

DISEÑO DE UN MODELO DE PRÁCTICAS Y PROCEDIMIENTOS DE
CONTINGENCIAS PARA LA OPERACIÓN DE LAS CENTRALES DE
PROCESAMIENTO DE FLUIDOS (CPF_s) DE CAMPO RUBIALES

JORGE ANDRÉS MÓNICO MUÑOZ
JUAN DAVID RODRÍGUEZ MAHECHA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C.
2019

DISEÑO DE UN MODELO DE PRÁCTICAS Y PROCEDIMIENTOS DE
CONTINGENCIAS PARA LA OPERACIÓN DE LAS CENTRALES DE
PROCESAMIENTO DE FLUIDOS (CPF_s) DE CAMPO RUBIALES

JORGE ANDRÉS MÓNICO MUÑOZ
JUAN DAVID RODRÍGUEZ MAHECHA

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO DE PETRÓLEOS

Director
Héctor Jaime Agudelo Rincón
Ingeniero de Petróleos

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C.
2019

Nota de Aceptación

Ing. Nelson Fernández Barrero
Jurado 1

Ing. Édison Enrique Jiménez Bracho
Jurado 2

Bogotá D.C., Agosto 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectoría Académica y de Postgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Ingeniería de Petróleos

Ing. JUAN CARLOS RODRÍGUEZ ESPARZA

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos agradecer especialmente a:

A Dios, por brindarnos la oportunidad de alcanzar nuestras metas y guiarnos en el camino hacia la obtención de este título.

A nuestras familias, por apoyarnos, acompañarnos y darnos la fortaleza para culminar con éxito esta carrera.

Al Director del proyecto, el ingeniero Héctor Agudelo Rincón, por la confianza y respaldo brindado a lo largo del desarrollo del proyecto. Así como por su conocimiento, participación y orientación en la culminación del mismo.

A la ingeniera Nair Milena Medina por la colaboración prestada para el desarrollo del trabajo de grado.

A Ecopetrol S.A. por darnos la oportunidad de trabajar en este proyecto y así aplicar nuestro conocimiento en pro de brindarle los mejores beneficios a la empresa.

A la ingeniera Yatnielah Pirela por su conocimiento, orientación y participación en este proyecto.

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado lo dedico en primer lugar a Dios, a mis padres Jorge Enrique Mónico y Luz Estela Muñoz por heredarme sus valores, fuerza y amor. A mi hermana Luisa Fernanda Mónico y mi sobrino Sebastián Venegas por acompañarme y apoyarme. A mi abuelo que desde el cielo me guía y me da fortaleza para alcanzar mis metas. Finalmente, a mi compañero y amigo Juan David Rodríguez y su familia por su sabiduría, paciencia, conocimiento y sobre todo por la amistad y compañía dentro y fuera de la universidad.

Jorge Andrés Mónico Muñoz

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mí familia; a mi padre Carlos Arturo Rodríguez, que desde el cielo siempre me acompaña para ayudarme a cumplir cada una de mis metas, a mi madre Luz Marina Mahecha por ser mi guía, apoyo incondicional y por ser el motor de mi vida, a mis hermanos; Andrés, Sebastián y Bryan por su compañía, por cada uno de sus consejos y su amor incondicional. Agradezco a la vida por brindarme la oportunidad de conocer a mi compañero y gran amigo Jorge Andrés Mónico; por sus enseñanzas, paciencia, consejos y gran amistad. A su familia; por abrirme las puertas de su hogar, por el cariño y compañía.

Juan David Rodríguez Mahecha

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	22
INTRODUCCIÓN	23
1 GENERALIDADES	25
1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS FACILIDADES DE PRODUCCIÓN	25
1.2 CENTRAL DE PROCESAMIENTO DE FLUIDOS A (CPF-A)	28
1.2.1 Deshidratación de crudo.	28
1.2.2 Tratamiento de agua de producción.	39
1.3 CENTRAL DE PROCESAMIENTO DE FLUIDOS B (CPF-B)	46
1.3.1 Deshidratación de crudo.	46
1.3.2 Tratamiento de agua de producción.	51
2 ESCENARIOS DE CONTINGENCIA	57
2.1 ADMINISTRACIÓN DE SEGURIDAD DE PROCESOS – SISTEMA DE GESTIÓN HSE	57
2.1.1 Estrategia de direccionamiento.	57
2.1.1.1 Política, objetivos, metas y programas de gestión.	57
2.1.1.2 Cumplimiento Legal en Seguridad de Procesos.	58
2.1.2 Gente.	58
2.1.2.1 Cultura Organizacional y Liderazgo en Seguridad de Proceso.	58
2.1.2.2 Gestión de Competencias.	61
2.1.2.3 Control de Cambios de Personal.	61
2.1.3 Información y Conocimiento.	61
2.1.3.1 Tecnología del Proceso.	61
2.1.3.2 Procedimientos y prácticas seguras.	62
2.1.4 Operaciones.	63
2.1.4.1 Operación Estructurada.	63
2.1.4.2 Control de cambios de tecnología.	63
2.1.4.3 Gestión de contratistas.	63
2.1.4.4 Planeación y respuesta a emergencias.	63
2.1.5 Recursos.	64
2.1.5.1 Integridad Mecánica y Aseguramiento de Calidad.	64
2.1.6 Riesgos y controles.	64
2.1.6.1 Análisis de Riesgo de Proceso.	64
2.1.6.2 Gestión de incidentes.	65
2.1.7 Monitoreo y mejora.	65
2.1.7.1 Evaluaciones ASP.	65
2.1.7.2 Seguimiento al desempeño.	65
2.2 COMPORTAMIENTO HSE CAMPO RUBIALES	66
2.3 ESCENARIOS DE CONTINGENCIA	69
2.3.1 Fallas en el suministro de aire industrial.	70

2.3.2 Fallas en la generación de vapor.	70
2.3.3 Falla en el sistema de Automatización y Control.	71
2.3.4 Cierre de emergencia por falla en el sistema de tratamiento de agua de vertimiento.	71
2.3.5 Falla por salida de PADs de inyección o vertimiento.	71
2.4 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGOS (RAM)	71
2.5 VALORACIÓN RAM	77
2.5.1 Fallas en el suministro de aire industrial.	77
2.5.2 Falla en la generación de vapor.	77
2.5.3 Falla en el sistema de Automatización y Control.	78
2.5.4 Cierre de emergencia por falla en el sistema de tratamiento de agua de vertimiento.	79
2.5.5 Falla por salida de PADs de inyección o vertimiento.	79
3 DISEÑO DE MODELO DE PRÁCTICAS Y PROCEDIMIENTOS	81
3.1 PELIGROS, RIESGOS Y CONTROLES DE SEGURIDAD	81
3.2 METODOLOGÍA HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY)	86
3.2.1 Nodo	86
3.2.2 Desviaciones.	86
3.2.3 Causas.	86
3.2.4 Salvaguardas.	86
3.2.5 Recomendaciones.	86
3.3 MATRIZ DE RESPUESTA A EMERGENCIAS	86
3.3.1 Acciones inmediatas.	87
3.3.2 Acciones estabilizadoras	87
3.3.3 Casillas numeradas	87
3.3.4 Relación de colores	88
3.4 ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF)	89
3.4.1 Modo de falla.	89
3.4.2 Efecto	89
3.4.3 Acciones correctivas	89
3.5 ACCIONES PARA ASEGURAR LA FACILIDAD	89
4 IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS	91
4.1 PROCEDIMIENTO FALLA EN EL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CPF-A	91
4.1.1 Flujograma.	91
4.1.1.1 Verificar el cuadro de convención de colores.	92
4.1.1.2 Analizar Matriz de Respuesta a Emergencia.	92
4.1.1.3 Tomar acciones para asegurar la facilidad.	92
4.1.2 Análisis Funcional de Operatividad (HAZOP).	97
4.1.2.1 Pérdida de visualización.	98
4.1.2.2 Pérdida de visualización y control.	100
4.1.3 Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF).	102

4.2 PROCEDIMIENTO DE FALLA POR SALIDA DE PADS DE INYECCIÓN CPF-B	106
4.2.1 Flujograma.	106
4.2.1.1 Verificar el cuadro de convención de colores.	106
4.2.1.2 Analizar Matriz de Respuesta a Emergencia.	107
4.2.1.3 Tomar acciones para asegurar la facilidad.	108
4.2.2 Análisis Funcional de Operatividad (HAZOP).	114
4.2.2.1 Verifique niveles y tiempos de llenado.	115
4.2.2.2 Deslastre inmediato de carga para apagado de pozos.	117
4.2.2.3 Normalización del sistema.	119
4.2.3 Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF).	121
4.3 VISUAL BASIC	127
4.3.1 Aplicación.	127
5 COMPARACIÓN DE LOS MODELOS DE SEGURIDAD DE PROCESO	130
5.1 ENCUESTAS	130
5.1.1 Resultados obtenidos.	131
5.1.1.1 Pregunta A.	131
5.1.1.2 Pregunta B.	132
5.1.1.3 Pregunta C.	132
5.1.1.4 Pregunta D.	133
5.1.1.5 Pregunta E.	134
5.1.1.6 Pregunta F.	135
5.2 CUADRO COMPARATIVO	137
6 CONCLUSIONES	141
7 RECOMENDACIONES	143
BIBLIOGRAFÍA	144
ANEXOS	147

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema de procesos integrados de tratamiento de crudo y agua	26
Figura 2. Esquema general de tratamiento de aguas residuales y de producción	28
Figura 3. Manifold, CPF-A	29
Figura 4. FWKO, CPF-A	30
Figura 5. Esquema intercambiadores de calor crudo-crudo	31
Figura 6. Intercambiadores de calor crudo-vapor, CPF-A	32
Figura 7. Esquema operación tratadores electrostático	33
Figura 8. Surge Tank y Tanque de Cabeza, Batería-2	35
Figura 9. SCADA CPF-A, Tratador termo electrostático	36
Figura 10. Sistema de líneas de producción para los tanques de almacenamiento	37
Figura 11. Gun Barrels, CPF-A	39
Figura 12. Esquema de proceso de tratamiento de agua	40
Figura 13. Diagrama Esquemático Depurador	42
Figura 14. Diagrama Esquemático Filtro	43
Figura 15. Diagrama Esquemático Decantadores	44
Figura 16. Piscina de vertimiento, CPF-A	45
Figura 17. Manifold interno, CPF-B	46
Figura 18. Esquema de proceso de tratamiento de crudo	47
Figura 19. Tanque Flash y Desaireador, CPF-B	49
Figura 20. Tanque KO Drum, CPF-B	50
Figura 21. Tanques de Almacenamiento, CPF-B	51
Figura 22. Skim Tank, CPF-B	52
Figura 23. Esquema trenes de tratamiento agua de producción	53
Figura 24. Tren de tratamiento de agua de producción, CPF-B	54
Figura 25. Piscina de retro lavado, CPF-B	55
Figura 26. Esquema de proceso de retro lavado	56
Figura 27. Cultura Organizacional y Liderazgo en Seguridad de Procesos	59
Figura 28. Operación estructurada	67
Figura 29. Excelencia Operacional	68
Figura 30. Matriz de Valoración de Riesgos - RAM	74
Figura 31. Flujograma	92
Figura 32. Ejemplo cara A. Ficha Técnica Sistema de Automatización y Control CPF-A, área de procesos	104
Figura 33. Ejemplo cara B. Ficha Técnica Sistema de Automatización y Control CPF-A, área de procesos	105
Figura 34. Ejemplo cara A. Ficha Técnica por Salida de PADs de Inyección CPF-B, área paquetes de tratamiento de agua	125
Figura 35. Ejemplo cara B. Ficha Técnica por Salida de PADs de Inyección CPF-B, área paquetes de tratamiento de agua	126
Figura 36. Interfase inicial	127

Figura 37. Interfase número dos
Figura 38. Interfase número tres

128
128

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Criterios de control debido al nivel de riesgo	73
Cuadro 2. Convenciones Riesgos Matriz RAM	73
Cuadro 3. Descripción Matriz de Riesgos – RAM.	75
Cuadro 4. Valoración por falla en el suministro de aire industrial	77
Cuadro 5. Valoración por falla en la generación de vapor	78
Cuadro 6. Valoración por falla en el Sistema de Automatización y Control	79
Cuadro 7. Valoración por cierre de emergencia por vertimiento	79
Cuadro 8. Valoración por falla por salida de PADs de inyección o vertimiento	80
Cuadro 9. Peligro, Riesgos y Controles de Seguridad de operación CPFs	81
Cuadro 10. Matriz de Respuesta a Emergencias CPF-A	88
Cuadro 11. Relación de colores CPF-A	89
Cuadro 12. Acciones para el área de piscinas de inyección y vertimiento CPF-A	93
Cuadro 13. Acciones para el área de paquetes de tratamiento de agua de producción CPF-A	93
Cuadro 14. Acciones para el área de Skim Tank CPF-A	94
Cuadro 15. Acciones para el área de Batería-2 CPF-A	94
Cuadro 16. Acciones para el área de procesos CPF-A	95
Cuadro 17. Acciones para el área de calderas CPF-A	95
Cuadro 18. Acciones para el área de almacenamiento CPF-A	96
Cuadro 19. Acciones para las bombas ODL y cargadero CPF-A	96
Cuadro 20. Acciones para el área de retro lavado CPF-A	97
Cuadro 21. Pérdida de visualización	98
Cuadro 22. Pérdida de visualización y control	100
Cuadro 23. Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF) en el sistema de automatización y control CPF-A	102
Cuadro 24. Relación de colores CPF-B	106
Cuadro 25. Matriz de Respuesta a Emergencias CPF-B	107
Cuadro 26. Acciones para el área de inyección CPF-B	108
Cuadro 27. Acciones para el área de paquetes de tratamiento de agua CPF-B	109
Cuadro 28. Acciones para las piscinas de ampliación CPF-B	110
Cuadro 29. Acciones para el área de Skim Tanks CPF-B	111
Cuadro 30. Acciones para el área de tanques FWKO CPF-B	111
Cuadro 31. Acciones para el área de integración térmica CPF-B	112
Cuadro 32. Acciones para el área de tanque de cabeza CPF-B	113
Cuadro 33. Acciones para el área de almacenamiento CPF-B	113
Cuadro 34. Acciones para el área de retro lavado CPF-B	114
Cuadro 35. Estimación de niveles y tiempos de maniobrabilidad	115
Cuadro 36. Deslastre inmediato de carga para apagado de pozos	117
Cuadro 37. Normalización del sistema	119
Cuadro 38. Análisis del Modo y Efecto de Falla por salida de PADs de inyección CPF-B	121

Cuadro 39. Acciones para asegurar la facilidad, última interfaz	129
Cuadro 40. Escala de ponderación	130
Cuadro 41. Puntajes Pregunta A	131
Cuadro 42. Puntajes Pregunta B	132
Cuadro 43. Puntajes Pregunta C	133
Cuadro 44. Puntajes Pregunta D	134
Cuadro 45. Puntajes Pregunta E	135
Cuadro 46. Puntajes Pregunta F	136
Cuadro 47. Cuadro Comparativos modelos Disciplina Operativa	137

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Resultados de la Pregunta A	131
Gráfica 2. Resultados de la Pregunta B	132
Gráfica 3. Resultados de la Pregunta C	133
Gráfica 4. Resultados de la Pregunta D	134
Gráfica 5. Resultados de la Pregunta E	135
Gráfica 6. Resultados de la Pregunta F	136

GLOSARIO

BS&W (*Basic Sediment And Water*): corresponde al contenido de agua libre (no disuelta) y sedimentos presentes en el crudo. El BS&W se mide a partir de una muestra líquida de fluido de producción; esta incluye agua libre, sedimento y emulsión y se mide como porcentaje de volumen del flujo de producción.

CELDA DE FLOTACIÓN (*IAF*): equipo utilizado extensivamente para el tratamiento de aguas de producción, el cual utiliza la técnica de aire inducido donde a partir de dispositivos motorizados inducen gas dentro de la fase acuosa propiciando la formación de burbujas a las cuales se adhieren las gotas de hidrocarburos.

DISCIPLINA OPERATIVA: es un método administrativo que se propone mejorar los procesos de una empresa que se logra a través del control de la tecnología, las instalaciones y el personal.

EMULSIÓN: mezcla estable y homogénea de los líquidos que no pueden mezclarse (son inmiscibles entre ellos) generada gracias a la presencia de un agente emulsificante y energía en forma de agitación.

EMULSIÓN DIRECTA: es una emulsión de agua en crudo (W/O), donde la fase continua es el aceite y la fase dispersa el agua.

EMULSIÓN INVERSA: es una emulsión de crudo en agua (O/W), donde la fase continua es el agua y la fase dispersa el aceite.

EMULSIONANTE: aditivo químico que crea una emulsión, una dispersión de un líquido inmisible en otro mediante la reducción de la tensión interfacial entre los dos líquidos para lograr la estabilidad.

FILTROS: equipo usado en el tratamiento de agua de producción, el cual proporciona un método muy efectivo para la remoción de hasta los mínimos rastros de hidrocarburos y sólidos residuales en el agua de diversos procesos y tratamientos. Consiste en hacer fluir el agua a través del filtro, de forma que el petróleo y los sólidos queden atrapados en el lecho filtrante dispuesto.

FLOCULACIÓN: proceso mediante el cual, mediante la adición de productos químicos (floculante y coagulante), se promueve la formación de flóculos o agregados de partículas que posteriormente pueden ser removidos por sedimentación, filtración o flotación.

FWKO (*Free Water Knock Out*): separador vertical u horizontal, que se utiliza principalmente para retirar agua libre. A un separador de agua libre se le denomina

separador trifásico, porque puede separar gas, petróleo o agua libre. El separador de agua libre se abrevia FWKO por sus siglas en inglés.

INTERCAMBIADOR DE CALOR: equipo que tiene la función de efectuar una transferencia de calor, donde los fluidos involucrados deben estar a temperaturas diferentes. El calor se transfiere en una sola dirección, del fluido de mayor temperatura al de menor temperatura a través de conducción o convección pero nunca por contacto entre ellos.

MANIFOLD: es un arreglo de tuberías que tiene colectores que permiten recibir y controlar adecuadamente la producción de los diferentes pozos de un campo productor. También denominado múltiple de producción, esta facilidad proporciona un adecuado manejo de la producción total de los pozos que ha de pasar por los separadores como también el aislamiento de pozos para pruebas individuales de producción.

RETRO LAVADO: etapa desarrollada en los filtros, que se inicia cuando el lecho filtrante se colmata de sólidos suspendidos y aceite, el agua no es capaz de pasar por el filtro y se incrementa la resistencia al flujo generando un aumento de presión en la entrada del filtro. Para aliviar esta presión se hace pasar el agua en el sentido contrario de filtración a través del lecho filtrante.

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*): hace referencia a un sistema de adquisición de datos y supervisión de control que permite supervisar una planta o proceso por medio de una estación central, que se comunica con los diferentes dispositivos de campo y controla el proceso de forma automática desde una pantalla.

SKIM TANK: en español tanque de desnate, son unidades diseñadas para proporcionar un alto tiempo de retención al agua de producción, periodo durante el cual se logre la coalescencia y la separación gravitacional de las fases de proceso. Se pueden encontrar Skim Tanks verticales u horizontales, además de ello pueden ser a presión o atmosféricos.

SKIMMER: es un recipiente que de acuerdo a su diseño puede ser horizontal o vertical, usado para eliminar el aceite residual del agua de formación (nata de petróleo) por gravedad.

TRATADOR ELECTROSTÁTICO: recipiente cilíndrico ubicado de forma horizontal ampliamente utilizado para la descomposición de emulsiones fuertes bajo el principio de someter a la emulsión a la influencia a de un campo eléctrico de un alto potencial, promoviendo la coalescencia de gotas de agua.

LISTA DE ABREVIATURAS

AID:	Área de influencia directa
AFO:	Análisis Funcional de Operatividad
AMEF:	Análisis del Modo y Efecto de Fallas
ANH:	Agencia Nacional de Hidrocarburos
ANLA:	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
API:	<i>American Petroleum Institute</i>
ASP:	Administración de Seguridad de Procesos
ASTM:	<i>American Society of Testing Materials</i>
BBL:	Barriles
BFPD:	Barriles de fluido por día
BOPD:	Barriles de petróleo por día
BPD:	Barriles por día
BS&W:	<i>Basic Sediment and Water</i>
BWPD:	Barriles de agua por día
CAPEX:	<i>Capital Expenditure</i>
CCM:	Centro de control y monitoreo
CPF:	Central de Procesamiento de Fluidos
CPI:	<i>Corrugated Plate Interceptors</i>
Ft:	Pies
FWKO:	<i>Free Water Knock Out</i>
HAZOP:	<i>Hazard and Operability</i>

HP:	<i>Horse Power</i>
HSE:	<i>Health Safety Environment</i>
IAF:	Flotación de aire inducido
KBOPD:	Miles de barriles de petróleo por día.
Km:	Kilómetros
KW:	Kilovatios
Lb:	Libras
mL:	Mililitros
mm:	Milímetros
MBFPD:	Millones de barriles de fluido por día
MBTU:	Millones de Unidades Térmicas Británicas
MW:	Megavatios
ODL:	Oleoducto de los Llanos
OPEX:	<i>Operational Expenditure</i>
O/W:	Aceite en agua
PMA:	Plan de Manejo Ambiental
PPM:	Partes por millón
PSI:	Libra fuerza por pulgada cuadrada
PSV:	Válvulas de Alivio de Presión
RAM:	Matriz de Evaluación de Riesgos
RPM:	Revoluciones por minuto
SCADA:	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
W/O:	Agua en aceite

° API: Gravedad API
° C: Grados Celsius
° F: Grados Fahrenheit
µm: Micrómetro

RESUMEN

El desarrollo de este proyecto está dirigido a la implementación de un modelo de prácticas y procedimientos de contingencia para la operación de los CPFs de Campo Rubiales. En primera instancia, se efectuó una descripción general de las Centrales de Procesamiento de Fluidos (CPFs) haciendo énfasis en el proceso y en los equipos usados para el desarrollo del mismo. Posteriormente, se explica el sistema de Administración de Seguridad de Procesos (ASP) de Ecopetrol S.A. junto al comportamiento HSE (Health Safety Environment) de Campo Rubiales, en donde se destacan los modelos de excelencia operacional, operación estructurada y disciplina operativa.

Prosiguiendo con el desarrollo del trabajo, se realiza la descripción de los escenarios de contingencia contemplados para la implementación de la metodología propuesta, los cuales fueron acordados con Ecopetrol S.A. Para poder estimar el nivel de criticidad se utiliza la Matriz de Riesgos (RAM), esto con el propósito de determinar la gravedad y la probabilidad de ocurrencia por cada categoría, para de esa manera lograr una valoración del riesgo a cada uno de los escenarios propuestos.

Enseguida, se explica el diseño del modelo de prácticas y procedimientos, en el cual se detallan las herramientas utilizadas, dentro de estas se encuentran: los peligros, riesgos y controles de seguridad, la metodología HAZOP (Hazard and Operability), la Matriz de Respuesta a Emergencia, el Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF) y por último, las acciones para asegurar la facilidad.

Continuando con el proyecto, se implementa el modelo diseñado por área de operación para cada una de las facilidades en el programa Microsoft Visual Studio, además de fichas técnicas. Finalmente, se realiza una comparación entre el modelo existente y el modelo implementado, tomando como base las cuatro fases de la disciplina operativa (disponibilidad, calidad, comunicación y cumplimiento). No obstante, a esto último se suma el análisis de unas encuestas efectuadas a los operadores en campo.

Palabras Clave: Disciplina Operativa, Centrales de Procesamiento de Fluidos, Campo Rubiales, Contingencias, Procedimientos.

INTRODUCCIÓN

Campo Rubiales con un área total de 150.000 acres contractuales y 99.000 acres comerciales, se localiza al sureste de los Llanos Orientales, a 465 km de Bogotá en jurisdicción del municipio de Puerto Gaitán (Meta). El campo produce 120 mil barriles de petróleo por día (KBOPD) y 3,5 millones de barriles de agua por día (MBWPD) con un corte de agua de alrededor del 95,6 % de BS&W. Este fluido de producción proveniente de las locaciones o clústers es recolectado y transferido a las Centrales de Procesamiento de Fluidos (CPF's).

Los CPF-A y CPF-B, cuentan con una capacidad de tratamiento instalada de 133 KBOPD y 126 KBOPD, respectivamente. En estas centrales se tiene como objetivo deshidratar crudo para obtener petróleo con un contenido máximo de 0,5 % BS&W.

Desde el 1 de julio de 2016 fecha en la cual Ecopetrol S.A. asumió en su totalidad la operación de Campo Rubiales, se han venido estableciendo las reglas básicas requeridas y los lineamientos recomendados para orientar la Disciplina Operativa, esto con el propósito de asegurar que todas las operaciones en cada área operativa o de instalación, se ejecuten en forma uniforme y correcta de acuerdo con el cumplimiento de los estándares y normas instauradas.

Así mismo, cabe mencionar que Ecopetrol S.A. tiene un modelo de prácticas y procedimientos, el cual está estipulado en la guía de Disciplina Operativa. De los cuales a la fecha ya se han realizado los instructivos y procedimientos en operación normal de cada etapa de tratamiento y se encuentran en etapa de comunicación y entrenamiento. No obstante, este modelo ha presentado oportunidades de mejora debido a que los incidentes se siguen presentando. Es ahí donde se debe trabajar para cerrar las brechas tanto en los procedimientos faltantes como en el compromiso del personal operativo para su cumplimiento.

Con base en lo anterior, es preciso afirmar que el presente trabajo tiene como objetivo diseñar un modelo de prácticas y procedimientos de contingencias para la operación de las Centrales de Procesamiento de Fluidos de Campo Rubiales. Dicho modelo pretende garantizar la prevención de incidentes o accidentes; de igual forma, permite una detección temprana de los riesgos del proceso estableciendo las bases para controlarlos de una manera consistente y segura. Finalmente, busca prever fallas en equipos o instalaciones que puedan ocasionar fugas, derrames, explosiones, exposición o contacto con hidrocarburos y químicos y cualquier otro tipo de riesgo que pudiera afectar al personal involucrado y/o al medio ambiente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de prácticas y procedimientos de contingencia para la operación de las Centrales de Procesamiento de Fluidos (CPFs) de Campo Rubiales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir las características de las Centrales de Procesamiento de Fluidos (CPFs), específicamente las de Campo Rubiales.
2. Identificar los posibles escenarios de contingencia en los CPFs de Campo Rubiales que generan falencias en el modelo de disciplina operativa existente.
3. Diseñar un modelo de prácticas y procedimientos enfocado en las contingencias establecidas.
4. Implementar el modelo de prácticas y procedimientos seguros de contingencias por área de operación.
5. Comparar la seguridad del proceso entre el modelo existente y el modelo implementado.

1. GENERALIDADES

En el siguiente capítulo se describirán las características generales de las facilidades de producción. Así mismo, se detallan los procesos de deshidratación de crudo y tratamiento de agua de producción que se desarrollan en las Centrales de Procesamiento de Fluidos (CPF's) de Campo Rubiales, el cual es operado por Ecopetrol S.A.

