientos de la bomba.	L2	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de vibraciones.	L1	L2	0	1	90	CBM	0	5	N/A	
				Parada de Bomba Ppal, y entrada en operación del Stand by. Se requiere cambio de rodamiento de empuje de la bomba.	L2	M2	Deficiente lubricación	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Engrasar Rodamiento de empuje.	L1	L2	1	1	30	MEC	20	5	Catalogar Rodamientos	
	Bombear aguas aceitosas en condición de bajo flujo o baja presión de descarga.	Bomba Cavidad Progressiva AP7561A/B	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Mayor probabilidad de operación del sumidero en condición de alto nivel (H/MH). Entrada en operación del standby. Reparación de la Bomba.	M2	M2	Desgaste por vida útil	Envejecimiento Lento	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de vibraciones.	L2	L2	0	1	90	CBM	0	5	Catalogar Kit de reparación de elementos de desgaste de la bomba.	
				Atascamiento Reductor de Velocidad	Parada de Bomba Ppal, y entrada en operación del Stand by. Se requiere mantenimiento gear box	L2	M2	Cumplimiento vida útil	Desgaste Fin ciclo vida	P06=PVO Monitoreo de Condiciones	Realizar Monitoreo y análisis de vibraciones.	N1	L2	0	1	90	CBM	0	5	N/A
					Deficiente lubricación	Desgaste Fin ciclo vida	P01=PVO Intrusivo	Realizar cambio de aceite Gear Box (so ig 220- 2.5 L)	N1	L2	2	1	360	MEC	40	5	Catalogar Kit de reparación de Gear Box			
	Operar con niveles superiores a 7,7 Ft de fluido.	Bomba Cavidad Progressiva AP7561A/B	N/A	N/A	N/A	N/A	M2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L2	0	0	0	N/A	0	5	N/A
				Mayor probabilidad de operación del sumidero en condición de alto nivel (H/MH). Se requiere realizar inspección y limpieza del filtro de succión. Entrada en operación del standby.	L2	M2	Fluido Contaminado	Aleatoria	P03=PVO Cuidado Básico BEC	Verificar presión de descarga, reportar en caso de presentarse una reducción de un 70% de la presión normal de operación.	L1	L2	0,1	1	1	0PE	0	5		

Fuente: El Autor