1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS FACILIDADES DE PRODUCCIÓN

El petróleo proveniente de los pozos productores de un campo petrolífero viene asociado con agua y gas según el tipo de yacimiento que se esté explotando. Cuando se tiene presencia de gas es preciso estabilizar el crudo, es decir, eliminar el gas disuelto y deshidratarlo. Por otra parte, el agua producida conjuntamente con el aceite se puede clasificar en dos tipos: el agua que se encuentra emulsionada y el agua que está libre.

El agua libre es el agua asociada con el aceite que precipita por tiempo de residencia cuando los fluidos se dejan decantar en un tanque de sedimentación; esta fase no forma parte de la emulsión. Un separador de agua libre (FWKO) es un recipiente que proporciona un espacio para que el agua libre se separe de la emulsión. Por diferencia de densidades el agua libre se decanta al fondo de la unidad, mientras que la emulsión o el petróleo se depositan en la parte superior.

Se destacan dos tipos de separadores de agua libre, el de dos fases que está diseñado de tal manera que solamente busca que el agua se separe del aceite o emulsión y el de tres fases usado para separar agua libre, gas y aceite.

Por otra parte, las emulsiones son desestabilizadas mediante el incremento de la temperatura, el tiempo de residencia, la remoción de sólidos y el control de desemulsionantes. Los métodos involucrados en la desmasificación incluyen el térmico, el mecánico, el eléctrico y el químico¹.

- El tratamiento térmico, se desarrolla con calentadores ya sean directos o indirectos. Sin embargo, en la mayoría de los casos en las facilidades de producción, estos equipos como intercambiadores crudo-crudo, crudo-vapor o crudo-agua forman parte integral del sistema de tratamiento.
- El tratamiento químico, consiste en la selección de un producto que actúe como separador de emulsión, este debe poder desactivar al agente emulsificador que rodea las gotas de agua dispersas. Tales productos químicos polares deben ser solubles en aceite y activos en la superficie, es decir, disolverse en el aceite y

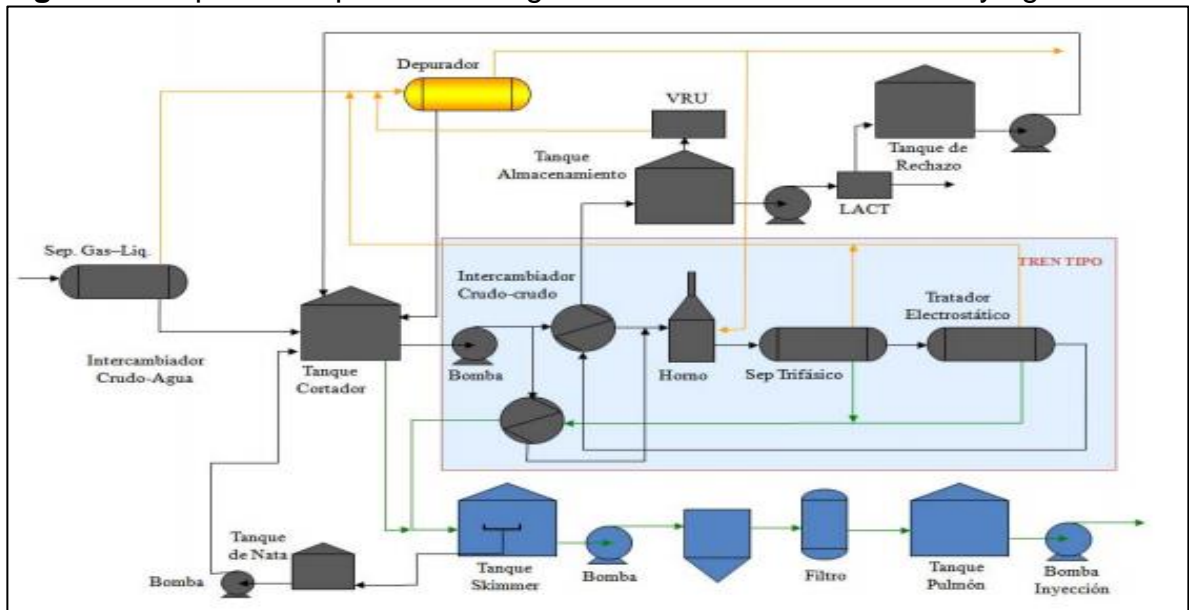
¹ GOZÁ, Osvaldo & RHACLÍ, Molina. Evaluación Energética del Tratador Térmico en la Planta de Procesamiento de Crudos de Canasí, Executive Business School. Avances en Ciencias e Ingeniería, Vol. 5, La Serena, Chile, 2014. p.41.

actuar sobre las gotas de agua para lograr su separación. En este punto cabe mencionar que los productos químicos usados para tratar emulsiones inversas (aceite disuelto en agua), difieren de los usados para emulsiones directas; el químico seleccionado debe entrar en contacto con las gotas de aceite haciendo que estas se adhieran o coalezcan para poder retirarlo en la superficie del agua.

- El tratamiento eléctrico, consiste en someter a la emulsión a un campo eléctrico intenso, generado por la aplicación de un alto voltaje entre dos electrodos. El principio de funcionamiento indica que la aplicación del campo eléctrico sobre la emulsión induce a la formación de dipolos eléctricos en las gotas de agua, lo que origina una atracción entre ellas, incrementando de esta manera su contacto y posterior coalescencia². Como efecto final, se obtiene un aumento en el tamaño de las gotas, lo que permite su sedimentación por gravedad.

En la **Figura 1** se evidencia la secuencia de tratamientos para el proceso de deshidratación de crudo. En la Figura en mención, el proceso inicia en el separador, continua en el tanque de separación primaria, posteriormente, sigue por el área de integración térmica donde se encuentran los intercambiadores de calor, el horno y los tratadores electrostáticos. Finalmente, se llega a los tanques de almacenamiento.

Figura 1. Esquema de procesos integrados de tratamiento de crudo y agua.



Fuente: GUZMAN, ALEXANDER. Proposición de Facilidades de Superficie para la Producción de crudo extra pesado con inyección de vapor en la faja petrolera del Orinoco. [En línea]. Informe de Pasantía. Universidad Simón Bolívar, Venezuela: 2008. [Consultado 15, enero 2019.] Disponible en: <https://www.academia.edu/23202489>.

² OSPINO, Diana. Optimización del tratamiento químico del fluido de producción en una facilidad mediante la simulación y análisis de la distribución de flujos. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, Colombia, 2009. P.53.

En contraste, en las facilidades de producción o Central de Procesamiento de Fluidos (CPFs), simultáneamente se efectúa el tratamiento de agua de producción. En este tratamiento, el primer equipo usado son los tanques desnatadores, los cuales proporcionan el tiempo de retención necesario para que el aceite se colecte en la parte superior del recipiente donde pueda ser recogido y desnatado.

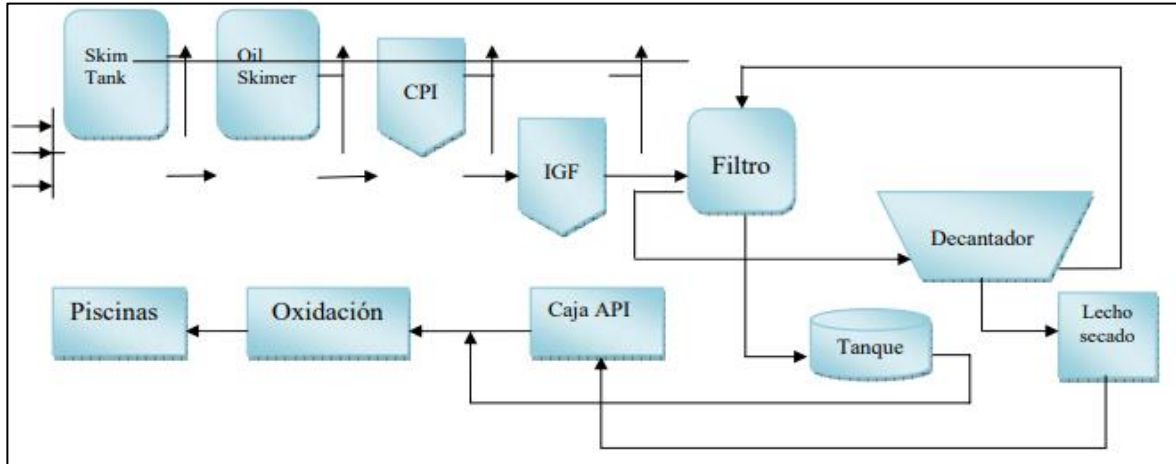
Continuando con el proceso en mención, se pueden encontrar separadores de placas paralelas, en los cuales por medio de gravedad se efectúa la separación de las fases de proceso. Prosiguiendo, se hallan las celdas de flotación, los cuales son equipos donde a partir de un gas (en la mayoría de los casos aire), se induce la formación de finas burbujas de gas en el agua, de forma que se propicia que las gotas de aceite se adhieran a estas burbujas, llevándolas a superficie y aglomerándolas en la parte superior de la unidad. Estas celdas se pueden clasificar en sistemas de flotación con gas disuelto o sistemas de flotación con gas disperso.

Finalmente, la última categoría de equipos usados en el tratamiento de agua de producción son los filtros, estos equipos se encargan de efectuar la remoción de sólidos. En los filtros, se colocan capas de medio filtrante de diferente granulometría en un recipiente. Las partículas más grandes se disponen en la parte superior y las más pequeñas en la parte inferior; donde solo las partículas más finas actúan como medio filtrante. De otra mano, las partículas de mayor tamaño son material de apoyo. Como lechos filtrantes se destacan la cascara de nuez y la cascara palma africana.

Los sólidos en suspensión deben removerse de cualquier agua que se vaya a inyectar, debido a que se propicia el taponamiento de la formación. Cabe mencionar, que a los filtros se les asocian más equipos como lo son los decantadores, los cuales son de vital importancia durante la etapa de regeneración del lecho filtrante, conocida como retro lavado. Además, de unidades de bombeo y equipos de inyección de química en caso de ser necesario.

En la **Figura 2** se muestra un esquema general de una facilidad para el tratamiento de agua de producción. En esta Figura la primera facilidad es el manifold, posteriormente, se encuentran los Skim Tanks y los Oil Skimmer, continuando en el esquema de tratamiento de agua se hallan los Skim Vessel (CPI) y las unidades de filtración con los decantadores asociados. Finalmente, se muestran las facilidades de pulimento como las piscinas de oxidación y vertimiento y por último, las facilidades para recibir las aguas aceitosas como la caja API.

Figura 2. Esquema general de tratamiento de aguas residuales y de producción.



Fuente: JAIMES, MARCELA. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras – aplicación Campo Colorado. [En línea]. Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga: 2009. [Consultado 27, enero 2019.] Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/129404.pdf>

En síntesis, las Centrales de Procesamiento de Fluidos (CPF) tienen como objetivo separar el fluido de producción proveniente de los pozos en sus dos componentes o fases, y mediante su tratamiento; asegurar que se cumplan los estándares de calidad y de control ambiental para su posterior vertimiento o disposición en el caso del agua y su transporte y comercialización en el crudo.

1.2 CENTRAL DE PROCESAMIENTO DE FLUIDOS A (CPF-A)

El CPF-A cuenta con una capacidad de tratamiento instalada de 133 KBOPD y se tiene como objetivo deshidratar crudo para obtener un producto con un contenido máximo de 0,5% BS&W. De igual forma, simultáneamente se efectúa el tratamiento de agua de producción para su posterior inyección en los PADs o su vertimiento en los cinco puntos dispuestos en el Caño Rubiales.

1.2.1 Deshidratación de crudo. Las facilidades del CPF-A, cuentan actualmente con dos manifold, para el recibo de los fluidos provenientes de los clústeres donde se encuentran ubicados los pozos productores del campo; el manifold 100K con su respectiva ampliación y el manifold 40K en Batería-2.

El flujo que pasa por el sistema de ampliación del manifold es de 500 KBFPD por cada uno de los tres colectores, con una temperatura de pozo entre 140 y 150°F y a una presión entre 16 – 24 psi. Medidores de presión y temperatura están dispuestos en la línea de entrada a los manifold para efectos de seguridad y calidad del proceso. Los colectores de la ampliación, se encuentran conectados al manifold

100K por una línea de interconexión regulada por medio de válvulas de compuerta ubicadas en los extremos. Tal como se evidencia en la **Figura 3**.

Estas facilidades de recibo permiten distribuir equitativamente la producción de los pozos de Campo Rubiales que llegan al CPF-A, a través de líneas independientes hacia los tanques FWKO; logrando de esa forma obtener una capacidad de tratamiento de 1.500.000 BFPD.

Figura 3. Manifold ampliación 100K, CPF-A.



Fuente: ECOPETROL S.A. Manual para las Operaciones Generales de la Producción en la GOR. Documentos Operativos de Desarrollo y Producción, Departamento de Producción Oriente, 2017.

Los tanques de separación de agua libre o FWKO reciben el fluido proveniente de los manifold anteriormente mencionados con un contenido de agua y sedimentos de alrededor de 97% BS&W. En estos tanques se efectúan los tratamientos químico y térmico a lo que se debe sumar un proceso de decantación.

El tratamiento químico consiste en la inyección de un desemulsionante (rompedor directo), el cual tiene como objetivo romper la emulsión agua-crudo facilitando la separación de las dos fases del proceso. El tratamiento térmico se efectúa por la circulación del crudo deshidratado proveniente de los tratadores electrostáticos por los serpentines internos del FWKO, de manera que este último que tiene una mayor temperatura le transfiere calor al crudo de proceso. Finalmente, el proceso de decantación se da por tiempo de residencia, donde por diferencia de densidades el agua se deposita en la parte baja de la unidad mientras que el crudo se establece en la parte superior del tanque.

El crudo de proceso sale de los FWKOs por medio de un colector ubicado a 36 ft de altura y es enviado al tanque de cabeza por gravedad con un contenido de BS&W entre 30 a 35%. Cabe señalar, que tanto el nivel del tanque como el porcentaje de interface se mantienen, debido a la succión de agua de producción por una batería de bombas centrífugas, cada FWKO cuenta con tres (3) de estos equipos y adicionalmente con una de Back up. Estas unidades de bombeo regulan su frecuencia aproximadamente en 60 Hz según la cantidad de fluido a desalojar y de acuerdo al porcentaje de interface estipulado. El agua libre es transferida a los Skim

Tanks con una concentración de aceite entre 1.000 y 2.000 ppm siendo este el punto de partida del tratamiento de agua de producción. En la **Figura 4** se muestran la entradas y salidas de fluido de uno de los FWKOs del CPF-A.

Figura 4. FWKO, CPF-A.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez el crudo llega al tanque de cabeza, se lleva a cabo la etapa de separación secundaria del fluido por medio de calentamiento³. Esta facilidad corresponde a un tanque atmosférico de techo fijo con una capacidad nominal de 41.000 BBL y que internamente cuenta con cuatro (4) serpentines de vapor de alta temperatura y cuatro (4) salidas de condensado que permiten el aumento de temperatura del fluido, favoreciendo su separación y logrando reducir el BS&W entre un 10 y 12%. El vapor utilizado para alcanzar una temperatura de fluido cercana a los 180°F proviene del área de calderas.

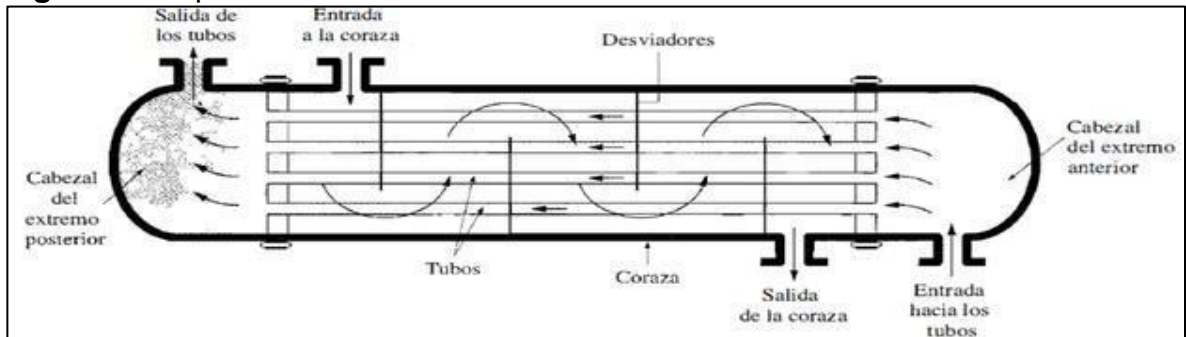
El tanque de cabeza cuenta con un rebosadero de crudo ubicado a 10 ft de altura y por medio de un set de bombas de desplazamiento positivo (tipo doble tornillo), esta fase de proceso, es transferida a los intercambiadores crudo-crudo. Por otra parte, el agua de producción decantada es desalojada hacia los Skim Tanks por medio de unas unidades de bombeo que succionan el agua a través de una boquilla ubicada a 1 ft de altura en la parte inferior del tanque.

Los intercambiadores de calor crudo-crudo con una capacidad nominal de 25 KBO y una capacidad de tratamiento de 60 KBOPD constituyen la primera parte del

³ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Manual para las Operaciones Generales de la Producción en la GOR. Campo Rubiales, 2017. p. 33.

sistema de calentamiento del crudo de proceso⁴. El aceite proveniente del tanque de cabeza ingresa a la coraza de estos intercambiadores con una temperatura alrededor de 175°F, internamente estos equipos cuentan con serpentines donde circula el crudo deshidratado proveniente de la salida de los tratadores electrostáticos. El intercambio de calor entre los dos fluidos se da por conducción y convección, logrando de esa manera alcanzar una temperatura en el crudo de proceso a la salida de estas unidades de 180°F. De igual forma, se busca disminuir la temperatura del crudo deshidratado para su posterior transferencia a ODL. El paso de fluido de proceso por la carcasa y el paso de crudo deshidratado por los tubos se puede evidenciar en la **Figura 5**, se observa que la entrada de crudo de proceso se da por la parte superior del equipo y la salida por la parte inferior. De otro lado, el crudo de mayor temperatura, en este caso el crudo deshidratado, ingresa por la parte inferior y sale por una boquilla en la parte superior del intercambiador de calor crudo-crudo.

Figura 5. Esquema intercambiador de calor crudo-crudo.



Fuente: ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional para la Operación de Intercambiadores crudo-crudo en el CPF-A, 2017.

Continuando con el proceso de deshidratación del aceite, el crudo de proceso ya con mayor temperatura, es direccionado manualmente hacia los intercambiadores de calor crudo-vapor. Estas unidades con una capacidad de tratamiento de 22.000 BOPD constituyen la segunda fase de calentamiento y tienen como objetivo aumentar la temperatura del fluido en mención alrededor de 212°F, para lograr una óptima separación de la emulsión en los tratadores electrostáticos⁵.

El crudo ingresa por la coraza del equipo con una temperatura de 180°F e internamente cuentan con serpentines por donde circula vapor saturado a 250°F proveniente del área de calderas. El vapor permite el calentamiento del crudo de proceso por medio de conducción y convección, en estas unidades se logra una

⁴ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional para la Operación de los Intercambiadores Crudo-Crudo, 2017. p. 28.

⁵ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional para la Operación de Tratadores Electroestáticos, 2017. p. 21.

transferencia de calor del orden de 10,43 MBTU/h a su máximo flujo. Debido al intercambio de calor entre los serpentines y el crudo que circula por la coraza, el vapor que circula por estos tubos de menor diámetro se condensa y sale a una temperatura aproximada de 200 a 220°F de vuelta a calderas para nuevamente ser calentado y llevado a fase vapor. En la **Figura 6** se evidencian la disposición en campo de los intercambiadores de calor crudo-vapor del CPF-A.

Figura 6. Intercambiadores de calor crudo-vapor CPF-A.



Fuente: ECOPETROL S.A. Manual para las Operaciones Generales de la Producción en la GOR. Documentos Operativos de Desarrollo y Producción, Departamento de Producción Oriente, 2017.

Posteriormente, el crudo de proceso calentado en los dos tipos de intercambiadores de calor, es transferido por medio de la alineación de válvulas hacia los tratadores electrostáticos. Todos los tratadores operan en paralelo, de forma que en la entrada de cada unidad existe un control de flujo con el fin de equilibrar las tasas a la entrada de cada equipo⁶.

En estos tratadores, el fluido ingresa a una sección de coalescencia a través de una boquilla de entrada que comunica a un distribuidor con pequeños orificios dispuestos de tal manera que proporcionan una distribución uniforme del fluido dentro del recipiente, logrando un aumento en su tiempo de residencia y contacto.

Los procesos de deshidratación electrostática consisten en someter la emulsión a un campo eléctrico intenso, generado por la aplicación de un alto voltaje entre dos electrodos. La aplicación del campo eléctrico sobre la emulsión induce la formación de dipolos eléctricos en las gotas de agua, lo que origina una atracción entre ellas, incrementando su contacto y posterior coalescencia. Como efecto final, se obtiene un aumento en el tamaño de las gotas, lo que permite la decantación por gravedad⁷.

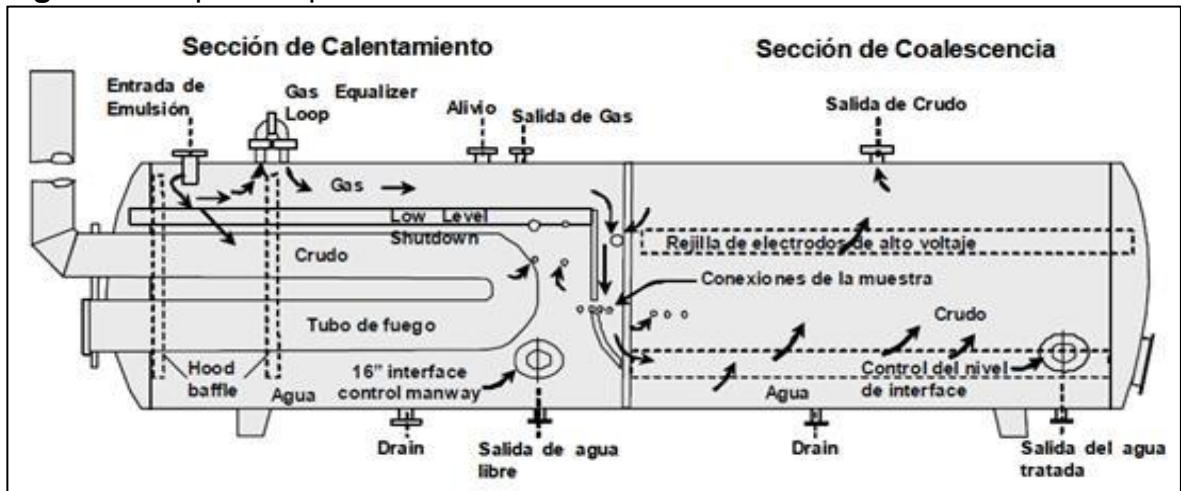
⁶ ECOPETROL S.A. Manual para las Operaciones Generales de la Producción en la GOR, Op. cit., p. 35.

⁷ *Ibíd.*, p. 35.

Las gotas de agua se unen al lecho de agua y son drenadas por medio de boquillas con interruptores vórtice. El crudo deshidratado se aloja en la parte superior del recipiente por medio de unas rendijas ubicadas longitudinalmente, que están conformadas por orificios que garantizan la recolección uniforme del crudo ascendente. El crudo deshidratado que sale de los tratadores tiene un BS&W entre 0,5 y 1% y una temperatura aproximada de 205°F.

En la **Figura 7** se muestran las secciones de un tratador electrostático las cuales son la de calentamiento donde se produce el aumento de temperatura del fluido y la sección de coalescencia donde se produce la separación de las gotas de crudo con la fase agua. Así mismo, se evidencian sus componentes internos como las rejillas de electrodos y la instrumentación de control de nivel y temperatura asociada. Además, de los componentes externos dentro de los cuales se destacan los tubos de fuego, los drenajes y los dispositivos de seguridad.

Figura 7. Esquema operación tratadores electrostáticos.



Fuente: ECOPEPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional para la Operación de Tratadores Electrostáticos en el CPF-A, 2017.

Posteriormente, el crudo deshidratado es direccionado para ingresar en los serpentines de los intercambiadores crudo-crudo, al igual que en los serpentines de los FWKOs como se explicó previamente. La anterior alineación se efectúa previa al ingreso de los tanques de almacenamiento, con el fin de garantizar las especificaciones de venta estipuladas para transferir al Oleoducto de los Llanos.

En este punto, vale la pena recordar que en el CPF-A se cuenta con dos áreas de tratamiento de fluidos que trabajan simultánea y conjuntamente para permitir una mayor capacidad de procesamiento. El área de procesos compuesta por FWKOs, tanque de cabeza, intercambiadores crudo-crudo, intercambiadores crudo-vapor y tratadores electrostáticos. De otro lado, el área de Batería-2 que cuenta con

intercambiadores crudo-crudo, crudo-vapor e intercambiadores crudo-agua, tanques de separación primaria (Surge Tanks), tanque de cabeza y tratadores termo electrostáticos.

El área de Batería-2 cuenta con un manifold de recibo de 40 KBFPD que permite la transferencia de fluidos desde los pozos hasta los tanques de separación primaria, para su respectivo tratamiento. Adicionalmente, cuenta con una línea de interconexión con el manifold 100K a la entrada del CPF-A, que tiene como finalidad distribuir el fluido que ingresa de los colectores hacia las demás facilidades, esto en caso de que alguna línea sufra sobrepresión, pitting o se desee hacer mantenimiento⁸. En operación normal, el manifold 40K opera a presiones entre 26 y 34 psi y la temperatura a la que ingresa el fluido se encuentra entre 140 y 150°F.

El manifold cuenta con tres (3) líneas de salida, la primera dirige el fluido directamente a los colectores de los Surge Tank. La segunda, dirige el fluido hacia los intercambiadores crudo-agua y la tercera transfiere el fluido hacia los intercambiadores crudo-crudo y posteriormente por medio de un arreglo de válvulas a los colectores de los Surge Tank para su eficiente separación⁹.

El área de Batería-2 cuenta con dos tanques de separación primaria o Surge Tanks de 24.000 BBL de capacidad nominal y 150.000 BFPD de capacidad de tratamiento. Son tanques cilíndricos de 48 ft de altura y 60,5 ft de diámetro, que operan fluidos desde 154°F hasta 250°F de temperatura a presión atmosférica.

Estos tanques internamente no cuentan con serpentines de agua, vapor o crudo a diferencia de los FWKO, por lo que la fase de incremento de temperatura o calentamiento se debe efectuar previamente en los intercambiadores anteriormente mencionados. Los dos equipos funcionan simultáneamente, es decir, que los intercambiadores entregan en paralelo el fluido al sistema de los Surge Tanks con el fin de obtener crudo con un porcentaje de BS&W aproximado de 30%. No obstante, estos tanques internamente están diseñados para realizar una separación crudo-agua por un proceso de lavado de crudo junto a la acción de la gravedad.

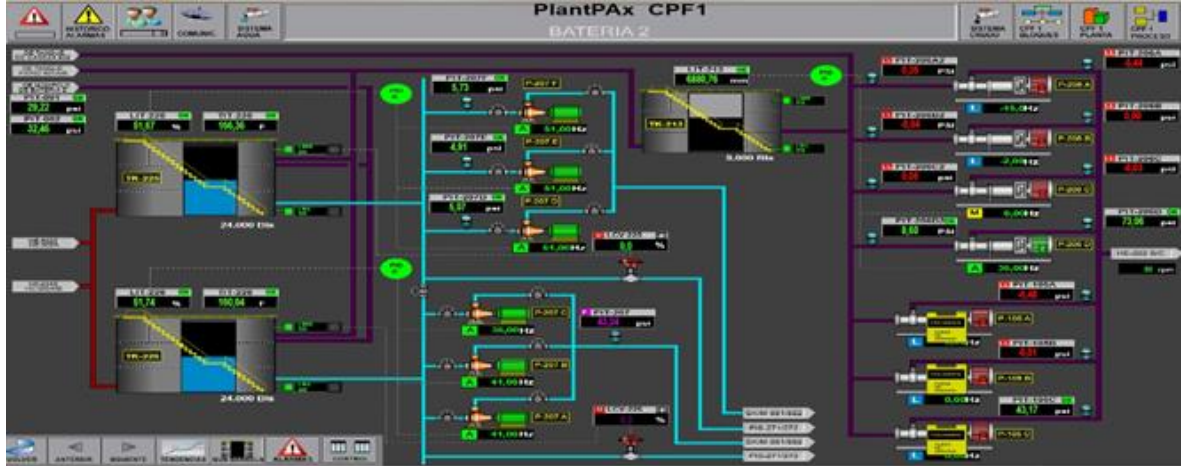
Así mismo, tampoco cuenta con caja de rebose interna, de forma, que el crudo separado que sale del tanque con un BS&W de alrededor de 25 a 35% rebosa directamente al tanque de cabeza.

La interface y el nivel de los Surge Tanks, es controlada por bombas de transferencia de agua que direccionan el agua de producción hacia los Skim Tanks con un contenido de grasas y aceites entre 1.000 y 2.000 ppm. En la **Figura 8** se evidencia la distribución en campo de los Surge Tanks junto al tanque de cabeza en el área de tratamiento de Batería-2.

⁸ *Ibíd.*, p. 36.

⁹ *Ibíd.*, p. 36.

Figura 8. Surge Tanks y Tanque de Cabeza, Batería-2.



Fuente: ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional para la Operación de Tanque Surge Tank y Bombas de Transferencia de agua CPF-A, 2017.

El crudo rebosado desde los Surge Tanks, llega por gravedad al tanque de cabeza, el cual tiene una capacidad nominal de 9.400 BBL, allí por medio del calentamiento del fluido mediante la circulación de vapor saturado proveniente del área de calderas el cual viaja a través de los serpentines internos, se logra una reducción del BS&W a un porcentaje menor al 12%.

El crudo de proceso separado en el tanque de cabeza es transferido por medio de unidades de bombeo tipo cavidades progresivas hacia los intercambiadores de calor crudo-agua, con el fin de efectuar la primera fase de calentamiento de crudo y elevar su temperatura a unos 180°F¹⁰. El agua usada para calentar el crudo de proceso proviene de la descarga de los tratadores termo electrostáticos. Estos intercambiadores tipo tubo coraza tienen la capacidad de transferir 6,5 MBTU/h de calor.

El crudo que sale de dichos intercambiadores, se transfiere hacia los intercambiadores crudo-crudo del sistema de integración térmica, para aumentar aún más su temperatura por medio de la transferencia de calor por conducción y convección con el crudo deshidratado. Finalmente, el crudo de proceso se transfiere a la tercera fase de calentamiento, es decir, los intercambiadores crudo-vapor que cumplen la misma función que los intercambiadores del área de procesos, estos equipos tienen la capacidad de transferir 8,3 MBTU/h de calor.

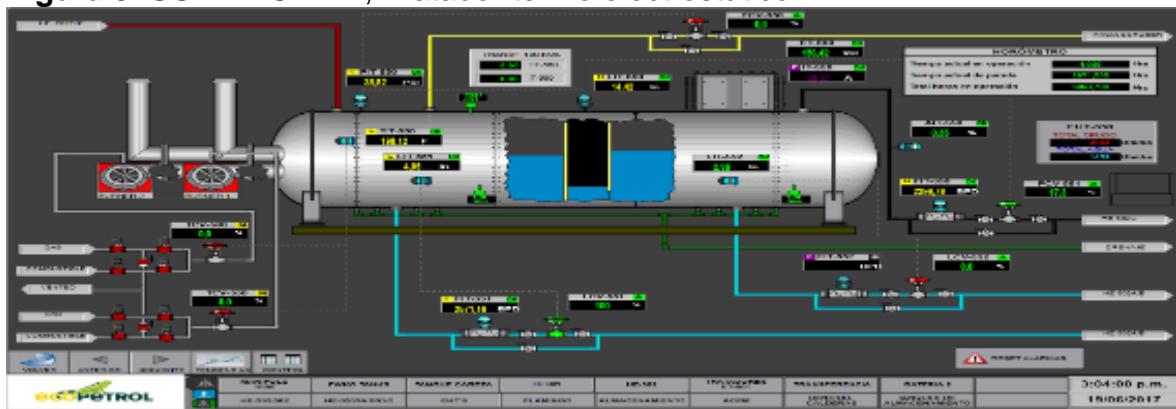
Al alcanzar la temperatura óptima en el sistema de integración térmica, el crudo de proceso es transferido por medio de un arreglo de válvulas hacia los tratadores

¹⁰ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional para la Operación de Tanque Surge Tanks y Bombas de Transferencia de agua, 2017. p. 16.

termo electrostáticos. Estas unidades cuentan con capacidades de tratamiento de 8.000 BOPD y 12.000 BOPD. En estos equipos, al igual que en los tratadores del área de procesos, por medio de corriente eléctrica se favorece la coalescencia de las partículas de agua para su decantación y separación en las bandejas. Sin embargo, antes de ingresar a la zona de coalescencia estos equipos cuentan con un quemador que permite una transferencia extra de temperatura, favoreciendo el rompimiento de la emulsión dentro del recipiente.

El fluido al salir de los tratadores termo electrostáticos sale con una temperatura superior a los 210°F, una temperatura muy superior para las condiciones de almacenamiento y venta hacia ODL¹¹. Para disminuirla, el crudo deshidratado entra a los intercambiadores de crudo-crudo para transferir 3,62 MBTU/h al crudo de proceso y de esta forma reducir la temperatura de descarga para poder finalmente ingresar a los tanques de almacenamiento. En la **Figura 9** se evidencia un diagrama del proceso y la instrumentación relacionada a un tratador termo electrostático del CPF-A.

Figura 9. SCADA CPF-A, Tratador termo electrostático.



Fuente: ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional para la Operación de Tratadores Termo electrostáticos en el CPF-A, 2017.

El CPF-A cuenta con cinco (5) tanques de almacenamiento de diferentes capacidades donde llega el crudo deshidratado de proceso, allí se fiscaliza y se despacha al oleoducto o por medio de tracto camiones con las especificaciones de venta¹².

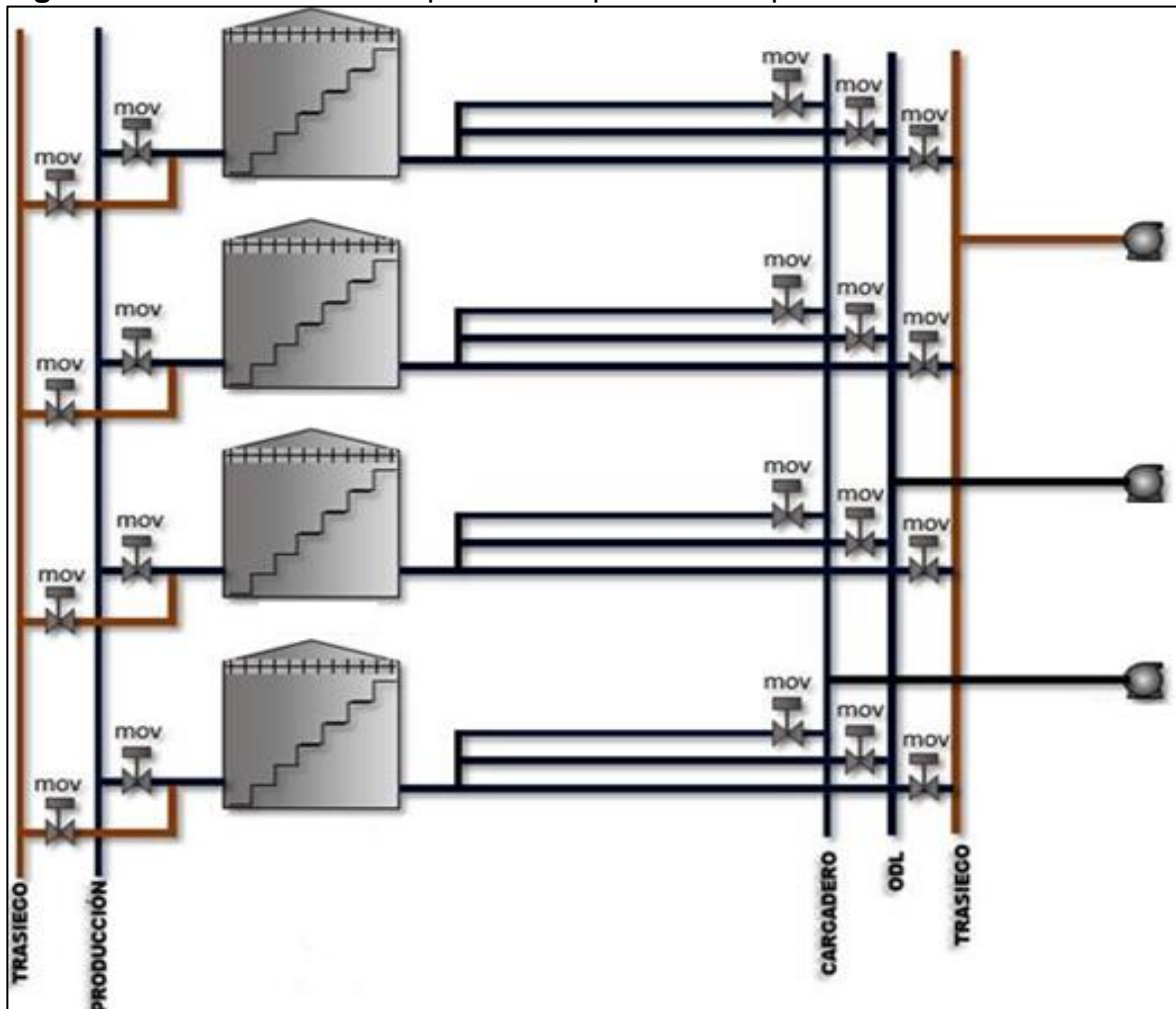
Los tanques de almacenamiento cuentan con boquillas de salida y boquillas de entrada, tanto para recibir el crudo proveniente del área de tratadores como para despacharlo a venta por medio de las bombas de transferencia. La descarga de

¹¹ ECOPETROL S.A. Manual para las Operaciones Generales de la Producción en la GOR. Op. cit., p. 38.

¹² ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional para la Operación de Tanques de Almacenamiento del CPF-A, 2017. p.23.

cada tanque está conectada a tres sistemas de bombeo, la primera hacia el cargadero, la segunda hacia ODL y la tercera permite el trasiego de tanques, es decir, la transferencia de fluido de un tanque de almacenamiento a otro o a un tanque adicional denominado de trasiego. Cabe señalar, que la disposición de facilidades de bombeo que se tienen en campo permite succionar simultáneamente de un tanque por sistema. Es el operador por medio de las válvulas MOV quien selecciona el sistema de bombeo requerido dependiendo de la operación del tanque. El sistema de alineación de válvulas según el desarrollo de la operación se evidencia en la **Figura 10**.

Figura 10. Sistema líneas de producción para los tanques de almacenamiento.



Fuente: ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional para la Operación de Tanques de Almacenamiento en el CPF-A, 2017.

En el desarrollo normal de la operación, se contempla que estos tanques de almacenamiento tengan una dinámica de rotación, lo cual permite que el proceso de entrega, puesta a punto y despacho se efectúe de manera continua.

- Tanque de recibo de producción: hace referencia al tanque que está alineado de manera directa con el proceso de tratamiento y se tiene como referencia para la liquidación de producción diaria.
- Tanque de venta: es el tanque empleado para las entregas realizadas a las dos diferentes salidas de producto que tiene la estación; ventas por ODL y ventas por tracto camión. El crudo en este punto debe estar bajo especificaciones (BS&W menor a 0,5% y temperatura hasta los 173°F).
- Tanque de drenaje: es el tanque dispuesto para la puesta a punto del producto de la producción, por medio de tiempo de residencia y el drenaje del agua libre restante.

Cuando el tanque termina de despachar el crudo de venta, este se prepara y se alinea para comenzar a recibir el crudo de producción y el tanque que estaba en la etapa de drenado con crudo dentro de especificaciones, comienza a ser bombeado hacia ODL o el cargadero¹³. Es de esta forma dinámica que se garantiza siempre un tanque de recibo, otro en drenaje y otro despachando a venta.

Los fluidos drenados de los tanques de almacenamiento durante el tiempo de puesta a punto son transferidos a Gun Barrels, dispuestos en el área de Batería-2. Estos tanques cilíndricos de tipo atmosférico con una capacidad nominal de 1.000 BBL tienen como objetivo recuperar parte del crudo remanente por medio de un tratamiento térmico. Internamente estas facilidades cuentan con serpentines, por donde circula vapor cuyo fin es aumentar la temperatura del fluido alrededor de 180 °F y junto al tiempo de residencia lograr la separación de las fases del proceso por diferencia de densidades.

Durante la residencia en dichos tanques el crudo tiende a colectarse en la parte alta de la unidad, mientras que el agua se decanta en el fondo del tanque estableciendo dos fases heterogéneas con un nivel promedio de 30 a 40% de interface¹⁴. El agua libre separada es drenada por medio de una válvula de salida ubicada en la base del tanque y es transferida por gravedad hacia un skimmer y una piscina, los cuales hacen parte de la red de drenaje de aguas aceitosas que tienen como objetivo evacuar las aguas con contenido de residuos aceitosos, permitiendo una separación final del aceite y el agua.

El skimmer corresponde a una caja que permite retirar parte de las trazas de aceite por medio de bahías, con el fin de que el agua transferida a la piscina contenga

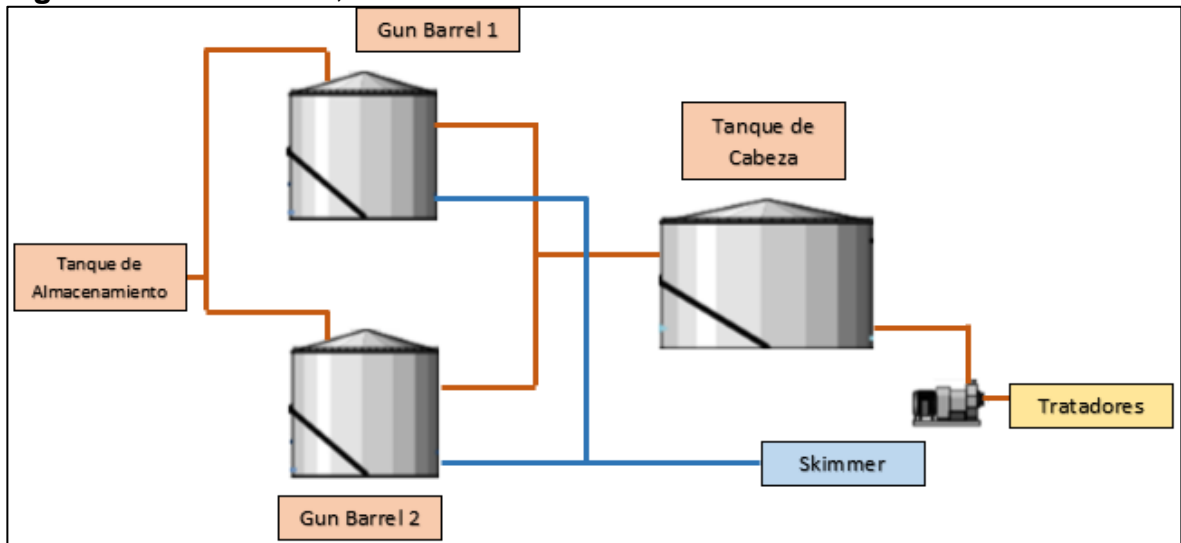
¹³ ECOPETROL S.A. Manual para las Operaciones Generales de la Producción en la GOR. Op. cit., p. 38.

¹⁴ *Ibid.*, p. 39.

menos concentración de grasas. La piscina es un estanque que tiene como objetivo recuperar el crudo de los drenajes de contrapozo para procesarlo de nuevo¹⁵.

Finalmente, el crudo separado en los Gun Barrels, rebosa al tanque de cabeza ingresando nuevamente al proceso de deshidratación de crudo, garantizando la mayor obtención de crudo como producto final de venta. En la **Figura 11** se evidencia la distribución en campo de los dos Gun Barrels ubicados en el área de Batería-2.

Figura 11. Gun Barrels, CPF-A.



Fuente: Elaboración propia.

1.2.2 Tratamiento de agua de producción. El tratamiento de agua de producción inicia en los Skim Tanks con el proceso de separación de las trazas de crudo emulsionado, que se encuentra en el fluido proveniente de la salida de agua de los tanques FWKO, drenaje de los tanques de cabeza y tratadores electrostáticos en el área de procesos. De igual forma, se recibe agua separada de los Surge Tanks y de los tratadores termo electrostáticos provenientes del área de Batería-2.

En los Skim Tanks se efectúa un proceso mecánico de decantación donde por medio de tiempo de residencia se busca separar las fases de proceso. Sin embargo, este proceso es complementado con un tratamiento químico mediante la adición de un desemulsionante (rompedor inverso).

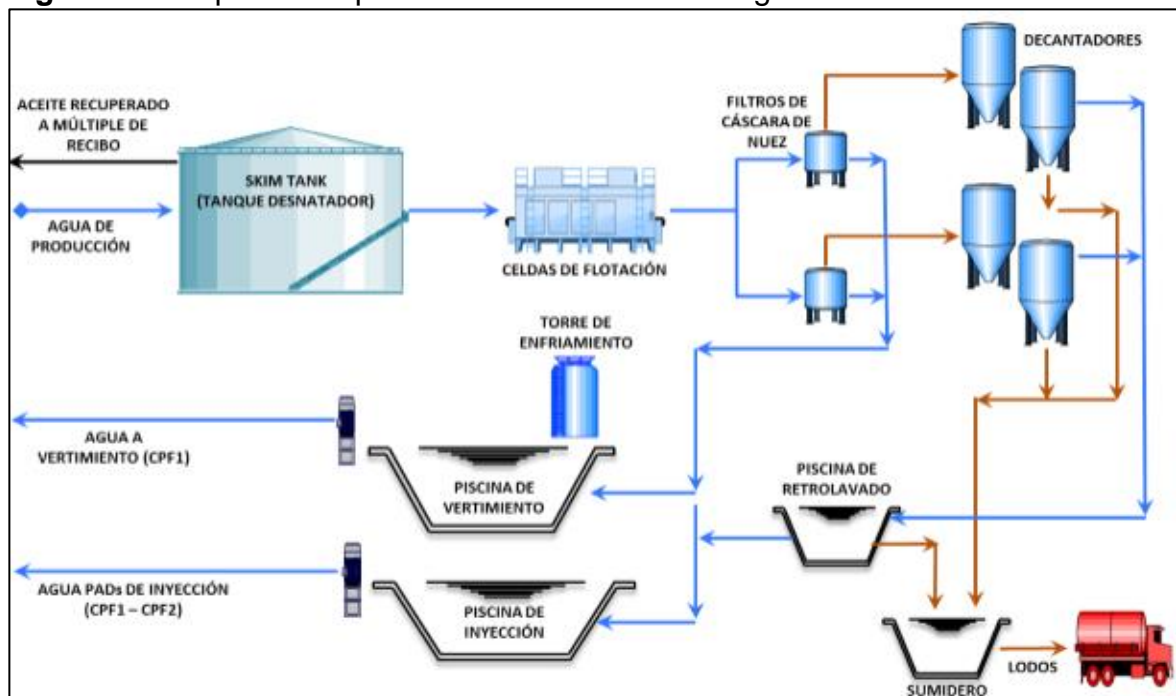
En esta primera etapa de tratamiento, se logra separar parte del agua libre y el crudo, por diferencia de densidades el crudo se colecta en los baffles de rebose en la parte superior del recipiente, mientras que el agua al ser más densa se encuentra

¹⁵ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional para la Operación del Sistema de Recuperación Gun Barrel y Bombas de transferencia en CPF-A, 2017. p.16.

en la parte baja de la unidad. En este punto cabe señalar, que cada Skim Tank cuenta con un patín de bombas tanto para la transferencia del agua libre como para el crudo.

Tanto los tanques como las bombas asociadas se encuentran protegidas por sistemas de seguridad instrumentada según sea el caso. Para los tanques se cuenta con switches de nivel, sensores de nivel tipo radar, válvulas de presión y vacío, y válvulas de control a la entrada. Por su parte, las unidades de bombeo tienen sensores de presión en succión y descarga, filtros tipo canasta y válvulas PSV. En la **Figura 12** se puede observar un esquema general del proceso de tratamiento de agua de producción, donde como se observa se inicia el proceso en los tanques de desnate también conocidos como Skim Tanks, posteriormente es transferido por medio de unidades de bombeo a los trenes de tratamiento el cual consta de la celda de flotación, los filtros de cascara de nuez o de palma africana y los decantadores asociados.

Figura 12. Esquema de proceso de tratamiento de agua.



Fuente: ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Campo Rubiales. Informe Técnico Anual 2016 – Informe Ejecutivo Semestral II Semestre 2016.

La batería de unidades de bombeo para transferencia de agua libre de producción, direcciona el fluido hacia los trenes de tratamiento de agua de producción. Por otra parte, el set de bombas de transferencia de crudo retornan el aceite recolectado en los bafles de rebose o en las botas recolectoras según sea el caso hacia el manifold de producción para ser aprovechado nuevamente.

Como criterio en la operación se busca mantener los niveles a la misma altura de los reboses de los tanques o subir el nivel en el mismo por medio de bajas frecuencias en las bombas de transferencia de agua, para poder remover la nata de crudo que se forma en la superficie.

Después de realizar el primer proceso de acondicionamiento del agua en los Skim Tanks, el agua se transfiere a los paquetes de tratamiento. Cada paquete contempla dos trenes de tratamiento. El CPF-A cuenta con quince de estos trenes, once de ellos con una capacidad de tratamiento de 100.000 BWPD y 4 con una capacidad de 150.000 BWPD para un total de 1,7 MBWPD. Adicionalmente, cuenta con dos trenes de 40 KBWPD y 60 KBWPD respectivamente, destinados al reproceso o recirculación para el agua proveniente de los ciclos de retro lavado o regeneración de lechos filtrantes¹⁶.

Cada tren de tratamiento de capacidad de 100 KBWPD constan de dos Skim Vessel los cuales actúan como una vasija de desnate, donde a través de tiempo de residencia se separan las dos fases del proceso, el crudo es transferido a los Surge Tanks de Batería-2 mientras que el agua de producción por gravedad es direccionada hacia la celda de flotación.

El agua proveniente de los Skim Vessel ingresa a las celdas de flotación (IAF) con un contenido de grasas inicial entre 125 a 600 ppm y una temperatura media de 145°F. Una vez dentro de la celda se induce aire al fluido por medio de cuatro (4) agitadores ubicados en los compartimientos del equipo, tal como se observa en la **Figura 13**. A la entrada de la celda se inyecta floculante y a la salida coagulante, facilitando de esta forma que el aceite se adhiera a las burbujas de aire generadas, llevando consigo el aceite hacia la parte superior de la celda.

¹⁶ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional Trenes de Tratamiento de agua 5-8 Sistema Wemco Petreco. CPF-A, 2017. p. 25.

Figura 13. Celda de flotación (IAF)



Fuente: Elaboración propia.

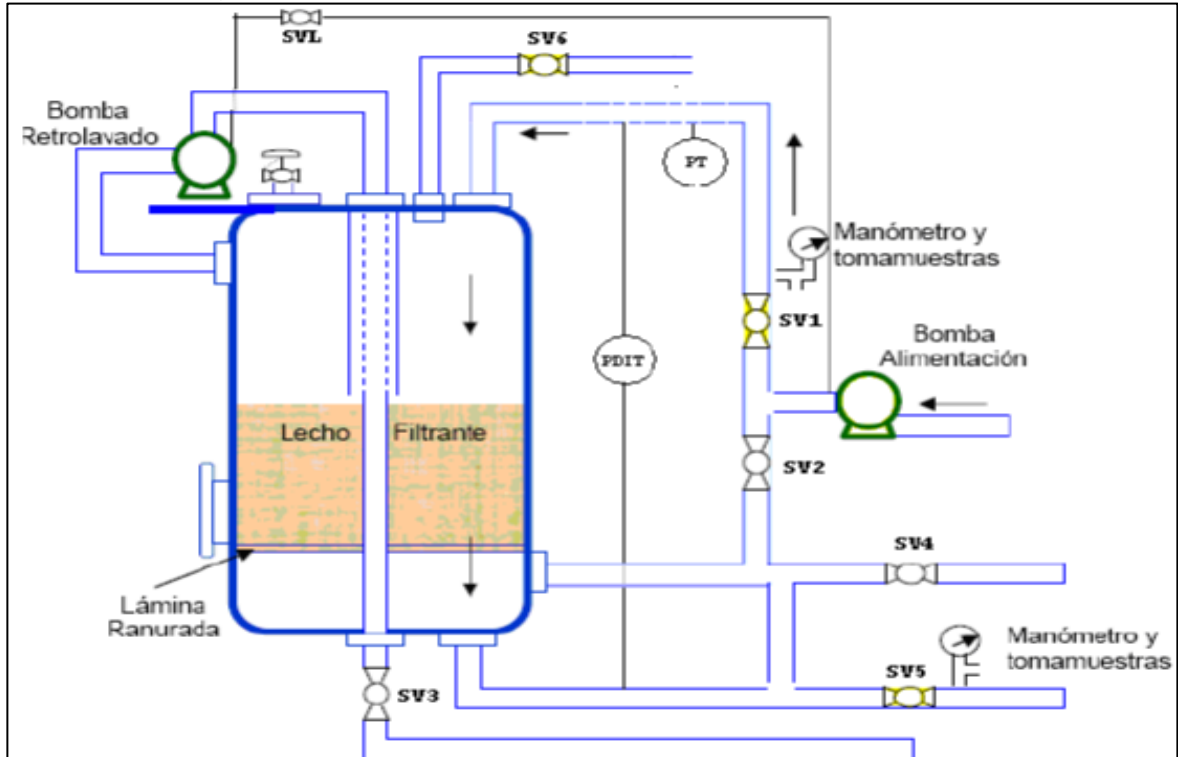
El crudo es recuperado por medio de los colectores ubicados en los laterales de la celda en donde rebosa. Posteriormente, por medio de unidades de bombeo el crudo es transferido al manifold 40K de Batería-2 donde inicia nuevamente el proceso de deshidratación¹⁷. El agua de producción sale de las celdas de flotación con una concentración de grasas y aceites de alrededor de 40 ppm y es transferida por medio de un patín de bombas hacia los filtros.

El agua proveniente de las celdas de flotación, en operación normal ingresa por la parte superior de los filtros, donde inicia la etapa de filtración. Dicho proceso consiste en hacer pasar el agua a través de un lecho filtrante el cual puede ser cascara de nuez o de palma africana en donde se acumulan las impurezas del agua.

En este punto termina el proceso de separación de aceites inmersos en el agua por medio de la propiedad de absorción que posee el lecho, logrando retener el contenido de aceite, dejándolo en una concentración de 10 ppm que es lo que según licencia ambiental está estipulado para inyección y valores menores a 1 ppm para vertimiento. En la **Figura 14** se evidencia el diagrama esquemático del filtro, junto a los equipos e instrumentos de control asociados.

¹⁷ *Ibíd.*, p. 26.

Figura 14. Diagrama Esquemático Filtro.



Fuente: PACIFIC RUBIALES ENERGY. Planta de Tratamiento 200 KBWPD Filosofía de control ICCD, 2008.

Luego del proceso de filtración en los trenes de tratamiento, el agua de producción es conducida a las piscinas de pulimento y/o piscinas de inyección para su posterior transferencia a los PADs de inyección. Así mismo, el agua se transfiere a la piscina de oxidación donde el agua se pone bajo especificaciones (temperatura inferior a 40°C y oxígeno disuelto no mayor a 6 ppm) para su posterior vertimiento al Caño Rubiales en los 5 puntos dispuestos según licencia ambiental de 60.000 BWPD cada uno. Para mayor claridad ver **Figura 12**.

No obstante, en estas unidades de filtración tiene lugar una operación denominada retro lavado, la cual inicia debido a una saturación de sólidos en el lecho filtrante.

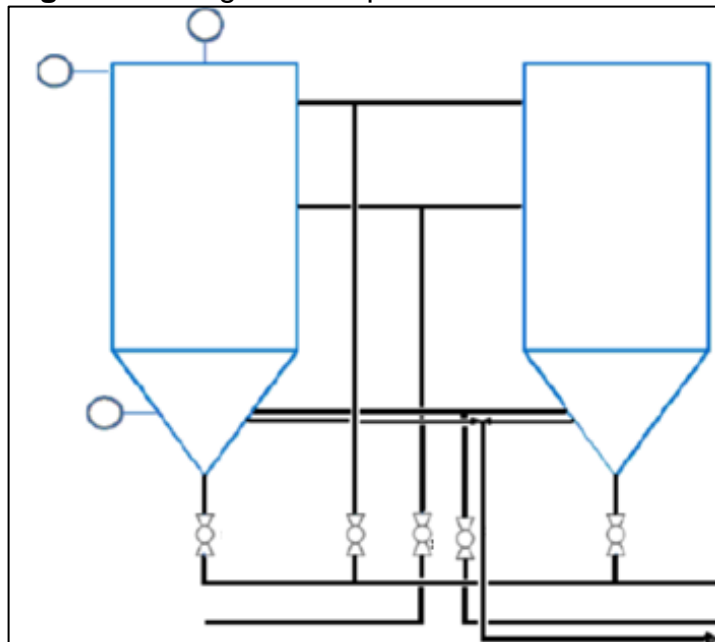
Durante el ciclo de filtración, los sólidos suspendidos y el aceite son removidos del líquido procesado y se acumulan en el medio filtrante. A medida que la carga de suciedad se incrementa, aumenta la resistencia al flujo, cuando dicha resistencia alcanza una presión de 16 psi automáticamente el filtro se envía a retro lavado, sin embargo cabe aclarar que con el fin de mantener la integridad del equipo, al igual que la calidad del agua filtrada, se definió que este proceso se efectuara cada 8 horas¹⁸.

¹⁸ *Ibíd.*, p. 26.

Cuando la etapa de retro lavado finaliza, el lecho filtrante se ha regenerado y la presión diferencial debe estar por debajo de los 2 psi, lo cual permite que se mantenga la calidad del agua filtrada.

Por último, los trenes de tratamiento cuentan con decantadores, los cuales reciben el agua proveniente de los retro lavados. Por cada filtro se cuenta con dos decantadores vinculados a través de vasos comunicantes como se observa en la **Figura 15**, de manera que operan como si fueran uno solo; los decantadores están asociados a los ciclos de retro lavado de los filtros.

Figura 15. Diagrama Esquemático Decantadores.



Fuente: PACIFIC RUBIALES ENERGY. Planta de Tratamiento 200 KBWPD Filosofía de Control ICCD, 2008.

En este punto cabe aclarar que los trenes de tratamiento de agua de producción de capacidad de 150 KBWPD no cuentan con Skim Vessel, pero si poseen un filtro más que los trenes de capacidad de 100 KBWPD. El proceso que se desarrolla en estas facilidades es el mismo para ambos casos.

Cuando el fluido ingresado en el decantador (producto del retro lavado del filtro) ha cumplido el tiempo de decantación (4 a 8 horas promedio), tiempo en el que por gravedad se logran separar las tres fases del fluido las cuales son: natas, lodos y agua clarificada, inicia el proceso de vaciado.

El agua de los retro lavados es transferida a una piscina de retro lavado que consta de bahías divididas en tres zonas: la zona de entrada, la zona de separación y la

zona de salida. La zona de entrada comprende un colector de sólidos para retener objetos que pudieran entorpecer las operaciones, la zona de separación es la zona más larga y es donde se lleva a cabo la separación por gravedad de las gotas de crudo y la zona de salida que termina en un desnatador de tubo agujereado, un deflector para retención de crudo y un deflector de rebose. Una vez se retira la nata de crudo en cada una de las bahías de la piscina de retro lavado, el agua es direccionada por medio de un set de bombas a las piscinas de inyección.

Por su parte, las natas y el lodo de los decantadores son transferidas al sumidero (al costado de la piscina de retro lavado) donde una empresa de tratamiento de lodos externa, por medio de camiones de vacío toma los fluidos para su disposición final¹⁹.

Finalmente, vale la pena considerar que el agua a inyectar tiene como principal diferencia con el agua de vertimiento la temperatura y el oxígeno disuelto, donde para vertimiento la temperatura debe ser inferior a 40°C y el oxígeno disuelto menor a 6 ppm. En la **Figura 16** se muestra la piscina de oxidación o vertimiento donde el agua que va a ser vertida en el Caño Rubiales se pone a punto, bajo las especificaciones anteriormente mencionadas.

Figura 16. Piscina de vertimiento, CPF-A.



Fuente: Elaboración propia.

¹⁹ ECOPETROL S.A. Manual para las Operaciones Generales de la Producción en la GOR. Op. cit., p. 43.

1.3 CENTRAL DE PROCESAMIENTO DE FLUIDOS B (CPF-B)

El CPF-B, cuenta con una capacidad de tratamiento instalada de 126 KBOPD y tiene como objetivo deshidratar crudo para obtener un producto con un contenido máximo de 0,5% BS&W. De igual forma, simultáneamente se efectúa el tratamiento de agua de producción para su posterior inyección en los PADs dispuestos en el campo.

1.3.1 Deshidratación de crudo. El proceso de deshidratación de crudo en el CPF-B inicia en el manifold de producción, actualmente está Central de Procesamiento de Fluidos cuenta con dos manifold para la recepción del fluido proveniente de los pozos, un manifold interno y otro externo. El manifold externo, cumple la función principal de recibir el fluido proveniente de las diferentes líneas de flujo de los pozos activos en Campo Rubiales, que están alineados a este manifold y el cual los recibe por medio de troncales²⁰. En la **Figura 17** se evidencia el manifold interno el cual está conformado por 3 colectores de flujo, cada uno con capacidad para manejar 1 millón de barriles de fluido.

Figura 17. Manifold interno, CPF-B.



Fuente: ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional para los Colectores de Recibo 100K Interno de CPF-B, 2016.

El manifold externo está conformado por cinco (5) colectores de flujo, los cuales están intercomunicados para evitar sobrepresiones en el sistema, de esta facilidad el fluido es conducido por medio de tres líneas al manifold interno. En el manifold interno, adicionalmente se recibe el crudo recuperado de los Skim Tanks, del sumidero del Skimmer API, de las celdas de flotación de los trenes de tratamiento de agua de producción y el crudo que puede llegar a almacenarse en el KO Drum.

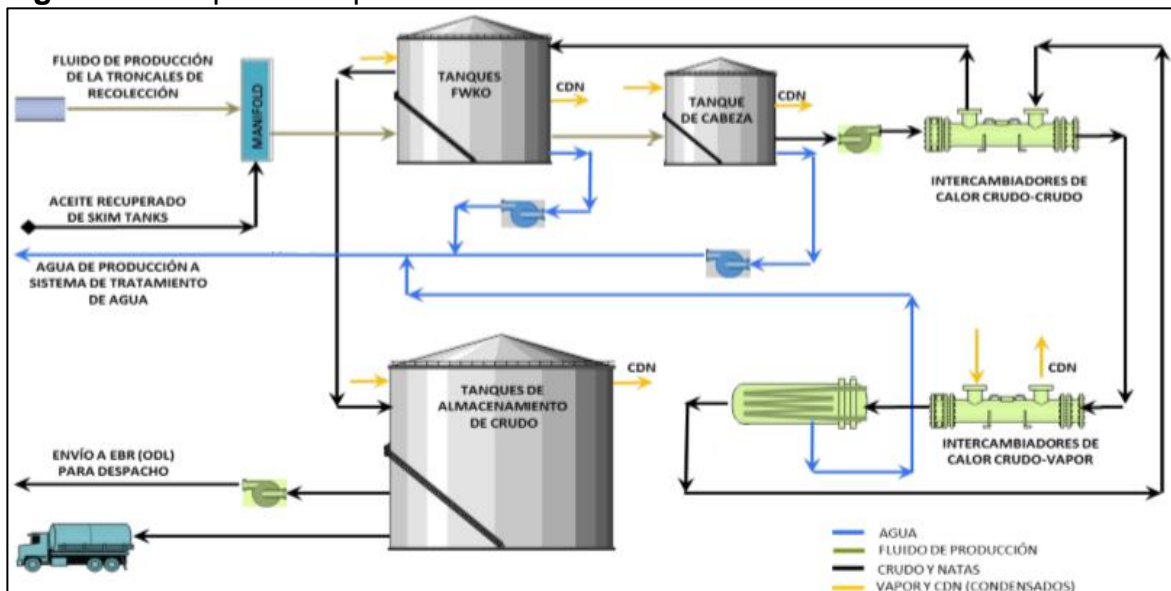
²⁰ *Ibíd.*, p. 30.

El manifold interno alimenta los tanques FWKO y al igual que en el CPF-A es en este punto donde empieza el proceso de deshidratación del crudo. El fluido recibido en los tanques llega con un contenido de 96% BS&W. Para llevar a cabo la separación del crudo y agua, se utiliza química, tiempo de residencia y temperatura, esta última se imparte por medio de serpentines por los que circula crudo deshidratado, vapor y agua a alta temperatura. De esta forma, el fluido alcanza una temperatura de 150°F. A la salida de los FWKO, se obtiene crudo emulsificado con un contenido de 30% de BS&W²¹.

El crudo separado es enviado por gravedad al tanque de cabeza, mientras que el agua separada en el proceso con un contenido entre 2.000 y 3.000 ppm de grasas y aceites es transferida a los Skim Tanks, por medio de una batería de unidades de bombeo. En la **Figura 18** se observa el diagrama general del proceso de deshidratación de crudo, empezando en el manifold y tanques FWKO como se mencionó anteriormente.

El tanque de cabeza, en la entrada cuenta con un deflector en espina de pescado que distribuye uniformemente el crudo proveniente de los FWKO. Este crudo pasa por la fase agua en primera instancia para hacer un lavado, donde se retiran los sólidos y residuos que este pueda contener.

Figura 18. Esquema de proceso de tratamiento de crudo.



Fuente: ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Campo Rubiales. Informe Técnico Anual 2016 – Informe Ejecutivo Semestral II Semestre 2016.

²¹ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional para los Colectores de Recibo 100K Interno del CPF-B, 2017. p. 12.

Internamente el tanque de cabeza cuenta con cuatro (4) serpentines de vapor, que incrementan la temperatura del crudo hasta 160°F, facilitando la separación de las fases de proceso, de tal forma que la corriente de crudo a la salida de este recipiente contiene alrededor de un 15% BS&W. Así mismo, cuenta con un bafle colector cuya función es recoger el rebose de crudo para posteriormente transferirlo al área de integración térmica, constituida por los intercambiadores y tratadores. Por su parte, el agua separada con hasta 10.000 ppm de crudo, es transferida por medio de un patín de bombas hacia los Skim Tanks.

El crudo bombeado desde los tanques de cabeza, entra a los intercambiadores crudo-crudo los cuales están diseñados para manejar cada uno un flujo de 25 KBOPD y transferir un calor de 5,6 MBTU/h. En estos equipos se aprovecha la temperatura que lleva el crudo deshidratado a la salida de los tratadores electrostáticos, para aumentar la temperatura del crudo entrante hasta alcanzar una temperatura de 175°F.

Continuando con el proceso de deshidratación del crudo una vez pasa por los intercambiadores crudo-crudo, por medio de un arreglo de válvulas se direcciona el fluido hacia las líneas de alimentación de los intercambiadores crudo-vapor, en estas unidades por medio del vapor proveniente del área de calderas se logra que la temperatura del crudo aumente hasta los 200°F.

El vapor saturado usado ingresa con una temperatura promedio de 246°F y al realizar el intercambio de calor con el fluido de proceso disminuye su temperatura hasta los 210°F donde se genera condensado. El condensado que se genera en los intercambiadores crudo-vapor, se direcciona hacia el tanque flash y el desaireador.

El condensado generado en los intercambiadores es enviado al tanque flash de condensados, cuya función es expandir el vapor de los condensados para enviar el líquido por presión hacia el desaireador, economizando el uso de vapor hacia dicho equipo. Por su parte, el desaireador con una capacidad de operación de 66.000 lb/h de agua está compuesto por dos secciones principales; la sección superior donde el agua de alimentación de las calderas se hace circular por las bandejas de rebose de forma gravitacional mientras intercambia calor con el vapor y la sección inferior que cumple la función de almacenamiento de agua tratada. En conjunto, este equipo garantiza la remoción de oxígeno al orden de 0,005 ml/L y remueve todo el dióxido de carbono libre del agua de alimentación a las calderas. En la **Figura 19** se muestra el Tanque Flash en posición vertical y el desaireador el cual se encuentra horizontalmente.

Figura 19. Tanque Flash y Desaireador, CPF-B.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, el proceso en la línea de crudo continúa con el paso a los tratadores electrostáticos. En estos equipos, el fluido ingresa a una sesión de coalescencia a través de una boquilla de entrada que comunica a un distribuidor, garantizando una distribución uniforme del crudo de proceso, logrando un aumento en su tiempo de contacto y de residencia.

En los tratadores, los cuales tienen la capacidad de manejar 17.500 BOPD cada uno; la deshidratación del fluido inicia cuando el aceite y el agua entran en contacto con el campo eléctrico en el área de las bandejas, en donde la coalescencia se lleva a cabo. En este caso el agua se aglomera formando gotas de mayor tamaño que por gravedad caen a la fase agua, y se descargan a través de las boquillas equipadas con interruptores vórtice. Por otra parte; el aceite limpio se aloja en la parte superior del recipiente²².

En caso de que se presente un aumento de presión en los tratadores, estos cuentan con válvulas de alivio que descargan conjuntamente al tanque KO Drum. En este recipiente que se puede evidenciar en la **Figura 20**, se reciben los disparos de las válvulas en mención; y debido a que el fluido que se maneja constituye crudo deshidratado con alrededor de 1% de BS&W, por medio de dos unidades de bombeo este crudo es transferido al manifold interno donde nuevamente inicia el proceso, garantizando la obtención de la mayor cantidad de aceite posible y la menor pérdida de recursos.

²² ECOPETROL S.A. Manual para las Operaciones Generales de la Producción en la GOR. Op. cit., p. 24.

Figura 20. Tanque KO Drum, CPF-B.



Fuente: Elaboración propia.

El crudo deshidratado al salir de los tratadores electrostáticos tiene una temperatura de 200°F, la cual es muy superior a las condiciones de venta hacia ODL. Por esta razón, el crudo entra en los serpentines tanto de los intercambiadores de calor crudo-crudo como en los de los tanques FWKOs; donde ocurre un intercambio de calor con el fluido de proceso por medio de conducción y convección. Así mismo, se logra disminuir la temperatura hasta los 172°F con la cual llega a los tanques de almacenamiento.

Al llegar a los tanques de almacenamiento el crudo deshidratado tiene un contenido de BS&W cercano al 1%. Este CPF cuenta con tres tanques de almacenamiento, los cuales tienen una capacidad de 276.000 BBLs que dan autonomía alrededor de 1,2 días en caso de no poder evacuar crudo para venta. Los tres tanques operan secuencialmente, mientras uno recibe crudo desde el proceso, otro está en reposo y drenaje para puesta a punto y fiscalización; el tercero se encuentra despachando crudo hacia ODL.

El fluido en los tanques de almacenamiento permanece un tiempo de residencia de aproximadamente 10 horas; al final de este periodo se debe cumplir con las especificaciones de venta las cuales comprenden un contenido de BS&W menor a 0,5%, API de 13° y una temperatura de transferencia por medio de las unidades de bombeo menor a los 175°F. En la **Figura 21** se muestran los tres tanques de almacenamiento presentes en el CPF.

El proceso de cuantificación o fiscalización para venta es certificado por un ente externo, los cuales autorizan la transferencia hacia ODL por medio de un patín de unidades de bombeo, donde tres de estos equipos se encuentran en operación y el otro se tiene de respaldo.

Finalmente, en la planta ODL se realiza un proceso de dilución pasando de un API de 13° a 16°, facilitando el transporte de alrededor de 340 mil barriles por día.

Figura 21. Tanques de Almacenamiento, CPF-B.



Fuente: Elaboración propia.

1.3.2 Tratamiento de agua de producción. El tratamiento de agua de producción inicia en los Skim Tanks con el proceso de separación de las trazas de crudo emulsionado que se encuentra en los fluidos provenientes de la salida de agua de los FWKOs, drenaje del tanque de cabeza y de los tratadores electrostáticos.

Una vez dentro de los Skim Tanks se efectúa un proceso mecánico de separación, donde a partir de tiempo de residencia complementado con un tratamiento químico, mediante el uso de un desemulsionante (rompedor inverso) se pretende separar las fases del proceso. El crudo por diferencia de densidades se deposita en la parte superior del recipiente y se colecta en un bafle, el crudo recuperado se transfiere por medio de unas unidades de bombeo al manifold de producción para ser aprovechado nuevamente; por su parte, el agua ya con un contenido entre 600 a 800 ppm de grasas y aceites en la salida, es enviada a los trenes de tratamiento de agua de producción. En la **Figura 22** se evidencia un Skim Tank junto a su bota recuperadora de crudo.

Figura 22. Skim Tank, CPF-B.



Fuente: Elaboración propia.

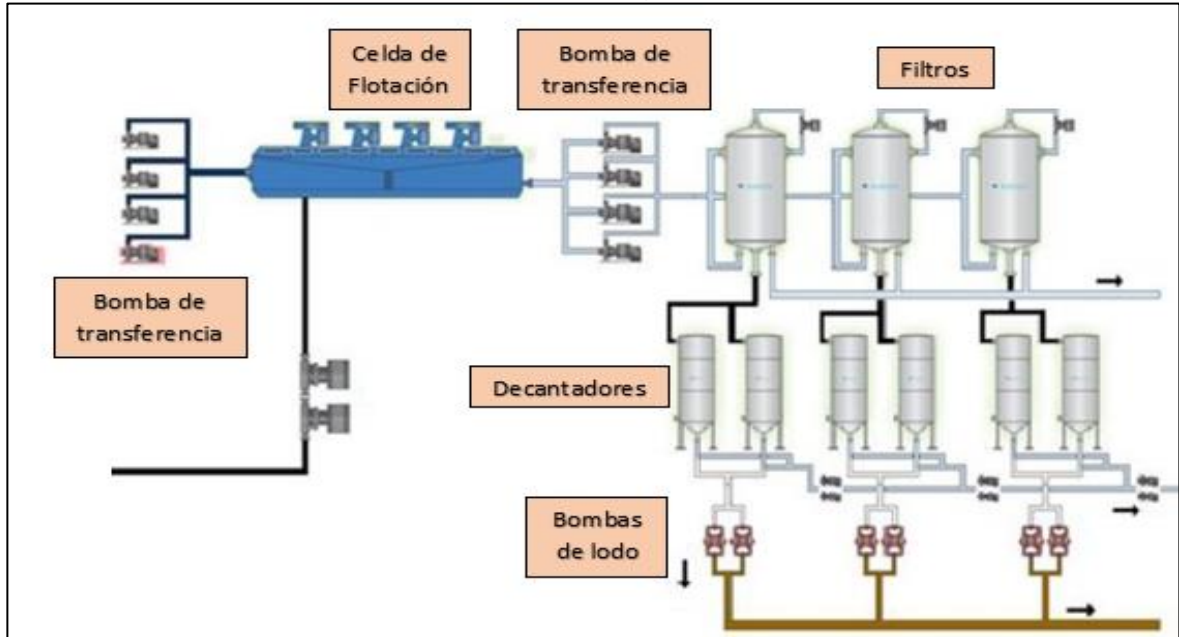
El flujo de agua desde los Skim Tanks con un contenido de 600 a 800 ppm, es transferida equitativamente a los 18 trenes de tratamiento, los cuales cuentan con una capacidad nominal de 2.550.000 BWPD.

Cada tren de tratamiento cuenta con una celda de flotación donde se aplica la tecnología de IAF (Flotación por Aire Inducido), la cual tiene el mismo principio de funcionamiento que las celdas que se encuentran en el CPF-A. Es decir, a la entrada de la celda se inyecta química floculante y a la salida coagulante, facilitando de esta forma que el aceite se adhiera a las burbujas de aire generadas, llevando consigo el aceite hacia la parte superior de la celda. Una vez el agua de producción pasa por estos equipos es transferida por unas bombas centrífugas a los filtros de cascara de nuez o de palma africana.

Cada tren de tratamiento consta de tres unidades de filtrado, en la cuales el agua ingresa por la parte superior del recipiente, donde las gotas de grasa y aceite son retenidas por las propiedades oleofílicas de los lechos, con lo que se garantiza que a la salida se tiene una calidad de agua filtrada inferior a los 3 ppm de concentración de hidrocarburos, parámetro que es de suma relevancia para el proceso de inyección de agua como disposición final²³. En la **Figura 23** se evidencia el diagrama de los trenes de tratamiento de agua de producción donde como se mencionó, el agua al salir de las celdas de flotación es direccionada por bombas centrífugas a los filtros.

²³ *Ibíd.*, p. 28.

Figura 23. Esquema trenes de tratamiento agua de producción.



Fuente: PACIFIC RUBIALES ENERGY. Planta de Tratamiento 200 KBWPD Filosofía de control ICCD, 2008. Modificada por los autores, 2019.

Una vez se tiene la condición de agua filtrada estipulada, esta es conducida a las piscinas de inyección para retirar las últimas natas. El proceso en este sistema de piscinas consiste en recibir, retener, recuperar y transferir el agua de producción para luego ser inyectada en los pozos dispuestos a alta presión en cada uno de los PADs. Estas piscinas están construidas en muros de concreto, con un diseño especial para retener pequeñas gotas de aceite y dar tiempo de residencia al fluido en el proceso. Así mismo, están divididas en 12 bahías con entrada de flujo independiente a cada una de ellas.

El agua a las piscinas de inyección llega con una temperatura promedio de 140°F y de estas se toma el fluido para enviarlo a los PADs de inyección, por medio de un patín de unidades de bombeo según se encuentren alineados al CPF-B. Actualmente, hay 7 PADs de inyección operativos con una capacidad de disposición de 3.160.000 BWPD.

El agua a inyectar tiene como principal diferencia con el agua de vertimiento la temperatura y el oxígeno disuelto, donde para vertimiento la temperatura debe ser inferior a 40°C y el oxígeno menor a 6 ppm. Ya en los PADs de inyección las bombas principales inyectarán agua a los pozos a una presión alrededor de 1.500 psi, de acuerdo a las condiciones de las bombas y los pozos en disposición.

En este punto cabe recordar que, una vez los lechos de las unidades de filtración están saturados, estos deben ser regenerados por medio del proceso de retro

lavado. La filosofía de operación de esta etapa es la misma que se explicó para los equipos del CPF-A. Es decir, que cuando alcanza una presión diferencial de 16 psi el filtro por medio del PLC se envía automáticamente a retro lavado. No obstante, con el fin de garantizar la calidad del agua filtrada y la integridad del equipo se estableció que cada 8 horas estas unidades de filtrado van a ser regeneradas.

El agua utilizada durante este procedimiento de regeneración del lecho filtrante es transferida a los decantadores, donde a partir de tiempo de residencia se logran separar las tres fases de proceso: agua clarificada, natas y lodos. En la **Figura 24** se observa un tren de tratamiento de agua de producción, el cual consta de una celda de flotación, tres filtros y seis decantadores asociados a los filtros en los cuales se lleva a cabo el proceso de retro lavado. Además de ello, cuentan con los PLC y toda la instrumentación de seguridad y control la cual es manejada desde el sistema SCADA.

Figura 24. Tren de tratamiento de agua de producción, CPF-B.



Fuente: Elaboración propia.

En los decantadores una vez transcurrió el tiempo de residencia (6 a 8 horas) y se lograron separar las fases de proceso mencionadas, se efectúa su vaciado de la siguiente manera: el agua separada en los decantadores es transferida a las bahías de la piscina de retro lavado, donde se busca reducir la cantidad de grasas, aceites y sólidos por medio de tiempo de retención y disminución de la velocidad de flujo, colocando el agua bajo especificaciones para transferirla posteriormente por medio de una batería de bombas a las piscinas de inyección. Estas bahías de la piscina de retro lavado comprenden tres zonas.

La zona de entrada está compuesta por un colector para retención de sólidos, un deflector de entrada para romper la inercia del agua a la entrada y retener la capa de crudo en la superficie, un desnatador de tubo agujereado y un distribuidor de orificios cuya función principal es distribuir el fluido uniformemente en toda el área transversal de la piscina a medida que entra a la zona de separación. La zona de separación es la zona más larga de cada bahía, en la que por diferencia de densidades se logra la separación de las gotas de crudo, esta zona termina en un

desnatador de tubo agujereado, un deflector para retención de crudo y un deflector de rebose con una compuerta de descarga.

Finalmente, la zona de salida donde el agua clarificada es transferida a las piscinas de inyección según configuración en campo y las natas recuperadas son direccionadas al sumidero. En la **Figura 25** se muestran las cinco bahías de la piscina de retro lavado donde se desarrolla el proceso de recuperación de natas de crudo.

Figura 25. Piscina de retro lavado, CPF-B.

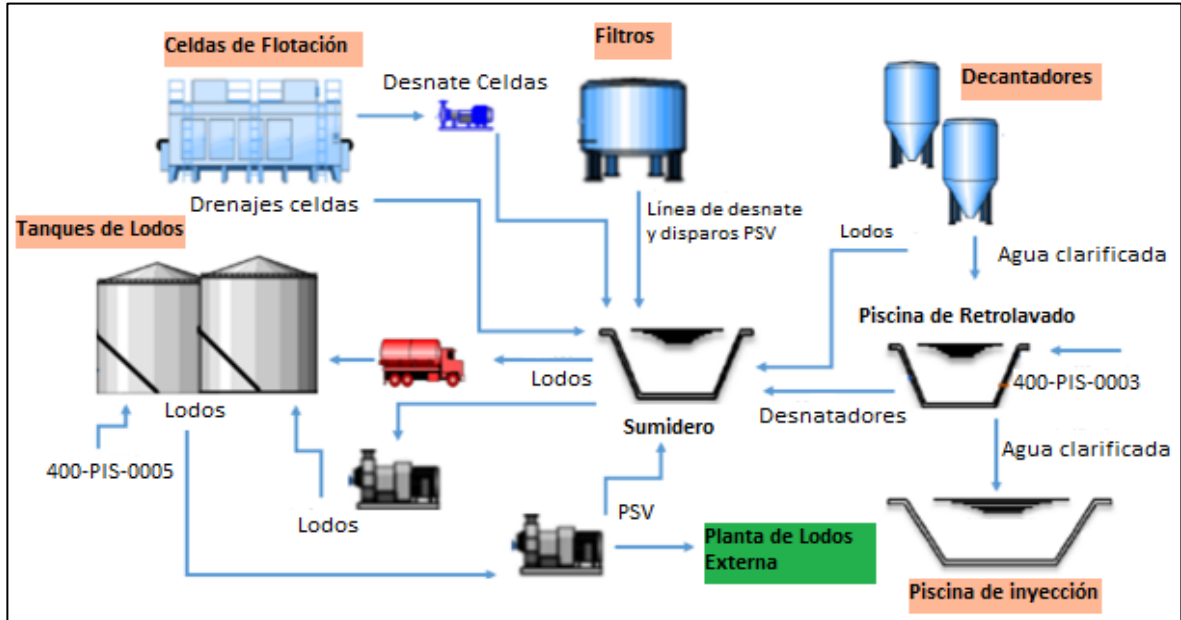


Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, las natas y el lodo separado en los decantadores después del proceso mecánico de decantación son vaciados en el sumidero de la piscina de retro lavado. Una vez el sumidero alcanza un nivel estipulado según filosofía de operación, el fluido recolectado es transferido a unas nuevas facilidades conocidas como tanques de lodos. El CPF-B, cuenta con dos de estos tanques, donde una vez el fluido ingresa se eleva su temperatura debido al vapor que circula a través de los serpentines que se encuentran internamente, dicho aumento de temperatura busca separar la mayor cantidad de agua posible la cual retorna a las bahías de la piscina.

De otro lado, las borras las cuales son una emulsión estable que está constituida por una fase acuosa, una fase orgánica, una fase sólida y en algunas ocasiones aire. Son transferidas por medio de unidades de bombeo o camiones de vacío a una planta de tratamiento de lodos externa para su disposición. Los disparos de las válvulas de seguridad ubicadas en la línea de descarga de las bombas en mención, direccionan nuevamente el fluido al sumidero de la piscina de retro lavado para ingresar al proceso, tal como se observa en la **Figura 26**. Cabe mencionar, que el procedimiento desarrollado en los tanques de lodos es un tratamiento térmico, dada la elevación de temperatura del fluido al contacto con los serpentines, más no involucra un tratamiento químico.

Figura 26. Esquema proceso de retro lavado.



Fuente: ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Instructivo Operacional Piscina de Retro lavado CPF-B, 2017.

El CPF-B cuenta con un área de ampliación para tratamiento de agua, que comprende cuatro de los dieciocho trenes de tratamiento, estos trenes tienen como proyecto la entrega a la planta de osmosis inversa que opera Agrocascada. El agua filtrada de estos trenes es direccionada a una piscina cuya función es la de recibir, retener, recuperar y transferir el agua de producción, esta piscina tiene 15 bahías y cuenta con una zona de separación donde se buscan bajas velocidades de fluido y altos tiempos de residencia que permitan la separación de gotas de aceite, para luego ser enviada a las torres de enfriamiento.

El agua de producción al salir de las torres de enfriamiento, es enviada a Agrocascada por baches, el cual depende de la cantidad de agua requerida por el sistema de osmosis inversa. El agua a transferir, como requisito debe tener una concentración de grasas y aceite menor a 5 ppm. Cuando la calidad es mayor, se interrumpe la transferencia a las torres de enfriamiento y los trenes se pueden alinear a la piscina de retro lavado del área de ampliación o a una de las piscinas de inyección.

2. ESCENARIOS DE CONTINGENCIA

En el siguiente capítulo en primera instancia se describirá el sistema de gestión HSE (Health Safety Environment) desarrollado por Ecopetrol S.A, por medio de la guía de Administración de Seguridad de Procesos. Posteriormente, se puntualizará en el comportamiento HSE de Campo Rubiales a la fecha, en el cual se destacan el recurso de operación estructurada, el programa de excelencia operativa y el ciclo de disciplina operativa. Finalmente, se identificarán y valorarán los escenarios de contingencia en los CPFs por medio de la Matriz de Evaluación de Riesgos RAM.

2.1 ADMINISTRACIÓN DE SEGURIDAD DE PROCESOS – SISTEMA DE GESTIÓN HSE

La siguiente información corresponde a un resumen elaborado a partir de la Guía de Administración de Seguridad de Procesos (ASP) elaborada por la Gerencia HSE²⁴. La importancia de la ASP en el desarrollo de este trabajo de grado, consiste en establecer el marco de referencia usado con el fin de seleccionar las herramientas necesarias para identificar los escenarios de contingencia, además de distinguir las diversas técnicas apropiadas para el modelo a diseñar bajo las políticas de Ecopetrol S.A.

La Administración de Seguridad de Procesos busca proporcionar suficientes controles y/o redundancias para evitar un grupo de condiciones que puedan conducir a incidentes de seguridad de proceso, enfocado en la Prevención de Accidentes Mayores y la gestión de riesgos de desastre. A su vez, tiene como objetivo lograr el mejor desempeño operacional, estableciendo las medidas y acciones necesarias de protección y control para reducir la posible afectación de los eventos peligrosos en las personas, medio ambiente e instalaciones.

La Administración de Seguridad de Procesos está integrada por un conjunto de componentes del Sistema de Gestión HSE, estos elementos se describen a continuación.

2.1.1 Estrategia de direccionamiento. El componente estrategia de direccionamiento comprende las políticas, objetivos, metas y programas de gestión junto al cumplimiento legal en Seguridad de Procesos.

2.1.1.1 Política, objetivos, metas y programas de gestión. Este componente sienta sus bases en los tres siguientes elementos.

- **Política:** la política integral de Ecopetrol S.A., en materia de seguridad de procesos establece los principios que deben seguir en el día a día, durante todas

²⁴ ECOPETROL S.A. Departamento de Seguridad de Procesos de la Gerencia HSE. Guía de Administración de Seguridad de Procesos. Sistema de Gestión HSE, 2018. P. 1 – 50.

las decisiones y actividades operativas que impacten o puedan impactar el desempeño y sostenibilidad del negocio. Además, proporciona el marco de referencia para establecer los objetivos y metas de la compañía.

- **Compromiso con la vida:** prevención de lesiones, accidentes y conservar la salud de los trabajadores.
- **Excelencia operacional:** operación segura y eficiente, control de riesgos involucrados en las operaciones.
- **Desarrollo sostenible:** operación socialmente responsable y ambientalmente equilibrada.

La política integral debe ser comunicada y aplicada por todos y cada uno de los trabajadores de la estructura organizacional incluyendo proveedores, contratistas y partes interesadas.

- **Objetivos y metas:** se deben establecer indicadores de resultado con el fin de medir y valorar el desempeño, e identificar desviaciones para mejorar la toma oportuna de decisiones.
- **Programas de Gestión:** programas de prevención de incidentes, de seguridad de procesos, busca la implementación y sostenibilidad de las prácticas asociadas a los componentes de seguridad de proceso.

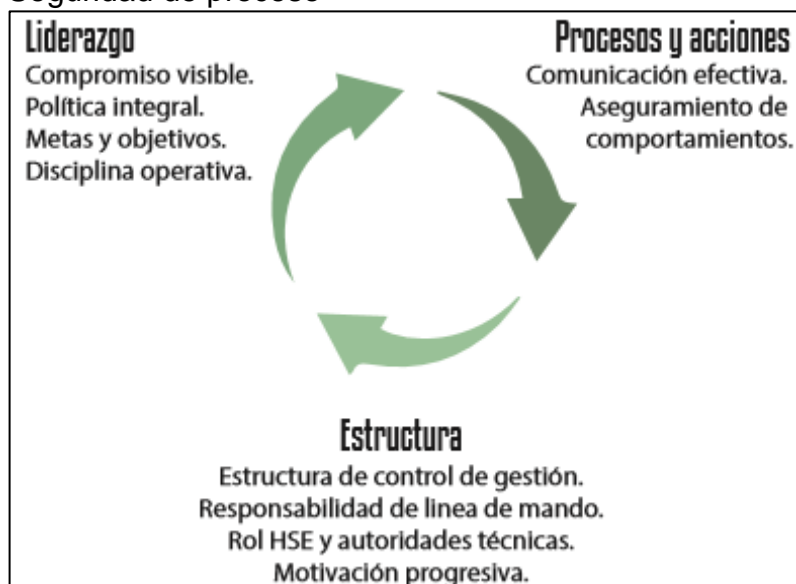
2.1.1.2 Cumplimiento Legal en Seguridad de Procesos. Definir los lineamientos para asegurar el cumplimiento de las normas o disposiciones que regulan la seguridad de procesos en la sociedad. Las áreas operativas deben implementar las acciones que permitan cumplir los requisitos legales vigentes en materia de seguridad de procesos.

2.1.2 Gente. El componente gente está subdividido en cultura organizacional y liderazgo en seguridad de proceso, gestión de competencias y control de cambios de personal.

2.1.2.1 Cultura Organizacional y Liderazgo en Seguridad de Proceso. Este componente se divide en tres elementos (liderazgo, procesos - acciones y estructura), tal como se observa en la **Figura 27**. No obstante, cabe destacar que principalmente se fundamenta en la aplicación de tres premisas:

- Todos los trabajadores en una instalación deben tener un alto nivel de conocimiento de los peligros de sus procesos.
- Todos los trabajadores en una instalación deben estar atentos y ser conscientes de los controles que previenen los incidentes mayores.
- Todos los trabajadores deben tener conocimiento del desempeño histórico en seguridad de procesos y las lecciones aprendidas.

Figura 27. Cultura Organizacional y Liderazgo en Seguridad de proceso



Fuente: Ecopetrol S.A. Guía de Administración de Seguridad de Procesos. Sistema de Gestión HSE. Gerencia HSE, 2018.

- **Liderazgo:** Dentro de la cultura organizacional, el elemento liderazgo está constituido por el compromiso visible y la Disciplina Operativa.
- **Compromiso visible:** la excelencia operacional es tan importante como la producción, calidad, transporte, distribución, ventas, costos y talento humano. Un liderazgo efectivo incluye:
 - La definición e implementación de políticas y guías para la administración de seguridad de procesos, con el fin de garantizar un programa efectivo y oportuno.
 - La asignación de recursos para implementar las guías y prácticas de seguridad, sostenibilidad y mejora continua del sistema.
 - Cumplimiento y medidas apropiadas para reforzar el proceso de implementación de las políticas y guías establecidas.
- **Disciplina Operativa:** describir y establecer las mejores formas probadas de ejecutar las actividades inherentes a la operación. Algunos ejemplos de documentos son: lineamientos, guías técnicas, normas de referencia, procedimientos e instructivos.

La Disciplina Operativa busca garantizar que las operaciones sean ejecutadas de la manera correcta siempre con comportamiento ético, liderazgo ejemplar y colectivo; con el objetivo de minimizar desviaciones en los procesos operativos y de mantenimiento.

- **Estructura:** el elemento estructura comprende la responsabilidad de línea de mando, el rol HSE y autoridades técnicas, las estructura de control de gestión; finalmente, la motivación progresiva.
- **Responsabilidad de Línea de Mando:** facilitar la interacción entre la línea de mando y el personal que le reporta, comunicación de manera efectiva y permitir la contribución de todos los trabajadores para lograr los objetivos y metas. Además de aplicar los estándares de seguridad de proceso, formular prácticas y procedimientos de trabajo.
- **Rol HSE y Autoridades técnicas:** las autoridades técnicas y los profesionales de la función HSE por su entrenamiento, conocimiento, experiencia y juicio tienen la capacidad para planear, coordinar, asesorar y dirimir situaciones relacionadas con la implementación de la práctica específica en la Administración de Seguridad de Procesos (ASP).
- **Estructura de Control de Gestión:** es una forma de organizar el talento humano de la empresa en comités, subcomités y mesas técnicas para facilitar y apoyar la línea de mando durante la implementación, ejecución, mejora y sostenibilidad del Sistema de Gestión HSE.
- **Motivación progresiva:** consiste en lograr que todos los trabajadores estén convencidos de que la gestión HSE y los componentes de seguridad de proceso buscan su propio beneficio, estimulándolos a participar en el desarrollo de los componentes aportando de esa forma al logro de la visión, estrategia, políticas y metas.
- **Procesos y Acciones:** los procesos y acciones dentro de la Cultura Organizacional y Liderazgo en la Seguridad de Procesos comprende el aseguramiento de comportamientos y las comunicaciones efectivas.
- **Aseguramiento de comportamientos:** contribuyen a la mejora continua de los componentes de seguridad de los procesos y su aplicación en las actividades día a día promoviendo una cultura en donde actuar de manera sana, segura y limpia sea una forma natural; generando un compromiso real con la acción que se va a realizar.
- **Comunicaciones efectivas:** para que una comunicación sea efectiva se requiere seguir un proceso que implica:
 - Definir los mensajes de acuerdo con el asunto que se debe transmitir.
 - Desarrollar contenidos claros y concisos.
 - Transmitir y comunicar el mensaje.

- Obtener retroalimentación para asegurarse de que el mensaje ha sido comprendido.
- Estar atento a las áreas de mejora detectadas en el proceso de comunicación.

2.1.2.2 Gestión de Competencias. Establecer los lineamientos para identificar, valorar y cerrar las brechas de competencia tanto técnicas y organizacionales con relación a la seguridad de procesos, con el fin de minimizar riesgos en los equipos, el ambiente y los sistemas que surjan a partir de deficiencias identificadas.

2.1.2.3 Control de Cambios de Personal. Establecer los lineamientos para asegurar que quienes ocupan puestos o roles que impactan la seguridad de proceso, tengan el nivel requerido de conocimientos, experiencia, actitudes y aptitudes; de tal forma que se pueda organizar que los procesos siempre sean operados y administrados de manera sana, segura y limpia.

2.1.3 Información y Conocimiento. El componente información y conocimiento está constituido por las secciones de tecnología del proceso y procedimientos y prácticas seguras, esta última es de vital importancia en el desarrollo de este trabajo de grado debido a los procedimientos de contingencia a diseñar e implementar.

2.1.3.1 Tecnología del Proceso. Esta subdivisión del componente información y conocimiento establece los requisitos con los que debe cumplir la documentación para garantizar una buena Administración de Seguridad de Procesos.

- Asegurar la documentación necesaria y requerida de los materiales peligrosos, las bases de diseño de los procesos y los equipos.
- Asegurar y gestionar la información necesaria para prevenir incidentes mayores que involucren fuga o pérdida de productos peligrosos y energía.
- Actualizar la información existente y aplicable a seguridad de procesos sobre el manejo de sustancias peligrosas, tecnología, información de procesos y equipos.

La Tecnología del proceso, a su vez comprende la información concerniente a las sustancias peligrosas, las bases de diseño del proceso y las bases de diseño de equipo.

- **Sustancias peligrosas:** es necesario documentar y mantener actualizada toda la información para cada sustancia peligrosa.
- **Bases de diseño del proceso:** deberán ser documentadas, mantenidas y comunicadas apropiadamente a los empleados que tengan la responsabilidad de arranque, a los empleados que estén involucrados en la operación y mantenimiento.

- **Bases de diseño de equipo:** identificar y definir las normas y estándares a aplicar para el diseño, construcción, inspección, operación y mantenimiento de activos industriales críticos para la seguridad de procesos.

2.1.3.2 Procedimientos y prácticas seguras. Establecer y asegurar procedimientos estándares y prácticas seguras para la planeación y ejecución de todo tipo de actividades operativas y de mantenimiento, teniendo en cuenta los riesgos asociados a la tarea para optimizar el desempeño en HSE, confiabilidad, rentabilidad e integridad de las instalaciones, así como suministrar un claro entendimiento de los parámetros de operación detallados y los límites de operación segura para el personal de operaciones.

- **Procedimientos de Operación:** a continuación se establecen los criterios para la construcción de procedimientos bajo la guía de Disciplina Operativa.
 - Identificar actividades de operación que se desarrollen en la instalación con el potencial de generar incidentes de seguridad de procesos, evaluar criticidad, definir prioridades y plan de creación o modificación de procedimientos.
 - Elaborar los procedimientos operativos de manera que tengan consistencia con la información descrita en el proceso, además de incluir la revisión de aspectos de seguridad, salud ocupacional y protección al medio ambiente.
 - Los procedimientos se construyen con la participación del personal operativo para estimular sugerencias de cambios y mejoras, de manera que todos los que lo utilicen tengan el mismo entendimiento de las instrucciones que allí se describen.
 - Comunicar los procedimientos al personal de forma teórica – práctica de forma que se evalúen y registren las evidencias de desempeño de cada trabajador. Disminuyendo así las brechas de conocimiento y las necesidades de control de cambios de personal.
 - Establecer ciclos de trabajo que garanticen un compromiso continuo en el mejoramiento de la calidad de la información.
- **Prácticas seguras de trabajo:** se deben aplicar las prácticas seguras de trabajo para garantizar la realización segura de actividades de operación y mantenimiento tanto por trabajadores directos como contratistas.
- **Control de procedimientos y prácticas:** se deberán revisar los procedimientos y prácticas de trabajo seguras y efectuar los controles de cambio de acuerdo a lo estipulado por Ecopetrol S.A.
- **Revisión de seguridad pre arranque:** proporcionar una metodología que garantice el arranque de un sistema, instalación o equipo, después de haber realizado alguna intervención a los activos industriales existentes, de forma segura

para las personas, el medio ambiente e instalaciones, antes de introducir sustancias peligrosas al proceso o energizar equipos.

2.1.4 Operaciones. El componente operaciones comprende lo referente a la operación estructurada, el control de cambios de tecnología, la gestión de contratistas y la planeación y respuesta a emergencias.

2.1.4.1 Operación Estructurada. Las prácticas de operación estructurada se definen a continuación. Todos los negocios deben tener implementadas las siguientes prácticas.

- **Entrega y recibo de turnos:** define los lineamientos para una adecuada entrega y recibo de turno y comprende la comunicación y aceptación del reporte de turno.
- **Análisis operacional:** promueve de manera permanente el análisis de las condiciones operacionales, para identificar las desviaciones y establecer acciones de corrección y mejora del proceso y hacer más eficiente la operación.
- **Rondas estructuradas:** define los lineamientos para realizar a través de la ronda, el monitoreo de los puntos críticos de operación.
- **Cuidado Básico de Equipos:** establece tareas de mantenimiento de baja complejidad que pueden ser ejecutadas por el operador de turno.
- **Guías de Control y Ventanas Operativas de Integridad:** define los límites de los puntos críticos de control, es fundamental para el control y seguimiento de la operación.

2.1.4.2 Control de cambios de tecnología. Establecer los lineamientos para gestionar y controlar los cambios surgidos por modificaciones en la implementación de nuevas tecnologías, nuevos procesos, o por cambios físicos en la infraestructura, en las condiciones de operación, en los procedimientos con el fin de minimizar riesgos en las personas, el ambiente, el proceso y la infraestructura.

2.1.4.3 Gestión de contratistas. Establecer los requisitos de Seguridad de Procesos en cada etapa de contratación, que incluye tanto contratistas como proveedores, con el fin de prevenir afectación a personas, medio ambiente e instalaciones y tener la continuidad de la operación en Ecopetrol S.A.

2.1.4.4 Planeación y respuesta a emergencias. Reducir el riesgo y el nivel de consecuencia por daño sobre personas, comunidad, medio ambiente y bienes, mediante la gestión preventiva, reactiva y correctiva de emergencias en Ecopetrol S.A.

Cada instalación debe contar con un plan de respuesta a emergencia, construido con base en los análisis de riesgos de la instalación y la modelación de consecuencias de los peores escenarios de emergencia identificados; además, de contar con los procedimientos necesarios y actualizados para una respuesta efectiva o emergencia.

Los procedimientos, instructivos, manuales establecidos para prevención y respuesta a emergencias deben ser actualizados cada vez que ocurran cambios en los sistemas de protección, en los procesos operativos y en la estructura administrativa y/o posterior a lecciones aprendidas relacionadas con la prevención, preparación y respuesta a emergencias.

2.1.5 Recursos. El componente recursos se encuentra conformado por la integridad mecánica y aseguramiento de calidad.

2.1.5.1 Integridad Mecánica y Aseguramiento de Calidad. Establecer los requisitos de administración de seguridad de procesos, para garantizar la integridad mecánica de los equipos críticos por seguridad de procesos, manteniendo sus características originales de confiabilidad y aseguramiento de calidad de equipos, repuestos y materiales a lo largo del ciclo de vida del activo.

En cada instalación se deben establecer e implementar los procedimientos de mantenimiento para asegurar la integridad mecánica del equipo de proceso. Igualmente, el personal involucrado debe capacitarse de manera consistente con las características esenciales del componente de gestión de competencias. La capacitación debe considerar una visita general del proceso, riesgos específicos de seguridad y salud asociados al proceso, procedimientos de emergencia y procedimientos y prácticas de trabajo aplicables a tareas específicas.

La ingeniería de confiabilidad son herramientas de evaluación de como un sistema y sus componentes individuales pueden ser operados con seguridad antes de ser sacados de servicio para mantenimiento o sustitución.

2.1.6 Riesgos y controles. Comprende la información referente al análisis de riesgos de procesos junto a la gestión de incidentes.

2.1.6.1 Análisis de Riesgo de Proceso. Se usan para identificar y desarrollar métodos para eliminar o controlar significativamente los riesgos involucrados en los procesos, utilizan un enfoque de estudio metódico y organizado logrando un consenso multidisciplinario sobre control de riesgos, documentan resultados para futuro seguimiento, planeación de emergencias y capacitación de personal involucrado en operación y mantenimiento de los procesos.

La metodología para la identificación de peligros de proceso más usada por Ecopetrol S.A para plantas e instalaciones nuevas y existentes es el HAZOP. Un análisis de riesgo de proceso generalmente implica múltiples sesiones:

- **Identificación de peligros:** son por lo general peligros que tienen el potencial de explosión, incendio, emisión tóxica o efectos irreversibles a la salud humana.
- **Análisis de consecuencias:** tipo de evento resultante, consecuencias del evento, efectos de seguridad y salud en el sitio.
- **Valoración de riesgo:** ubicar en la matriz RAM la gravedad de la consecuencia y la frecuencia del evento. Para consecuencias de gravedad 4 o 5 se valorará usando la metodología LOPA.
- **Evaluación de interlocks de seguridad:** verificar si el diseño del interlock cumple con el nivel de seguridad requerido.
- **Ubicación de la instalación:** el análisis de la ubicación de la instalación ayudan a comprender los riesgos a que se exponen los ocupantes en una instalación.
- **Factores humanos:** efectividad de competencias, procedimientos y prácticas seguras.
- **Procesos inherentemente seguros:** Análisis de Capas de Protección (LOPA), metodología aplicada para establecer el nivel de integridad para reducir aquellos escenarios de gravedad de la Matriz de Valoración de Riesgo (RAM).

2.1.6.2 Gestión de incidentes. Establecer las actividades que se deben realizar para la gestión adecuada de las fallas de control e incidentes HSE, buscando evitar su ocurrencia en el futuro, dar cumplimiento legal y establecer los lineamientos de actuación al momento de la ocurrencia de los mismos.

2.1.7 Monitoreo y mejora. Esta subdividido en las secciones evaluaciones ASP y el seguimiento al desempeño.

2.1.7.1 Evaluaciones ASP. Las evaluaciones son herramientas importantes para el establecimiento, medición, mantenimiento y mejora continua del desempeño de la seguridad de procesos. Las evaluaciones comparan el desempeño contra estándares establecidos. La evaluación apropiada proporciona un proceso que alimenta y refuerza prácticas correctas del sistema, comportamiento y trabajo mientras que identifica oportunidades de mejora.

2.1.7.2 Seguimiento al desempeño. Este componente tendrá como fin evaluar el alcance en la implementación y sostenibilidad de cada uno de los componentes de la Administración de Seguridad de Procesos (ASP).

2.2 COMPORTAMIENTO HSE CAMPO RUBIALES

Desde 2016, año en el cual Ecopetrol S.A. asumió la operación de Campo Rubiales, se han venido desarrollando un conjunto de actividades enfocadas a mantener y mejorar los estándares de seguridad orientados a incrementar la cultura HSE.

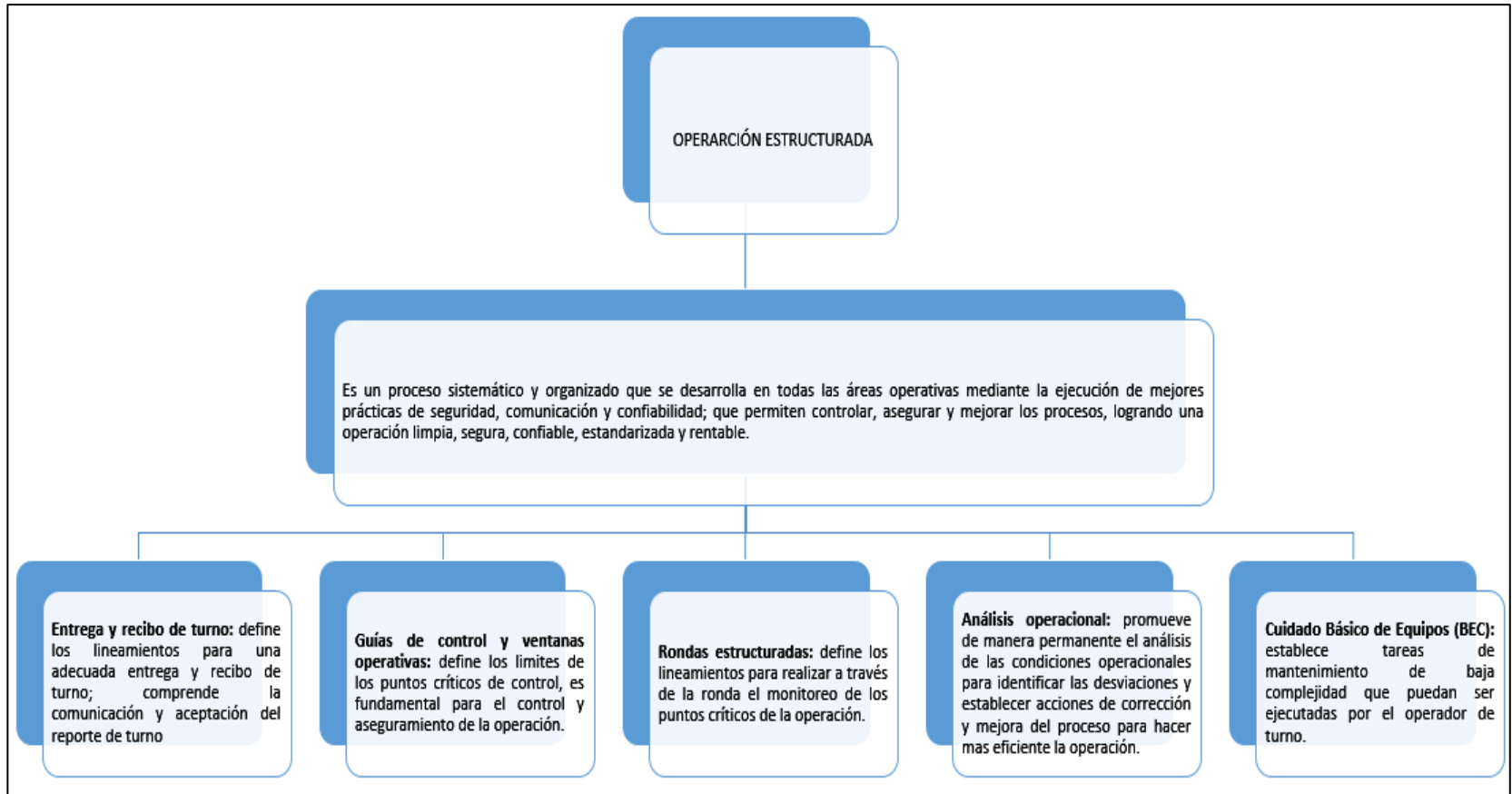
En primera instancia es de suma importancia mencionar la aplicación de un recurso denominado operación estructurada. Este consiste en un proceso sistemático y organizado que se desarrolla en todas las áreas operativas mediante la ejecución de mejores prácticas en seguridad, comunicación, confiabilidad, documentación, análisis, seguimiento, aprendizaje y optimización de la operación; que permite controlar, asegurar y mejorar los procesos. En la **Figura 28** se explican las subdivisiones y la aplicabilidad de éste en las Centrales de Procesamiento de Fluidos (CPF's).

Continuando con las actividades enfocadas a mantener los estándares de seguridad e incrementar la cultura HSE, se encuentra el programa de excelencia operacional, el cual a través de sus múltiples herramientas permite efectuar las siguientes evaluaciones: análisis y solución de problemas, respuesta a eventos operacionales, a lo anterior se suman algunas operaciones de pare y arranque en la planta. En la **Figura 29** se describen las herramientas de este programa.

Finalmente, se cuenta con el ciclo de Disciplina Operativa, a través de esta guía se garantiza que las operaciones de Ecopetrol S.A. sean ejecutadas de la manera correcta siempre, con comportamientos éticos, liderazgo ejemplar y colectivo, soportado en la disciplina de pensamiento, con el objetivo de minimizar desviaciones en los procesos operativos y mantenimiento. El ciclo de disciplina operativa consta de 4 etapas las cuales se describen a continuación.

- **Disponibilidad:** en esta etapa se asegura que todos los procedimientos, se encuentren documentados y disponibles en el sitio de trabajo.
- **Calidad:** en esta etapa se asegura que el contenido de los documentos estén vigentes y que contengan la información necesaria para el trabajo.
- **Comunicación:** en esta etapa se asegura el entrenamiento adecuado en los lineamientos, normas, estándares e instrucciones de trabajo.
- **Cumplimiento:** en esta etapa se hace revisión y seguimiento continuo a la aplicación y cumplimiento, además de realizar los ajustes necesarios.

Figura 28. Operación estructurada



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Excelencia Operacional.

Excelencia Operacional	Diagrama Grande de Control: análisis de cambio operacionales, análisis de cambios físicos de la planta.
	Manual de Descripción de Procesos de la Unidad: es una herramienta que efectúa una descripción general del negocio al cual pertenece la unidad operativa y permite realizar una relación causal, entre las diferentes variables que se controlan en la unidad operativa. Además, facilita la interacción con procesos de mantenimiento y con aspectos financieros.
	Ejercicios que pasa si y de diagnostico y solución de problemas: un evento ¿Qué pasa si?, es un cambio al punto de ajuste de un control de un proceso, una falla en un lazo de control o un cambio en las variables de proceso (flujo, presión, temperatura, composición, entre otras). Posteriormente se analiza que pasa en cada indicador, se resumen las observaciones hasta la consecuencia final y por último se describen las acciones de seguimiento.
	Diagrama de flujo secuencial de procedimientos de pare y arranque: permite identificar el alcance real de la estrategia de arranque/pare en forma ordenada y coherente, permite la optimización del tiempo y recursos, permite la planificación de las actividades con una secuencia lógica y posible; finalmente, ayuda al operador a tomar decisiones, asistido por líneas críticas y los procedimientos.
	Guías de entrenamiento: es una herramienta que orienta a los operadores para la correcta ejecución y entendimiento de los procedimientos operacionales.
	Matriz de Respuesta a Emergencia: es una herramienta que tabula los eventos de emergencia de la unidad y los pasos resumidos para responder después de la emergencia. Es un documento que ayuda al personal a entender similitudes y diferencias entre los eventos de emergencias y facilita la memorización.

Fuente: Elaboración propia.

Bajo la guía de Disciplina Operativa se han venido desarrollando los diferentes procedimientos e instructivos para la operación normal en cada área de tratamiento, tanto en el CPF-A como en el CPF-B; a la fecha se encuentran en etapa de comunicación y entrenamiento. Este modelo ha presentado oportunidades de mejora ya que los incidentes se siguen presentando y es ahí donde se debe trabajar para identificar las brechas a cerrar, tanto en los procedimientos de emergencia que no están desarrollados y en el compromiso del personal operativo para su cumplimiento.

Teniendo en cuenta que el objetivo de este trabajo de grado consiste en diseñar un modelo de prácticas y procedimientos de contingencias para la operación de las Centrales de Procesamiento de Fluidos (CPFs) de Campo Rubiales. La guía de Administración de Seguridad de Procesos establece el marco de referencia para el desarrollo del mismo. En este sentido, los subcomponentes disciplina operativa, procedimientos y prácticas seguras y análisis de riesgo de proceso; los cuales fueron explicados en la... **Sección 2.1**... de este capítulo, serán las bases para la construcción y diseño del modelo a implementar, aplicando las oportunidades de mejora pertinentes para de esta manera disminuir los riesgos asociados a la operación.

Con base en lo anterior, el planteamiento a desarrollar va a ser el siguiente:

- Listar y describir los escenarios de contingencia a trabajar.
- Identificar la gravedad del escenario por medio de la Matriz de Riesgos RAM.
- Diseñar el modelo de prácticas y procedimientos para los escenarios identificados en el paso anterior.
- Implementar el modelo de prácticas y procedimientos por área de operación.
- Comparar la seguridad del proceso entre el modelo existente y el modelo implementado, por medio de encuestas a los operadores. A su vez, se confrontaran bajo los parámetros del ciclo de disciplina operativa (disponibilidad, calidad, comunicación y cumplimiento), los cuales se explicaron en la... **Sección 2.2**... de este capítulo.

2.3 ESCENARIOS DE CONTINGENCIA

Para la selección de los escenarios de contingencia, los profesionales de plantas de ambos CPFs de Campo Rubiales por medio de un proceso interno denominado "*Priorización de actividades y procedimientos*", identificaron los principales escenarios de contingencia que requieren de un procedimiento. Este proceso fue basado en datos históricos que por temas de confidencialidad no pueden ser expuestos en este trabajo.

Los escenarios que se abordarán a continuación fueron suministrados directamente por Ecopetrol S.A. para realizar el diseño e implementación de los procedimientos de contingencia para las operaciones de las Centrales de Procesamiento de Fluidos.

Teniendo en cuenta lo anterior, la identificación de los escenarios fue desarrollada implícitamente por Ecopetrol S.A. No obstante, con el propósito de cumplir el objetivo de este capítulo, se realizará una valoración de cada uno de los escenarios indicados por la empresa soporte, esto para asegurar la condición de criticidad y de esa manera ser catalogado como una contingencia. Lo anterior, se analizará de acuerdo a los resultados obtenidos haciendo uso de la Matriz de Respuesta a Emergencia (RAM) como herramienta para la valoración de riesgos de procesos.

A continuación se describen cada uno de los escenarios de contingencia a evaluar.

2.3.1 Fallas en el suministro de aire industrial. El sistema de aire comprimido se encuentra conformado por el subsistema de compresores, el subsistema de secadores y el subsistema de los tanques acumuladores. En conjunto conforman una facilidad encargada de producir aire seco necesario para abastecer la demanda de la línea de instrumentación y aire húmedo para los servicios industriales de los CPFs de Campo Rubiales.

El subsistema de compresores es el encargado de obtener aire húmedo para la operación de los CPFs. El subsistema de secadores es el encargado de tomar una porción del aire húmedo suministrado por los compresores y a través de un proceso de secado, lo dispone para la red de aire de equipos e instrumentación.

Finalmente, el subsistema de los acumuladores es el encargado de almacenar y retener a través de unos tanques de almacenamiento el aire húmedo y seco provisto por los compresores y secadores, para posteriormente poder suministrarlo a lo largo de toda las líneas del sistema de aire.

2.3.2 Fallas en la generación de vapor. El sistema de generación de vapor de las Centrales de Procesamiento de Fluidos (CPFs), tiene como objetivo producir el vapor que va a ser utilizado para aumentar la temperatura de los fluidos que llegan a la facilidad, con el fin de favorecer el proceso de deshidratación del crudo, el cual como se mencionó anteriormente proviene de los pozos productores tanto con agua libre como con agua emulsionada.

El sistema en mención es de vital importancia a lo largo de todo el tratamiento térmico que se desarrolla en la facilidad y una falla en este, repercute en un posible escenario de contingencia debido a que las condiciones de ventas estipuladas (BS&W menor a 0,5%) no serían alcanzadas en los tiempos dispuestos, afectando directamente la producción del campo por una acumulación de fluidos en las facilidades.

2.3.3 Falla en el sistema de Automatización y Control. El sistema de Automatización y Control comprende el Sistema de Adquisición de Datos y Supervisión de Control (SCADA) por sus siglas en inglés. Dicho sistema corresponde a un software de control, que permite supervisar una planta o proceso por medio de una estación central, la cual se comunica por medio de PLC con los diferentes dispositivos de campo controlando de esa manera el proceso de forma automática desde una pantalla.

Esta aplicación proporciona información del proceso a diversos usuarios; además de brindar una interfaz o comunicación entre operador y estación por medio de indicadores luminosos, instrumentos de medida y pulsadores.

Una falla en este sistema de control, conlleva a que muchas de las actividades que se desarrollan de forma automatizada por medio de lazos de control; sean operadas de forma manual, afectando el proceso de deshidratación de crudo y tratamiento de agua de producción.

2.3.4 Cierre de emergencia por falla en el sistema de tratamiento de agua de vertimiento. Campo Rubiales tiene autorización según ANLA y el Ministerio de Ambiente de verter 300.000 BWPD al Caño Rubiales, por medio de 5 puntos donde en cada uno se vierten 60.000 BWPD. Una suspensión en la transferencia hacia los puntos de vertimiento conlleva a un aumento en los niveles del proceso de tratamiento de agua de producción.

2.3.5 Falla por salida de PADs de inyección o vertimiento. El tratamiento de agua es el que mayor supervisión requiere en la planta ante una posible falla en los PADs de inyección. Esto debido a que el 97% del fluido que se recibe en el CPF-A y CPF-B es agua; por esto es importante tener claro el proceso de agua en las facilidades.

El CPF-A y CPF-B manejan dentro de sus condiciones de operación normal unos determinados niveles de proceso para garantizar una operación segura y con un margen de maniobrabilidad adecuado que le permitan un tiempo de respuesta oportuno para la normalización operacional ante fallas en los PADs. Es por ello, que al ser el agua el fluido a inyectar se debe disponer de un espacio libre en todo el proceso de agua para sobrellevar contingencia alguna.

2.4 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGOS (RAM)

La Matriz de Evaluación de Riesgos (RAM) está enfocada como una herramienta de ayuda a la gerencia con el fin de interpretar en niveles de riesgos tolerables las actividades de una organización. Este método está enfocado en identificar y evaluar los riesgos asociados a la salud de un individuo por medio de una evaluación

cualitativa, por lo tanto, requiere que el analista de la matriz sea una persona con experiencia en el tema²⁵.

De acuerdo a lo anterior, se puede deducir que la Matriz RAM, es aplicable a cualquier organización en donde se encuentren involucradas personas, ayudando a encontrar riesgos latentes en las instalaciones para ejecutar un plan de acción respectivamente²⁶. En la **Figura 30** se evidencia la Matriz RAM usada por Ecopetrol S.A. para la identificación de riesgos. Esta consta de las categorías a evaluar, la gravedad de la actividad y la probabilidad de ocurrencia, para la posterior determinación y ponderación del riesgo.

Para evaluar el riesgo previo al desarrollo de la actividad se debe seguir la siguiente secuencia:

- Definir la actividad que requiere evaluar o clasificar.
- Estimar las consecuencias potenciales, considerando estas como la consecuencia que puede producirse a raíz de un peligro y dentro de una situación hipotética creíble. Dependiendo del caso que se analiza para la categoría seleccionada.
- Determinar la probabilidad de ocurrencia, dependiendo del caso que se analiza para la categoría seleccionada.
- Buscar el punto dentro de la matriz correspondiente a la consecuencia y a la probabilidad determinadas: esa será la valoración del riesgo.
- Repetir el proceso para la siguiente categoría hasta que cubra todas las posibles pérdidas: personas, económica, ambiente, clientes y reputación.
- Una vez combinada la consecuencia con la probabilidad para cada una de las categorías, se toma la gravedad más alta como la valoración de la actividad.
- Establecer el criterio de control de acuerdo al nivel de riesgo. El Cuadro 1 muestra la interpretación del criterio de control según el nivel de riesgo. Cabe destacar, que el Cuadro 1 permite evidenciar que los niveles de riesgo estipulados en la Matriz RAM son: muy alto, alto, medio, bajo y ninguno. A su vez, estos niveles se encuentran vinculados con su respectivo color facilitando la metodología de uso de esta herramienta.

²⁵ VILLARREAL, David Oswaldo. Sistemas de gestión y metodologías para análisis y evaluación de riesgos de seguridad. Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad. Bogotá, 2017. p.19.

²⁶ *Ibíd.*, p. 19.

Cuadro 1. Criterios de control debido al nivel de riesgo.

COLOR	RIESGO	INTERPRETACIÓN
VH	Muy Alto	Riesgo intolerable para asumir, requiere buscar alternativas y decide la Gerencia.
H	Alto	Inaceptable, deben buscarse alternativas. Si se decide realizar la actividad, deberá implementarse previamente un tratamiento especial en cuanto al nivel de control. La Gerencia está involucrada en la decisión.
M	Medio	Se deben tomar medidas para reducir el riesgo a niveles razonablemente prácticos, debe demostrarse el control del riesgo.
L	Bajo	Discutir y gestionar mejora de los sistemas de control y de calidad establecidos.
N	Ninguno	Riesgo muy bajo, usar sistemas de control y calidad establecidos (permisos, procedimientos, listas de chequeo, responsabilidades y competencias, Elementos de Protección Personal, etc.)

Fuente: ECOPETROL S.A. Formato Matriz Valoración de Riesgos. Gestión HSE. Vicepresidencia desarrollo sostenible y ambiental, 2018.

Las convenciones de los riesgos de la Matriz de Evaluación de Riesgos (RAM) se evidencian en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Convenciones Riesgos Matriz RAM.

LETRA	SIGNIFICADO	TRADUCCIÓN
VH	Del inglés Very High	Léase Muy Alto
H	Del inglés High	Léase Alto
M	Del inglés Medium	Léase Medio
L	Del inglés Low	Léase Bajo
N	Del inglés None	Léase Ninguno

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en el Cuadro 3 se encuentra la Descripción de la Matriz de Evaluación de Riesgos. Estas especificaciones, para cada una de las categorías (personas, economía, ambiente, clientes y reputación) establecen el marco de referencia y los criterios de evaluación apropiados que garantizan la objetividad de las valoraciones a efectuar.

Figura 30. Matriz de Valoración de Riesgos “Risk Assessment Matrix - RAM”.

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 del año	
CATEGORÍAS						PROBABILIDAD					
GRAVEDAD	PERSONAS	ECONÓMICA (USD\$)	AMBIENTAL	CLIENTES	REPUTACIÓN	A	B	C	D	E	
	5	Una o Más Fatalidades de trabajadores ó incapacidades permanentes a personal de la comunidad	Mayor a 10 Millones	Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Internacional	M	M	H	H	VH
	4	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	L	M	M	H	H
	3	Incapacidad temporal (Mayor o Igual a 1 Día) de trabajadores u 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	N	L	M	M	H
	2	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	N	N	L	M	M
	1	Lesión Leve de trabajadores (Primeros Auxilios)	Menor a 10.000	Leve	Incumplimiento de Especificaciones solucionado	Local y baja importancia	N	N	N	L	L
	0	Sin Lesión	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	N	N	N	N	N

Fuente: ECOPETROL S.A. Formato Matriz Valoración de Riesgos. Gestión HSE. Vicepresidencia desarrollo sostenible y ambiental.

Cuadro 3. Descripción Matriz de Riesgos – RAM.

Nivel de Gravedad	0	1	2	3	4	5
Personas	Ninguna lesión	Lesión leve de trabajadores (primeros auxilios)	Trabajadores: lesión menor sin incapacidad, incluye tratamiento médico, trabajo restringido. Comunidad: primeros auxilios sin hospitalización.	Trabajadores: afectan el rendimiento laboral o requiere unos días para recuperarse completamente. Comunidad: hospitalización en centros asistenciales	Trabajadores: incapacidad permanente total o parcial y enfermedades ocupacionales Comunidad: incapacidad temporal.	Trabajadores: uno o más fatalidades. Comunidad: una o más fatalidades o incapacidades permanentes a la comunidad.
Económicas	Ninguna	Menor a 10.000 USD	10.000 < 100.000 USD	100.000 < 1 millón USD	1 millón USD < 10 millones USD	Mayor a 10 millones USD
Ambiental	No hay afectación ambiental	Volumen de la sustancia derramada: de 0.1 a 1 BBLs. Tiempo de limpieza: menor a 1 día. Impactos a recursos naturales o especies: afectación dentro de las instalaciones.	Volumen de la sustancia derramada: de 1 a 10 BBLs. Tiempo de limpieza: de 1 a 30 días. Impactos a recursos naturales o especies: afectación en predios de terceros.	Volumen de la sustancia derramada: de 10 a 100 BBLs. Tiempo de limpieza: de 30 a 60 días. Impactos a recursos naturales o especies: derrame de hidrocarburo en cuerpo de agua.	Volumen de la sustancia derramada: de 100 a 1.000 BBLs. Tiempo de limpieza: de 60 a 90 días. Impactos a recursos naturales o especies: derrame de hidrocarburo en cuerpo de agua con restricción de uso.	Volumen de la sustancia derramada: mayor a 1.000 BBLs. Tiempo de limpieza: mayor a 90 días. Impactos a recursos naturales o especies: derrame de hidrocarburo en cuerpo de agua con restricción de uso.

Cuadro 3. (Continuación)

Nivel de Gravedad	0	1	2	3	4	5
Clientes	No hay afectación a clientes	Riesgo de incumplir cualquiera de las especificaciones acordadas con el cliente. Circunstancias planeadas o no planeadas, pero con posibilidad de solución antes de que el cliente perciba el potencial incumplimiento.	Cuando situaciones planeadas o no planeadas impactan procesos o productos comprometidos con los clientes, que generan quejas y reclamos.	Decisiones y/o circunstancias atribuibles a los clientes, que implican la afectación a procesos de producción por el deterioro en la relación comercial con el cliente.	Decisiones y/o circunstancias atribuibles a los clientes que implican afectación a procesos de producción por deterioro en la relación comercial. Alteración estabilidad socio-económica por desatención de suministros.	Incumplimiento de metas de producción por la pérdida efectiva de participación en el mercado para productos de comercialización nacional, y en el mercado internacional la pérdida de participación en el presupuesto de compra.
Reputación	No hay afectación a reputación	Los hechos ocurren en lugares con visibilidad local y baja importancia económica, ambiental, cultural o social.	Hay presencia de medios nacionales de comunicación, los hechos ocurren en lugares con visibilidad nacional y baja importancia económica, ambiental, cultural o social.	Presencia de medios nacionales con cubrimiento inmediato, los hechos ocurren en lugares con visibilidad nacional e importancia económica, ambiental, cultural o social. Alta sensibilidad.	Un tercero es la fuente principal de la información. La sensibilidad sobre el hecho es alta y existen posiciones de rechazo por parte de un grupo.	Un tercero es la fuente de información, existen posiciones de rechazo generalizadas en la sociedad.

Fuente: ECOPETROL S.A. Formato Matriz Valoración de Riesgos. Gestión HSE. Vicepresidencia desarrollo sostenible y ambiental, 2018.

2.5 VALORACIÓN RAM

De acuerdo al análisis realizado a cada uno de los escenarios de contingencia por medio de la Matriz RAM, se obtiene una valoración del riesgo por cada una de las categorías, teniendo en cuenta la gravedad y la probabilidad de ocurrencia. Para obtener la valoración final de la actividad se toma la gravedad más alta, la cual se debe expresar mediante la primera letra de la categoría, seguida del número de gravedad, posteriormente la probabilidad y por último el riesgo.

2.5.1 Fallas en el suministro de aire industrial. Esta falla arroja una valoración de riesgo P4CM, su afectación directa es al personal involucrado en la operación, llegando a originar incapacidad permanente o temporal; así mismo en las comunidades cercanas. Esta valoración se obtuvo ya que al presentarse fallas en los subsistemas (compresores, secadores y tanques acumuladores) el personal tendrá que efectuar sus labores de forma manual siendo más propensos a sufrir un accidente. El Cuadro 4 representa dicha valoración.

Cuadro 4. Valoración por falla en el suministro de aire industrial.

Categoría	Gravedad	Probabilidad	Riesgo
Personas	4	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Económica	3	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Ambiental	2	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	L
Clientes	0	Sucede varias veces al año en la empresa. De probable ocurrencia en un lapso entre 1 y 5 años (D) .	N
Reputación	0	Sucede varias veces al año en la empresa. De probable ocurrencia en un lapso entre 1 y 5 años (D) .	N
Valoración			P4CM

Fuente: Elaboración propia.

2.5.2 Falla en la generación de vapor. Esta falla arroja una valoración de riesgo E4CM, su afectación directa está involucrada al proceso de deshidratación de crudo por tratamiento térmico, debido a que las condiciones de venta estipuladas no serían alcanzadas en los tiempos dispuestos, afectando directamente la producción del campo, es decir, repercute económicamente. En el Cuadro 5, se evidencia la valoración por falla en la generación de vapor para cada una de las categorías junto a la valoración final.

Cuadro 5. Valoración por falla en la generación de vapor.

Categoría	Gravedad	Probabilidad	Riesgo
Personas	3	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Económica	4	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Ambiental	2	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	L
Clientes	0	Sucede varias veces al año en la empresa. De probable ocurrencia en un lapso entre 1 y 5 años (D) .	N
Reputación	0	Sucede varias veces al año en la empresa. De probable ocurrencia en un lapso entre 1 y 5 años (D) .	N
Valoración			E4CM

Fuente: Elaboración propia.

2.5.3 Falla en el sistema de Automatización y Control. Esta falla arroja una valoración de riesgo P3CM, E3CM y A3CM, para este caso, al haber más de una categoría con la misma gravedad se deben tomar las tres debido a que no son excluyentes entre sí.

La valoración P3CM afecta directamente al personal, debido a que una falla en el sistema de control conlleva a que muchas de las actividades que se desarrollan de forma automatizada sean operadas de forma manual, exponiendo a los operadores a cualquier clase de peligro llegando a causar incapacidad temporal.

La valoración E3CM repercute económicamente en la producción del campo, ya que una falla en el sistema de control afecta los tiempos de tratamiento de las fases, disminuyendo la producción y por ende las ventas a ODL; además de aumentar los costos operacionales.

La valoración A3CM repercute en el medio ambiente, debido a que al no contar con la instrumentación disponible en el sistema de automatización y control, se hace más propenso el rebose de tanques y piscinas, generando derrames de hidrocarburos y causando daños ambientales.

El Cuadro 6, muestra la valoración para la falla en el sistema de automatización y control para ambos CPFs de Campo Rubiales.

Cuadro 6. Valoración por falla en el sistema de Automatización y Control.

Categoría	Gravedad	Probabilidad	Riesgo
Personas	3	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Económica	3	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Ambiental	3	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Clientes	1	Sucede varias veces al año en la empresa. De probable ocurrencia en un lapso entre 1 y 5 años (D) .	L
Reputación	0	Sucede varias veces al año en la empresa. De probable ocurrencia en un lapso entre 1 y 5 años (D) .	N
Valoración			P3CM E3CM A3CM

Fuente: Elaboración propia.

2.5.4 Cierre de emergencia por falla en el sistema de tratamiento de agua de vertimiento. La valoración A4CM repercute ambientalmente, debido a que al aumentar los niveles de fluido a lo largo del proceso de tratamiento de agua, se pueden ocasionar reboses de natas en equipos como los Skim Tanks, las celdas de flotación y los Skim Vessel. El crudo por diferencia de densidades se deposita en la parte superior de cada una de los equipos de tratamiento mencionados, mientras que el agua al ser más densa se acumula en la parte inferior de las facilidades, por lo cual el rebose será en un principio de hidrocarburos. En el Cuadro 7 se muestra la valoración para este escenario de contingencia.

Cuadro 7. Valoración por cierre de emergencia por vertimiento.

Categoría	Gravedad	Probabilidad	Riesgo
Personas	3	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Económica	3	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Ambiental	4	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Clientes	2	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	L
Reputación	2	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Valoración			A4CM

Fuente: Elaboración propia.

2.5.5 Falla por salida de PADs de inyección o vertimiento. Esta falla arroja una valoración de riesgo P4CM, su afectación directa es al personal involucrado en la

operación, llegando a originar incapacidad permanente o temporal; así mismo en las comunidades cercanas. Esta valoración se obtuvo ya que al garantizar disponibilidad de espacio, en ocasiones los operadores deben realizar maniobras de alineación de válvulas para el direccionamiento y distribución apropiada de fluidos. Lo cual los expone a cualquier tipo de peligro.

La valoración E4CM repercute económicamente en la producción del campo, debido a que al no haber disponibilidad de espacio se debe restringir la entrada de fluidos a la facilidad. Esto quiere decir, que se deben cerrar pozos lo cual conlleva a menor producción diaria, es decir, ingresos. El Cuadro 8, muestra la valoración de una falla por salida de PADs de inyección o vertimiento para el CPF-A y el CPF-B.

Cuadro 8. Valoración por falla por salida de PADs de inyección o vertimiento.

Categoría	Gravedad	Probabilidad	Riesgo
Personas	4	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Económica	4	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Ambiental	3	Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años. (C) .	M
Clientes	2	Sucede varias veces al año en la empresa. De probable ocurrencia en un lapso entre 1 y 5 años (D) .	M
Reputación	1	Sucede varias veces al año en la empresa. De probable ocurrencia en un lapso entre 1 y 5 años (D) .	L
Valoración			P4CM E4CM

Fuente: Elaboración propia.

3. DISEÑO DE MODELO DE PRÁCTICAS Y PROCEDIMIENTOS

En el siguiente capítulo se describen las herramientas a usar para el diseño del modelo a implementar, el modelo debe garantizar la seguridad de los procesos basado en la implementación de buenas prácticas, por medio de controles administrativos y procedimientos. Dentro de las herramientas a detallar se encuentran los peligros, riesgos y controles de seguridad, la metodología HAZOP también conocida como Análisis Funcional de Operatividad, la Matriz de Respuesta a Emergencias, el Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF) y por último las acciones para asegurar la facilidad.

3.1 PELIGROS, RIESGOS Y CONTROLES DE SEGURIDAD

Como inicio del diseño del modelo de prácticas y procedimientos, se deben contemplar los peligros que pudieran afectar la realización de una actividad específica, los riesgos asociados a los peligros identificados y por último los controles de seguridad.

En el Cuadro 9 se identifican los peligros asociados a las operaciones en las Centrales de Procesamiento de Fluidos de Campo Rubiales.

Cuadro 9. Peligro, Riesgos y Controles de Seguridad operación CPFs.

	PELIGRO	RIESGO	CONTROLES DE SEGURIDAD
Químico	Presencia de vapores orgánicos, gases combustible s e inflamables	Inhalación y/o exposición a vapores	Preventivo: informar a los ejecutores si está expuesto a alguna sustancia toxica o inflamable en el área donde se va a desarrollar la labor.
			Preventivo: revisar integridad mecánica de las bombas, generadores, tanques y equipos en general fugas y válvulas.
			Protectivo: uso de elementos de protección personal básicos y uso de respirados de vapores si se requiere.
			Preventivo: identificar extintores y los sistemas contraincendios del área.
			Preventivo: realizar pruebas de atmosferas durante la ejecución de la actividad por personal autorizado y competente.
			Preventivo: verificar que los equipos de comunicaciones y/o medición sean antiexplosivos.
			Preventivo: verificar que los equipos de detección de atmosferas y el personal que toma la prueba, estén calibrados y certificados.
			Reactivo: en caso de incendio comunicarse con el líder de la brigada de contraincendios y activar el plan de emergencia.

Cuadro 9. (Continuación)

Químico	Hidrocarburos líquidos a presión atmosférica de 14,7 psi en tanques de almacenamiento y en la recolección, almacenamiento, tratamiento y entrega, la presión va de los 20 psi hasta los 150 psi	Contacto con hidrocarburos y/o químicos	Reactivo: en caso de inhalación reportar inmediatamente y prestar los primeros auxilios.
			Preventivo: disponer y divulgar las hojas de datos de seguridad (MSDS), del producto (crudo y Fuel Oil) y productos químicos que manipulen en el área los trabajadores.
			Preventivo: identificar las fuentes de liberación de productos a alta temperatura y/o presión e informar a los ejecutores.
			Protectivo: uso de overol o camisa manga larga, guantes de nitrilo, gafas de seguridad, protección respiratoria.
			Preventivo: identificar los lavaojos que se encuentren próximos al área de trabajo.
			Reactivo: aplicar plan de emergencia en caso de que se presente algún evento.
		Derrame o fuga de hidrocarburos y/o combustibles	Preventivo: verificar alrededor del área de trabajo la integridad de líneas, tanques y efectuar pruebas a equipos.
			Preventivo: inspección constante de cierre y/o apertura de válvulas.
			Preventivo: realizar verificación del estado de las válvulas y de los diques de contención y registrarla en la ronda estructurada.
			Preventivo: verificar que la capacidad de contención de los diques sea suficiente para contener un derrame o fuga de fluidos.
			Preventivo: ubicar puntos de control ambiental, kit de derrame próximos al área de trabajo.
			Reactivo: en caso de derrame o fuga de fluidos, reportar al operador de turno o al supervisor del área para activar el plan de contingencia.
Físico	Tuberías que transportan vapor o crudo a los tanques FWKO, Skim Tank, Tanque de Cabeza y Tanque de Almacenamiento con una temperatura entre 150 °F a 338 °F	Contacto con superficies calientes	Preventivo: identificar la señalización de superficies calientes.
			Preventivo: verificar que la tubería cuente con revestimiento térmico para evitar contacto directo con superficies calientes.
			Preventivo: mantener distancia y evitar el contacto directo con las superficies calientes.
			Preventivo: el personal que vaya a ejecutar actividades en sitios debe ser autorizado por la autoridad del área de Ecopetrol.
			Protectivo: uso de guantes de vaqueta y camisa manga larga cuando se trabaja en superficies calientes.
			Reactivo: prestar atención de primeros auxilios y activar plan de emergencias.

Cuadro 9. (Continuación)

Físico	Lluvias y tormentas eléctricas	Descargas eléctricas	Preventivo: suspender actividades cuando se presentan lluvias o tormentas eléctricas.
			Preventivo: ubicar y asegurar la existencia de pararrayos próximos al área de trabajo.
			Protectivo: instalar puestas a tierra a equipos y estructuras metálicas, si se requiere.
			Preventivo: cuando se presenten lluvias utilizar impermeables como parte de los EPP.
			Preventivo: nunca pararse debajo de un árbol y evitar estar cerca de cables, postes o torres de electricidad cuando se presenten lluvias o tormentas eléctricas.
			Reactivo: activar plan de emergencias si se presenta algún accidente.
	Radiaciones no ionizantes	Exposición a radiaciones solares	Preventivo: asegurar la permanencia de un termo con agua potable suficiente para la hidratación del personal durante la jornada de trabajo.
			Preventivo: disponer de campamentos o zonas de sombra para el personal, cerca al área de trabajo.
			Protectivo: utilizar ropa de trabajo adecuada para la labor, en especial camisa manga larga.
			Protectivo: uso de bloqueador solar o capuchón.
			Reactivo: activar plan de emergencia en caso de presentarse un incidente por insolación o golpe de calor.
			Preventivo: no caminar o saltar sobre la tubería, bandejas, porta cables o ductos eléctricos. Realizarlo por senderos peatonales.
	Ruido (generadores, motores, etc.)	Sobrepasar los límites permisibles	Protectivo: uso de protección auditiva (tapa oídos de inserción o de copa) en los sitios donde se genere ruido.
Iluminación deficiente	Fatiga visual, cefalea, visibilidad deficiente	Preventivo: contar con linternas o lámparas en el área de trabajo acorde la necesidad.	
		Protectivo: contar dentro de los EPP con gafas de seguridad de lentes claros.	
		Reactivo: suspender la actividad en caso de iluminación deficiente.	

Cuadro 9. (Continuación)

Biológicos	Animales ponzoñosos y/u ofídicos, alacranes, mosquitos, zancudos.	Exposición o contacto directo o indirecto con animales ponzoñosos y ofidios	Preventivo: inspeccionar el área de trabajo antes de iniciar labores, para verificar que no haya animales que puedan causar daño a los trabajadores.
			Preventivo: uso de repelente.
			Preventivo: reportar la presencia de avispas, abejas o presencia de cualquier otro animal al supervisor de emergencias (SACS).
			Protectivo: uso de elementos de protección personal básicos.
			Preventivo: revisar la presencia de animales ponzoñosos y/u ofidios en las áreas de almacenamiento antes de retirar elementos y equipos.
			Reactivo: prestar atención de primeros auxilios y activar plan de emergencias.
Locativos	Objetos, obstáculos, superficies irregulares y líneas de proceso en el área	Transito y/o paso sobre obstáculos y tuberías, caídas al mismo nivel, caídas por deslizamiento	Preventivo: verificar el terreno y el piso por donde se va a transitar.
			Preventivo: transitar por los senderos peatonales autorizados.
			Preventivo: usar pasamanos y barandas, realizar desplazamientos controlados y mantener tres puntos de apoyo al subir y bajar escaleras.
			Preventivo: identificar y respetar las señales de precaución que se encuentran en el área.
			Preventivo: verificar que el piso no presente sustancias que puedan generar superficies resbalosas.
			Preventivo: mantener en orden y aseo las áreas de trabajo.
			Preventivo: no caminar o saltar sobre la tubería, bandejas, porta cables o ductos eléctricos. Realizarlo por senderos peatonales.
Reactivo: prestar atención de primeros auxilios y activar plan de emergencia en caso de requerirse.			
Eléctrico	Energía media eléctrica – Media tensión 1.000 V hasta 5.000 V	Contacto directo o indirecto con cables eléctricos energizados y expuestos	Preventivo: identificar la señalización de equipos o líneas energizadas en el área de trabajo
			Preventivo: aplicar distancia de seguridad.
			Preventivo: coordinar con la autoridad eléctrica la ejecución de actividades en cercanías a equipos o conductores eléctricos.
			Preventivo: si se va a realizar mantenimiento de un equipo o instalación y requiere se desenergizado aplicar SAES. Todo el personal que aplique SAES debe ser un electricista certificado.

Cuadro 9. (Continuación)

			<p>Preventivo: no realizar actividades intrusivas sin previa autorización por medio del permiso de trabajo por parte del emisor del área.</p> <p>Protectivo: aplicar las 5 reglas de oro cuando se vayan a intervenir equipos o sistemas eléctricos.</p> <p>Protectivo: uso de elementos de protección personal dieléctricos para trabajos con equipos eléctricos.</p> <p>Preventivo: realizar inspección del entorno de trabajo para identificar si existen cables o circuitos eléctricos expuestos y tomar las acciones preventivas para eliminar o controlar el riesgo.</p> <p>Reactivo: activar plan de emergencia en caso de que se presente un incidente.</p>
Mecánicos	Partes en movimiento y rotativas	Contacto con el elemento móvil o atrapamiento	<p>Preventivo: verificar que los sistemas cuenten con las guardas de seguridad adecuadas.</p> <p>Preventivo: evitar manipular o realizar mantenimiento a las bombas o equipos cuando estén en movimiento.</p> <p>Preventivo: no usar prendas sueltas, joyas o cualquier otro elemento que pueda generar atrapamiento.</p>
Vehicular	Tránsito de vehículos dentro del CPF	Accidentes de tránsito	<p>Preventivo: no exceder los 10 kilómetros por hora dentro del CPF.</p> <p>Preventivo: el conductor del vehículo debe recibir autorización por la autoridad del área para el ingreso o cargue o descargue de herramientas, equipos, materiales o fluidos.</p> <p>Preventivo: verificar que el vehículo cuente con inspección periódica y mantenimiento preventivo que asegure su funcionamiento mecánico adecuado.</p> <p>Preventivo: no transitar dentro de los diques en los vehículos.</p> <p>Preventivo: parquear el vehículo en lugares autorizados por el jefe de área.</p> <p>Reactivo: en caso de accidente aplicar plan de emergencia del área.</p>

Fuente: ECOPETROL S.A. Peligros, Riesgos y Controles de Seguridad. Gerencia HSE, 2017. Modificada por los autores, 2019.

3.2 METODOLOGÍA HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY)

El HAZOP o también conocido como Análisis Funcional de Operatividad, es una metodología o técnica para la identificación de peligros y riesgos de proceso, los cuales pueden producirse por desviaciones en la operación.

Consiste en la aplicación de combinaciones de parámetros y palabras guía, para producir desviaciones de la intención de diseño o el modo operacional intentado de la planta. Para cada nodo, se identifican causas creíbles de las desviaciones, se discuten las consecuencias y se identifican las salvaguardas existentes en la instalación. Se establecen las acciones requeridas y en caso de que las salvaguardas no sean suficientes se deben emitir recomendaciones para controlar o mitigar las consecuencias identificadas²⁷.

A continuación, se definen los conceptos claves involucrados en el desarrollo del ejercicio HAZOP.

3.2.1 Nodo. Porción de un sistema, proceso o procedimiento que tiene una función específica, la cual se aísla para propósitos de estudiar los peligros asociados a desviaciones respecto a la intención de diseño.

3.2.2 Desviaciones. Son los cambios de desempeño o variaciones en los parámetros de un sistema, alejándose de la intención de diseño y que pueden conducir a situaciones de riesgo.

3.2.3 Causas. Son las razones (acciones o eventos) que llevan a la ocurrencia de una desviación. Todas las causas tienen que ser creíbles y deben ser discutidas debido a que las consecuencias y recomendaciones para cada acción pueden ser diferentes.

3.2.4 Salvaguardas. Son las medidas existentes en el diseño del sistema, que se analiza con el fin de disminuir la probabilidad de que un evento riesgoso tenga lugar, es decir, prevenir la causa.

3.2.5 Recomendaciones. Sugerencias o soluciones propuestas para disminuir el riesgo identificado asociado a desviaciones para las cuales las salvaguardas son considerados insuficientes, inaceptables o no existen.

3.3 MATRIZ DE RESPUESTA A EMERGENCIAS

Es una herramienta que tabula los eventos de emergencia de la unidad y los pasos resumidos (planes) para responder a las emergencias. Es un recurso que ayuda al

²⁷ Ecopetrol S.A. Vicepresidencia de Servicios y Tecnología Corporativo de Normas y Estándares. Instructivo técnico para análisis de HAZOP. Bogotá, 2010. p. 11.

personal a entender similitudes y diferencias entre los eventos de emergencia y facilita la memorización²⁸.

La metodología para el uso de la Matriz de Respuesta a Emergencias, consiste en primera instancia en identificar la falla que se está presentando; posteriormente, se procede a verificar el cuadro de convención de colores para definir el área de operación. Paso seguido, se analiza la matriz de forma que se identifica si se debe efectuar alguna acción ya sea inmediata o estabilizadora, o si por el contrario se debe continuar con la operación de forma normal.

En este punto cabe mencionar, que la matriz también establece el orden en que se debe ejecutar cada plan para cada emergencia identificada. Siguiendo el orden de los números de forma ascendente o descendente, es decir, que para facilidad del lector es útil aclarar que la secuencia numérica es vertical más no horizontal. Por último, vale la pena mencionar que esta herramienta brinda las siguientes ventajas a la organización:

- Identificar las emergencias que pueden llevar a paro la unidad.
- Definir un equipo de trabajo y de acuerdo a la experiencia en la planta, los planes a seguir para responder a las emergencias.
- Verificar los pasos de los planes para dar respuesta a las diferentes emergencias que se puedan presentar.
- Facilitar la memorización de los pasos de cada uno de las emergencias de la unidad.
- Definir en un solo documento las respuestas a diferentes emergencias en la unidad.

3.3.1 Acciones inmediatas. Son las acciones que requiere que se completen con celeridad de manera segura, bajo condiciones HSE, sin retrasos y que pongan en riesgo la integridad de las personas, la infraestructura y el medio ambiente. En la matriz son representadas en negrilla²⁹.

3.3.2 Acciones estabilizadoras. Son las acciones que deben realizarse a tiempo, aunque la urgencia es menor que para los pasos de acción inmediata.

3.3.3 Casillas numeradas. Las casillas numeradas relacionan los pasos resumidos a cada evento de emergencia en operación. Determinan el orden en que se ejecuta cada plan para cada emergencia. En el caso de que en la casilla aparezca la abreviatura (N.A.), hace referencia a que no se deben efectuar acciones, se debe continuar con la operación de manera normal.

²⁸ ECOPETROL S.A. Producción Facilidad Central de Procesamiento 01 de Campo Rubiales. Matriz de Respuesta a Emergencia en Operación. Campo Rubiales, 2017. p. 1.

²⁹ *Ibíd.*, p. 2.

En el Cuadro 10 se muestra la Matriz de Respuesta a Emergencia para el CPF-A, donde se evidencian las 5 fallas estipuladas, las 8 áreas de operación y el orden en que se debe ejecutar cada emergencia por las casillas numeradas de forma ascendente y descendente.

Cuadro 10. Matriz de Respuesta a Emergencias CPF-A.

NEGRILLAS – ACCIÓN INMEDIATA, OBLIGATORIA TEXTO NORMAL - ACCIÓN ESTABILIZADORA		Falla total de aire de instrumentos	Falla del Sistema de Control y Automatización	Salida Total de los PADS de inyección	Falla Total del Sistema de Generación de Vapor	Falla en el sistema de agua de vertimiento
Planes de emergencia CPFs.						
	Realice Notificaciones y evacue al personal no esencial.	1	1	1	1	1
	Verifique y/o active sistema de emergencia.	2	2	2	2	2
	Asegure condiciones operativas de las piscinas de inyección y vertimiento.	4	4	3	N.A.	3
	Asegure condiciones operativas de los paquetes de tratamiento de agua (PTAs)	5	6	4	N.A.	4
	Asegure condiciones operativas de los Skim Tanks.	3	3	5	N.A.	5
	Asegure las condiciones operativas del área de Batería-2.	6	5	7	5	7
	Asegure condiciones operativas del área de procesos: sistema de integración energética, tratadores, FWKOs y Tanque de Cabeza.	7	7	6	4	6
	Asegure condiciones operativas de las tanques de almacenamiento.	8	8	8	6	8
	Asegure condiciones operativas de las bombas de transferencia de crudo a ODL y cargadero.	9	9	9	7	9
	Asegure condiciones operativas de la piscina de retro lavado.	10	10	10	N.A.	10
	Asegure las condiciones operativas del área de calderas.	N.A.	N.A.	N.A.	3	N.A.

Fuente: ECOPETROL S.A. Producción Facilidad Central de Procesamiento 01 de Campo Rubiales. Matriz de Respuesta a Emergencia en Operación. Campo Rubiales, 2017. La tabla fue modificada por los autores para el desarrollo del diseño de prácticas y procedimientos de contingencia, 2019.

3.3.4 Relación de colores. Los colores al lado izquierdo de la matriz indican las áreas de tratamiento de la facilidad. La relación se presenta en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Relación de colores CPF-A.

Color	Área
	Inyección y vertimiento.
	Paquetes de tratamiento de agua de producción (PTA)
	Skim Tanks.
	Batería-2
	Procesos.
	Calderas
	Almacenamiento y cargadero.
	Retro lavado.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF)

El Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF), es un procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos y causas; para de esa forma evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención³⁰.

Para cada uno de los escenarios del proceso, deben identificarse las fallas potenciales. A continuación, deben listarse todos los efectos relacionados con las fallas identificadas. Finalmente, se establecen las acciones correctivas que se pueden aplicar con el fin de mitigar o prevenir las fallas en mención.

3.4.1 Modo de falla. Es la forma en la que un producto o proceso puede afectar el cumplimiento de las especificaciones, al cliente o al proceso siguiente.

3.4.2 Efecto. Puede considerarse como un impacto en el cliente o en el proceso siguiente, cuando el modo de falla no se previene ni corrige.

3.4.3 Acciones correctivas. Hace referencia a una acción tomada para eliminar las causas de una no conformidad detectada u otra situación indeseable. La acción correctiva se toma para prevenir que algo vuelva a producirse.

3.5 ACCIONES PARA ASEGURAR LA FACILIDAD

Hace referencia al conjunto de actividades necesarias para realizar la estabilización de las Centrales de Procesamiento de Fluidos (CPFs), después de una emergencia en operación, de manera segura y confiable³¹. Para el desarrollo de estas acciones,

³⁰ INGENIERÍA INDUSTRIAL ONLINE. Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF). Recuperado de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef>. 11 de febrero de 2019.

³¹ ECOPETROL S.A. Producción Facilidad Central de Procesamiento 01 de Campo Rubiales. Procedimiento de Respuesta a Emergencias en Operación. Campo Rubiales, 2017. p. 1.

se efectuó una visita de campo por parte de los autores a los CPFs de Campo Rubiales, en donde con el aporte de los operadores, se realizó el levantamiento de la información necesaria para garantizar la fiabilidad de esta herramienta en el momento de ejecutar las acciones establecidas para asegurar la facilidad.

Resaltando las herramientas a utilizar en la ejecución del diseño del modelo. En primera instancia, se cuenta con el cuadro de peligros, riesgos y controles de seguridad. Posteriormente se cuenta con la metodología HAZOP y la Matriz de Respuesta a Emergencia. Por último, se destaca el Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF) junto a las acciones para asegurar la facilidad. Estas cinco herramientas constituyen el diseño del modelo propuesto por los autores.

4. IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS

Considerando las fallas suministradas por Ecopetrol S.A. las cuales fueron valoradas como se observa en la...**Sección 2.5**... para cada uno de los CPFs, sumado a la metodología de diseño planteado en el capítulo anterior; se pretende implementar un modelo eficaz, que permita a los operadores actuar de manera adecuada y en el menor tiempo posible debido a la condición de contingencia.

Teniendo en cuenta lo anterior, la implementación se basa en una ficha técnica en la cual de forma resumida se brinda la información necesaria, así como los pasos a ejecutar para actuar en caso de presentarse la falla identificada.

Considerando el número de áreas de operación y el número de fallas que se puedan presentar en cada uno de los CPFs, cabe especificar el número de fichas técnicas a entregar: en el caso del CPF-A, este cuenta con 9 áreas de operación establecidas y cinco escenarios de contingencia, para un total de 45 entregables. Para el CPF-B, la operación se desarrolla en 10 áreas, y cuatro casos de contingencia. El escenario que no se maneja en esta facilidad es el de falla en el sistema de vertimiento, debido a que el agua a verter únicamente a la fecha es transferida desde el CPF-A. Es decir, un total de 40 fichas técnicas para esta facilidad. En síntesis, el número total de entregables entre ambos CPFs es de 85 unidades.

Debido a que no es posible suministrar cada una de estas fichas técnicas en el presente documento, se va a realizar la explicación de una falla por cada CPF. No obstante, en el programa a desarrollar se encontrarán cada una de las acciones a ejecutar por área de operación. Adicionalmente, se suministrarán las fichas técnicas en físico en su totalidad a la empresa soporte.

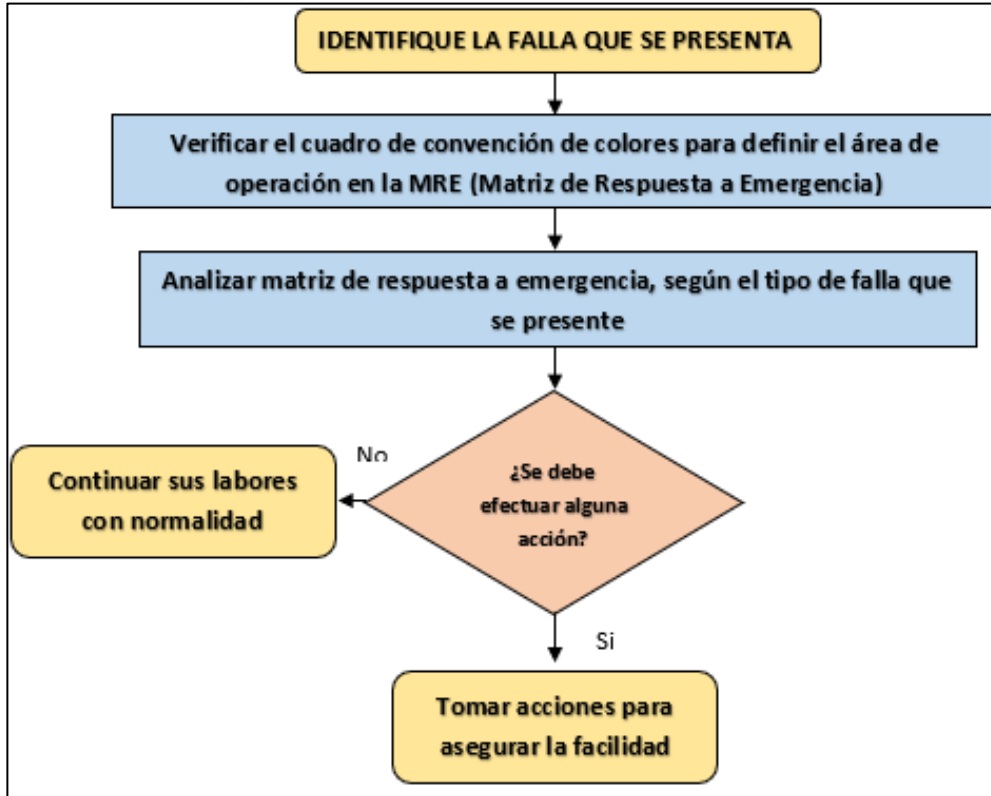
Para el CPF-A, el escenario que presenta una mayor probabilidad de ocurrencia es la falla en el sistema de automatización y control; en el caso del CPF-B, la salida de PADs de inyección es el evento de contingencias que más veces se repite y por ende son los que se van a exponer en el presente capítulo.

4.1 PROCEDIMIENTO FALLA EN EL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CPF-A

Una falla en este sistema de control, conlleva a que muchas de las actividades que se desarrollan de forma automatizada por medio de lazos de control; sean operadas de forma manual, afectando el proceso de deshidratación de crudo y tratamiento de agua de producción.

4.1.1 Flujograma. En este diagrama de flujo, se encuentra la secuencia de pasos a realizar en caso de presentarse una falla. Estas etapas se describen en la **Figura 31** que se muestra a continuación:

Figura 31. Flujograma.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.1 Verificar el cuadro de convención de colores. En este cuadro se encuentran las diferentes áreas identificadas por un color particular. Ver **Cuadro 11**.

4.1.1.2 Analizar Matriz de Respuesta a Emergencia. Establece si se debe efectuar alguna acción ya sea inmediata o estabilizadora, o si por el contrario se debe continuar con la operación de forma normal. Ver **Cuadro 10**.

4.1.1.3 Tomar acciones para asegurar la facilidad. Son las actividades necesarias para realizar la estabilización de las Centrales de Procesamiento de Fluidos (CPF), después de una emergencia en operación, de manera segura y confiable.

- **Acciones operativas área piscinas de inyección y vertimiento.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 12. Acciones para el área de piscinas de inyección y vertimiento CPF-A.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Monitorear el estado de las torres de enfriamiento.
	Verificar el estado operativo de las bombas de transferencia hacia vertimiento.
	Verificar caudal de entrada y nivel de la piscina de vertimiento.
	Verificar el estado operativo de las bombas del sistema de aspersion.
	Monitorear el estado de las bombas de transferencia.
	Verificar frecuencia en los PADs de inyección.
	Monitorear caudal de entrada en las piscinas de inyección.
	Asegurar las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de los equipos del área de procesos, según integridad operativa.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área de Paquetes de Tratamiento de Agua (PTAs).** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 13. Acciones para el área de paquetes de tratamiento de agua de producción CPF-A.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Monitorear el nivel de las piscinas.
	Monitorear el estado operativo de los trenes de tratamiento.
	Verificar caudales.
	Monitorear niveles de los Skim Vessel (si aplica) y de las Wemco.
	Verificar el estado de los filtros.
	Poner o sacar de línea los trenes de tratamiento de acuerdo a la necesidad.
	Consultar con el personal de laboratorio la calidad del agua tratada.
	El operador de los paquetes 1, 2 y 4 junto al operador de los paquetes 3 y 5 deben coordinar ya que en caso de requerir apoyo extra en algún área del proceso, uno de ellos debe asumir la operación de los 5 paquetes y el otro dirigirse a apoyar otro punto.
	El operador de los paquetes 6, 7 y 8, estará con la disposición de apoyar al área de piscinas en caso de que este se vea en la necesidad de requerirlo.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área de Skim Tanks.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 14. Acciones para el área de Skim Tanks CPF-A.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Monitorear los niveles operativos de los Skim Tanks.
	Desnatar según lo permita el proceso, el crudo acumulado en los Skim Tanks, previa confirmación de niveles por parte de los supervisores y el tablerista.
	Monitorear disponibilidad de espacio (debe estar como mínimo en 20 KBLS)
	Monitorear el estado operativo de las bombas asociadas a cada Skim Tank.
	Monitorear el estado de transferencia de agua de producción al CPF-B desde los Skim Tank.
	Asegurar las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de los equipos del área de Skim Tank, según integridad operativa.
	Debe dirigirse a los puntos críticos definidos en el área y hacer un monitoreo continuo de las condiciones e informar al tablerista con una periodicidad no mayor a 15 minutos el estado operativo de sus equipos.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área de Batería-2** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 15. Acciones para el área de Batería-2 CPF-A.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Monitorear niveles totales e interfases de los Surge Tanks.
	Monitorear nivel total del tanque de cabeza.
	Monitorear estado operativo de las bombas de transferencia de agua a los Skim Tanks.
	Monitorear el estado operativo de las bombas de transferencia de crudo.
	Monitorear el estado operativo de los tratadores (niveles, presión, temperatura, caudales, amperaje, BS&W).
	Asegurar las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de los equipos del área de Batería-2, según integridad operativa.
	Debe dirigirse a los puntos críticos definidos en el área y hacer un monitoreo continuo de las condiciones e informar al tablerista con una periodicidad no mayor a 15 minutos el estado operativo de sus equipos.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área de procesos.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 16. Acciones para el área de procesos CPF-A.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Monitorear niveles totales e interfases de los FWKOs.
	Monitorear nivel total e interfase del tanque de cabeza.
	Monitorear el estado operativo de las bombas de transferencia de agua de los FWKOs hacia los Skim Tanks.
	Monitorear estado operativo de las bombas de transferencia de crudo.
	Monitorear el estado operativo de los tratadores (niveles, presión, temperatura, caudales, amperaje, BS&W).
	Asegurar las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de los equipos del área de procesos, según integridad operativa.
	Debe dirigirse a los puntos críticos definidos en el área y hacer un monitoreo continuo de las condiciones e informar al tablerista con una periodicidad no mayor a 15 minutos el estado operativo de sus equipos.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área de calderas.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 17. Acciones para el área de calderas CPF-A.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	<p>NOTA: De acuerdo a la Matriz de Respuesta a Emergencia, por una falla en el sistema de automatización y control no se deben efectuar acciones para asegurar la facilidad en esta área operativa. Se debe continuar con la operación de manera normal.</p> <p>No obstante en caso de requerir apoyo extra en algún área del proceso, el operador del área de calderas debe dirigirse al punto indicado según supervisor para prestar apoyo.</p>
	<p>Sin embargo dentro las acciones que puede efectuar se encuentran las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitorear el estado operativo de las calderas. • Monitorear la presión de los cabezales de las calderas. • Monitorear la disponibilidad de combustible para calderas y generadores.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área de tanques de almacenamiento.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 18. Acciones para el área de almacenamiento CPF-A.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Monitorear niveles en los tanques de almacenamiento.
	Monitorear temperatura de los tanques de almacenamiento.
	Confirmar la disponibilidad para entrega de crudo de los tanques de almacenamiento hacia el oleoducto y tracto camiones.
	Confirmar las calidades de recibo y despacho de los tanques de almacenamiento.
	En el área de bascula monitorear el cumplimiento de cargue de vehículos a diario.
	Monitorear la disponibilidad de crudo en especificaciones para entrega hacia ODL y la alineación del tanque hacia las bombas.
	Consultar con el operador SCADA eléctrico la disponibilidad para tomar la carga de los motores requeridos para el despacho a ODL.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas de las bombas de transferencia de crudo a ODL y cargadero.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 19. Acciones para las bombas ODL y cargadero CPF-A.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Asegure la presión de succión y de descarga óptima en las bombas de transferencia de crudo a ODL, según integridad operativa.
	Asegure las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de las bombas de transferencia hacia ODL, según integridad operativa.
	Asegure la presión de succión y descarga optima de en las bombas de transferencia a cargadero, según integridad operativa.
	Asegure las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de las bombas de transferencia a cargadero, según integridad operativa.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área de piscinas de retro lavado.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 20. Acciones para el área de retro lavado CPF-A.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Monitorear el nivel de las piscinas de retro lavado.
	Monitorear el estado operativo de los trenes de tratamiento de agua de producción.
	Monitorear la presión de descarga optima de las bombas de transferencia de agua, según integridad operativa.
	Verificar continuidad de proceso de transferencia de agua entre piscinas.
	Asegurar las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de los equipos del área de retro lavado, según integridad operativa.
	Verificar el arranque de los equipos después de la emergencia ya que en SCADA aparecen activos pero en campo se encuentran apagados.
	El operador de esta área debe estar disponible como apoyo a los puntos críticos de la operación, debe estar pendiente de las comunicaciones por Avantel y dirigirse hacia los puntos que requieran apoyo.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Análisis Funcional de Operatividad (HAZOP). En caso de presentarse falla en el sistema de automatización y control del CPF-A, es necesario que el tablerista tome las acciones necesarias para evitar una pérdida de visualización o una pérdida de visualización y control.

4.1.2.1 Pérdida de visualización. Esta pérdida puede llegar a originar disminución de caudal en la entrada de la facilidad, aumento de niveles en los tanques y piscinas; además de una reducción de espacio en los Skim Tanks.

Cuadro 21. Pérdida de visualización.

Nodo	Palabra Guía	Desviación Variable	Posible Causa	Consecuencia	Impacto	Salvaguardas
Sistema de automatización y control	Pérdida	Pérdida de visualización	<p>Fallas en los servidores</p> <p>Falla en la arquitectura del sistema SCADA</p> <p>Fallas en las pantallas de interacción HMI</p> <p>Falla en la lógica difusa y en el control PID</p>	<p>Apagado de pozos</p> <p>Disminución de la producción</p> <p>Menor caudal de entrada a la facilidad.</p> <p>Aumento de niveles en tanques y piscinas</p> <p>Reducción de espacio (Skim Tanks)</p> <p>Rebose de tanques y piscinas</p> <p>Afectación al proceso</p>	<p>P3CM</p> <p>E3CM</p> <p>A3CM</p> <p>C1DL</p> <p>R0DN</p>	<p>A. DGC.</p> <p>B. Plot – Plan.</p> <p>C. Diagramas de Tuberías e Instrumentación P&ID.</p> <p>D. Matriz de Respuesta a Emergencias (MRE).</p> <p>E. Guías de control y ventanas operativas.</p> <p>F. Interlocks y alarmas de seguridad.</p> <p>G. Manual de descripción de procesos de la unidad.</p> <p>H. Guías de entrenamiento.</p> <p>I. Instructivo Operacional para controlar Situaciones de Emergencia por Bloqueo o Congelamiento de Pantallas en el CPF-A</p> <p>J. Control estadístico con los datos adquiridos.</p> <p>K. Gestión administrativa y gestión de la producción con la data adquirida.</p> <p>L. Entregas y recibos de turnos.</p> <p>M. Rondas estructuradas.</p> <p>N. Análisis operacional.</p> <p>O. Cuidado Básico de Equipos (BEC)</p> <p>P. Diagrama de Flujo secuencial de Procedimientos de Paro y Arranque.</p> <p>Q. Válvulas de seguridad PSV.</p>

Cuadro 21. (Continuación)

Acciones Requeridas	Recomendaciones
<p>En caso de perder la visualización desde la sala de control</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informar a los operadores en campo por canal abierto la novedad presentada en sala de control. 2. Informar la novedad a los operadores de los PADs de inyección y verificar la normal operación. 3. Informar la novedad al tablerista del CPF-B, esto con el fin de verificar la transferencia de agua. 4. Informar a los supervisores la pérdida de visualización en el CCO principal para solicitar el apoyo con personal de soporte técnico. 5. Solicitar a los operadores la verificación de la visual. 6. Verificar cualquier cambio o alteración de las pantallas debido a que por la arquitectura del sistema se identifica el punto a intervenir. 7. Trasladarse a Batería-2 y autenticarse como usuario Senior para poder modificar el sistema SCADA. 8. Cuando se haya solucionado la falla, autenticarse con el perfil de operador en la pantalla de Batería-2 (como se encontraba antes de la emergencia) 9. Confirmar niveles de los Skim Tanks para calcular el espacio libre. 10. Verificar que los servidores se encuentren disponibles y en condiciones de operación. 11. Es importante mantener una buena comunicación con todas y cada una de las áreas de la estación con el fin de coordinar los ajustes para no alterar la dinámica del proceso. <p>En caso de pérdida de Data Rubiales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los operadores de: procesos, Batería-2, Skim Tanks y Skimmer deben dirigirse a los puntos críticos definidos del área respectivamente, y hacer un monitoreo continuo de condiciones e informar al tablerista con una periodicidad no mayor a 15 minutos el estado operativo de sus equipos: Niveles en tanques, operación de las bombas y demás equipos relevantes. • Los operadores de las áreas (Almacenamiento, transferencia y báscula), deben estar disponibles como apoyo a los puntos críticos de la operación, estos deben de estar al pendiente de las comunicaciones por Avantel y dirigirse hacia los puntos que requieran apoyo. • PTA 1-2-4, PTA 3-5: En caso de requerir apoyo extra en algún área del proceso, uno de ellos debe asumir la operación de los 5 paquetes y el otro dirigirse a apoyar otro punto. • PTA 6-7-8: El operador de este punto, estará con la disposición de apoyar al área de piscinas en caso de que este se vea en la necesidad de requerirlo. 	

Fuente: ECOPETROL S.A. Instructivo operacional para controlar situaciones de Emergencia por Bloqueo o Congelamiento de Pantallas en el CPF-A. Departamento de Producción Oriente. Campo Rubiales, 2018. Modificado por los autores, 2019.

4.1.2.2 Pérdida de visualización y control. Esta pérdida es de gran importancia ya que puede llegar a originar apagado de pozos, disminución de la producción, entre otras afectaciones que perjudican la dinámica y control de la operación por pérdida de visualización y control en el SCADA.

Cuadro 22. Pérdida de visualización y control.

Nodo	Palabra Guía	Desviación Variable	Posible Causa	Consecuencia	Impacto	Salvaguardas
Sistema de automatización y control	Pérdida	Pérdida de visualización	<p>Fallas en los servidores</p> <p>Falla en la arquitectura del sistema SCADA</p> <p>Fallas en las pantallas de interacción HMI</p> <p>Falla en la lógica difusa y en el control PID</p>	<p>Apagado de pozos</p> <p>Disminución de la producción</p> <p>Menor caudal de entrada a la facilidad.</p> <p>Aumento de niveles en tanques y piscinas</p> <p>Reducción de espacio (Skim Tanks)</p> <p>Rebose de tanques y piscinas</p> <p>Afectación al proceso</p>	<p>P3CM</p> <p>E3CM</p> <p>A3CM</p> <p>C1DL</p> <p>R0DN</p>	<p>A. DGC y Plot – Plan.</p> <p>B. Diagramas de Tuberías e Instrumentación P&ID.</p> <p>C. Matriz de Respuesta a Emergencias (MRE).</p> <p>D. Guías de control y ventanas operativas.</p> <p>E. Interlocks y alarmas de seguridad.</p> <p>F. Manual de descripción de procesos de la unidad.</p> <p>G. Guías de entrenamiento.</p> <p>H. Instructivo Operacional para controlar Situaciones de Emergencia por Bloqueo o Congelamiento de Pantallas en el CPF-A.</p> <p>I. Control estadístico con los datos adquiridos.</p> <p>J. Gestión administrativa y gestión de la producción con la data adquirida.</p> <p>K. Entregas y recibos de turnos.</p> <p>L. Rondas estructuradas.</p> <p>M. Análisis operacional.</p> <p>N. Cuidado Básico de Equipos (BEC)</p> <p>O. Diagrama de Flujo secuencial de Procedimientos de Paro y Arranque.</p>

Cuadro 22. (Continuación)

Acciones Requeridas	Recomendaciones
<p>En caso de presentarse una Pérdida de Visualización del SCADA en el CPF-A, existe la posibilidad de continuar con el desarrollo de la operación desde el servidor de Arrayanes y el servidor de Batería 2. El Operador de cada área debe hacer en Campo un monitoreo continuo de las condiciones e informar al Técnico Tablerista de acuerdo al escenario actual del proceso y bajo necesidad del mismo, el estado operativo de sus equipos: Niveles en tanques, operación de las bombas y demás equipos relevantes.</p> <ol style="list-style-type: none">1. Se procede a dar aviso a todos los operadores de las diferentes áreas del CPF-A por canal abierto la pérdida de control en el SCADA del CCO Principal.2. Informar a los Supervisores de Facilidades la pérdida de control del SCADA en el CCO principal para solicitar el apoyo con personal de soporte técnico.3. Informar la novedad y verificar con los operadores de los PADs de inyección el estado de la operación.4. Verificar con el operador de inyección la transferencia desde las piscinas A y B al PAD 2 y de la piscina B al PAD 5 (presión de succión y caudal de inyección).5. Informar la novedad a ODL y verificar la transferencia de crudo.6. Informar la novedad y verificar estado de operatividad de los pozos asociados a troncales direccionadas a la facilidad comunicándose con el operador de pozos.7. Informar la novedad al Senior del CPF-B para coordinar y verificar los siguientes ítems:<ul style="list-style-type: none">• Estado de la transferencia de agua por medio de la piscina.• Estado de la transferencia de agua por los Skim Tanks.• Estado actual de transferencia a ODL.8. Realice un barrido área por área de las condiciones operativas y estado actual de los equipos, tanto en el sistema crudo como en el sistema agua, teniendo en cuenta los datos actuales de la operación.9. Verificar con el Operador de Almacenamiento confirmación de que las válvulas de los tanques hayan quedado abiertas al momento de la falla, es decir, que estén alineadas hacia la transferencia a ODL.10. Informar sobre el estado actual operativo de la facilidad a los supervisores de producción.11. Coordinar la actuación inmediata al estado actual de la falla.12. Estar monitoreando por periodos de cada 15 minutos datos puntuales de la estación, hasta que se haya normalizado la falla del SCADA. En caso de no haber solución, informar al Ingeniero de Facilidades si sería pertinente apagar pozos, todo esto con el fin de recibir menos caudal en la planta.	

Fuente: ECOPEPETROL S.A. Instructivo operacional para controlar situaciones de Emergencia por Bloqueo o Congelamiento de Pantallas en el CPF-A. Departamento de Producción Oriente. Campo Rubiales, 2018. Modificado por los autores, 2019.

4.1.3 Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF). Para este caso, la empresa contratista aliada de Ecopetrol S.A, es la encargada de solucionar la contingencia desde el punto de visto técnico. No obstante, el tablerista desde el Centro de Control de Operaciones debe garantizar que la operación continúe de manera normal, mediante un monitoreo de los equipos y sistemas relacionados. A partir de lo anterior, para el caso en mención, el Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF) se modifica por las acciones de monitoreo en el área de operación.

Cuadro 23. Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF) en el sistema de automatización y control CPF-A.

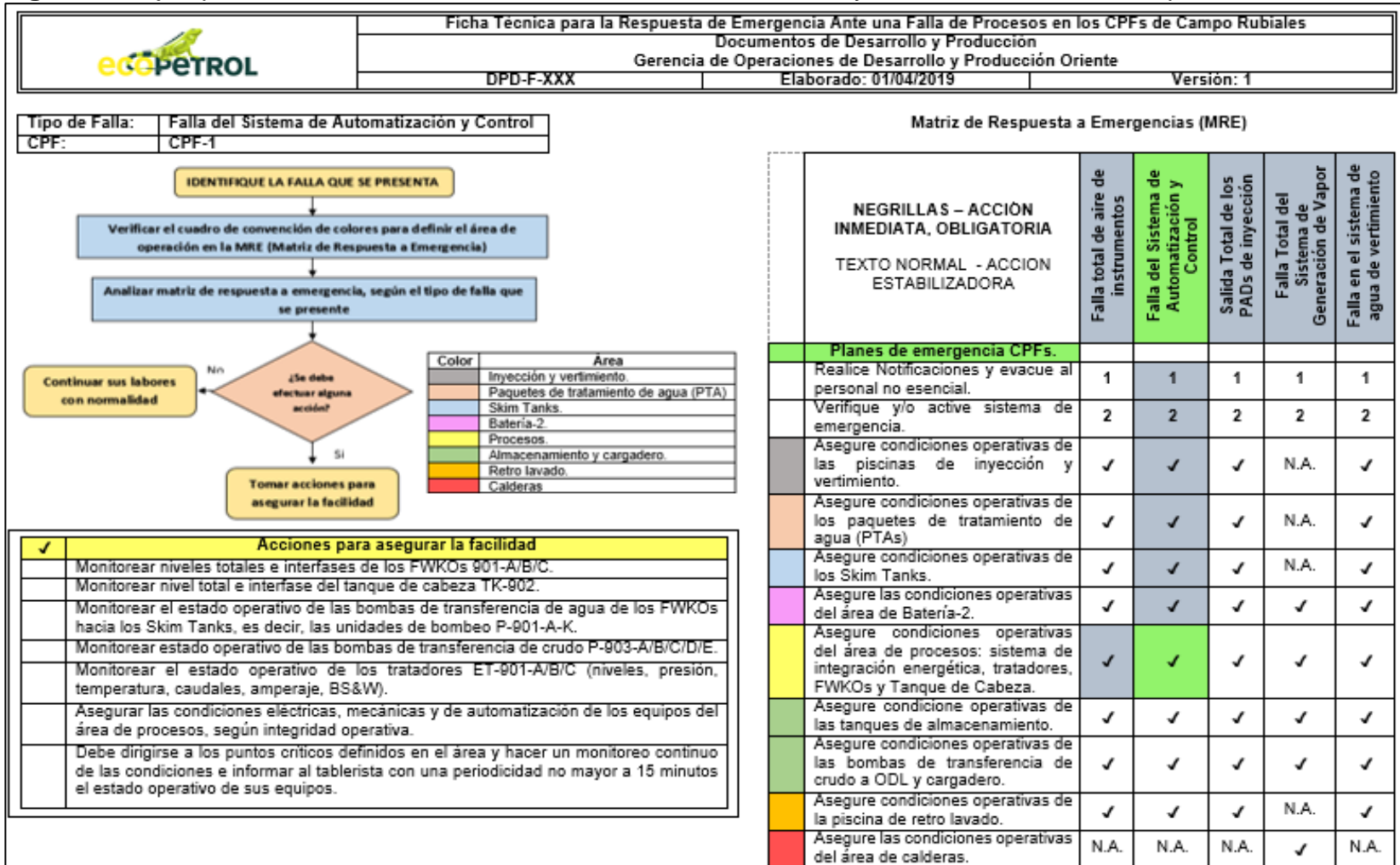
ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF)	
ÁREA	ACCIÓN
Procesos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear niveles totales e interfaces de los FWKOs. 2. Monitorear nivel total e interface del tanque de cabeza. 3. Monitorear estado operativo de las bombas de transferencia de agua de los FWKOs hacia los Skim Tanks, es decir, las unidades de bombeo. 4. Monitorear estado operativo de las bombas de transferencia de crudo. 5. Monitorear el estado operativo de los tratadores (niveles, presión, temperatura, caudales y BS&W).
Batería -2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear niveles totales e interfaces de los Surge Tanks. 2. Monitorear nivel del tanque de cabeza. 3. Monitorear estado operativo de las bombas de transferencia de agua a los Skim Tanks, es decir, las unidades de bombeo. 4. Monitorear estado operativo de las bombas de transferencia de crudo.
Almacenamiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear niveles en los tanques de almacenamiento. 2. Monitorear temperatura de los tanques de almacenamiento. 3. Confirmar con el operador la disponibilidad para entrega de crudo de los tanques de almacenamiento hacia el oleoducto y tracto camiones. 4. Confirmar con el operador las calidades de recibo y despacho de los tanques de almacenamiento. 5. Realizar reporte de producción CPF-A. 6. Llevar el control de recibo de producción (cada 3 horas) en los tanques de almacenamiento.
Calderas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear el estado operativo de las calderas. 2. Monitorear la presión de los cabezales de las calderas.

Cuadro 23. (Continuación)

ÁREA	ACCIÓN
Transferencia combustible y tratadores	<ol style="list-style-type: none"> 1. En el área de bascula monitorear con el operador el cumplimiento de cargue de vehículos a diario. 2. Consultar con el profesional de planta la programación para entregas del día hacia ODL. 3. Transferencia-despachar crudo con especificaciones hacia ODL. 4. Monitorear con almacenamiento la disponibilidad de crudo en especificaciones para entregar hacia ODL y la alineación del tanque hacia las bombas. 5. Consultar con el operador de SCADA eléctrico la disponibilidad para tomar la carga de los motores requeridos para el despacho a ODL. 6. Consultar con el operador de ODL la disponibilidad para recibo de crudo desde el CPF-A. 7. Monitorear con el operador la alineación de las unidades de bombeo para dar inicio de a la transferencia.
Combustible	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear con el operador la disponibilidad de combustible para calderas y generadores.
Tratadores	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear el estado operativo de los tratadores (niveles, presión, temperatura, caudales y BS&W).
Skim Tank	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear los niveles operativos de los Skim Tanks. 2. Desnatar según lo permita el proceso de crudo acumulado en los Skim Tanks, previa confirmación de niveles por parte del operador de campo. 3. Monitorear disponibilidad de espacio (debe estar como mínimo 20 KBBLs). 4. Monitorear el estado operativo de las bombas asociadas a cada Skim Tank. 5. Monitorear el estado de transferencia de agua de producción al CPF-B desde los Skim Tank.
Skimmer	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear los niveles operativos de los Skimmer. 2. Monitorear el estado operativo de las celdas de flotación 40 y 60K.
Paquetes de Tratamiento de Agua	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear el nivel de las piscinas. 2. Monitorear el estado operativo de los trenes de tratamiento y verificar caudales. 3. Monitorear niveles de los Skim Vessel (si aplica) y de las Wemco. Además, verificar el estado de los filtros. 4. Poner o sacar de línea los trenes de tratamiento de acuerdo a la necesidad. 5. Consultar con el operador del área y con el personal del laboratorio la calidad del agua tratada.
Vertimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear el estado de las torres de enfriamiento. 2. Verificar el estado operativo de las bombas de transferencia hacia vertimiento. 3. Verificar caudal de entrada y nivel de la piscina. 4. Verificar el estado operativo de las bombas del sistema de aspersión.
Inyección	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear el estado de las bombas de transferencia y verificar la frecuencia en los PADs de inyección. 2. Monitorear caudal de entrada.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Ejemplo cara A. Ficha Técnica Sistema de Automatización y Control CPF-A, área de procesos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Ejemplo cara B. Ficha Técnica Sistema de Automatización y Control CPF-A, área de procesos.

<p>ACCIONES INMEDIATAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verifique energización de los servidores. • Verifique energización de los tableros de control. • Verifique el estado de comunicación campo-SCADA (profesional de AIC).
<p>Pérdida de visualización Acciones Requeridas</p>
<p>En caso de perder la visualización desde la sala de control</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informar a cada uno de los operadores en campo por canal abierto acerca de la novedad presentada en sala de control. 2. Informar la novedad a los operadores de los PADs de inyección y verificar la normal operación. 3. Informar la novedad al tablerista del CPF-2, esto con el fin de verificar la transferencia de agua hacia esa estación. 4. Informar a los supervisores la pérdida de visualización en el CCO principal para solicitar el apoyo con personal de soporte técnico. 5. Solicitar a los operadores la verificación de la visual. 6. Verificar cualquier cambio o alteración de las pantallas debido a que por la arquitectura del sistema se identifica el punto a intervenir. 7. Trasládarse a Batería-2 y autenticarse como usuario Senior para poder modificar el sistema por SCADA. 8. Cuando se haya solucionado la falla, autenticarse con el perfil de operador en la pantalla de Batería-2 (como se encontraba antes de la emergencia) 9. Confirmar niveles de los Skim Tanks para calcular el espacio libre. 10. Verificar que los servidores se encuentren disponibles y en condiciones de operación. 11. Es importante mantener una buena comunicación con todas y cada una de las áreas de la estación con el fin de coordinar los ajustes para no alterar la dinámica del proceso. <p>En caso de pérdida de Data Rubiales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los operadores de: procesos, Batería-2, Skim Tanks y Skimmer deben dirigirse a los puntos críticos definidos del área respectivamente, y hacer un monitoreo continuo de condiciones e informar al tablerista con una periodicidad no mayor a 15 minutos el estado operativo de sus equipos: Niveles en tanques, operación de las bombas y demás equipos relevantes. • Los operadores de las áreas (Almacenamiento, transferencia y báscula), deben estar disponibles como apoyo a los puntos críticos de la operación, estos deben de estar al pendiente de las comunicaciones por Avantel y dirigirse hacia los puntos que requieran apoyo. • PTA 1-2-4, PTA 3-5: En caso de requerir apoyo extra en algún área del proceso, uno de ellos debe asumir la operación de los 5 paquetes y el otro dirigirse a apoyar otro punto. • PTA 6-7-8: El operador de este punto, estará con la disposición de apoyar al área de piscinas en caso de que este se vea en la necesidad de requerirlo.
<p>Pérdida de visualización y control Acciones Requeridas</p>
<p>En caso de presentarse una Pérdida de Visualización y Control del SCADA en el CPF-1, existe la posibilidad de continuar con el desarrollo de la operación desde el servidor de Arrayanes y desde el servidor de Batería-2.</p> <p>El Operador de cada área debe hacer en Campo un monitoreo continuo de las condiciones e informar al Técnico Tablerista de acuerdo al escenario actual del proceso y bajo necesidad del mismo el estado operativo de sus equipos: Niveles en tanques, operación de las bombas y demás equipos relevantes.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se procede a dar aviso a todos los operadores de las diferentes áreas del CPF-1 por canal abierto la pérdida de control en el SCADA del CCO Principal. 2. Informar a los Supervisores de Facilidades la pérdida de control del SCADA en el CCO principal para solicitar el apoyo con personal de soporte técnico. 3. Informar la novedad y verificar con los operadores de los PADs de inyección el estado de la operación. 4. Verificar con el operador de inyección la transferencia desde las piscinas 822 y 824 al PAD 2 y de la piscina 824 al PAD 5 (presión de succión y caudal de inyección). 5. Informar la novedad a ODL y verificar la transferencia de crudo. 6. Informar la novedad y verificar estado de operatividad de los pozos asociados a troncales direccionadas a la facilidad comunicándose con el operador de pozos. 7. Informar la novedad al Senior del CPF-2 para coordinar y verificar los siguientes ítems: estado de la transferencia de agua por medio de la piscina 890, estado de la transferencia de agua por los Skim Tanks 906 y estado actual de transferencia a ODL. 8. Realice un barrido área por área de las condiciones operativas y estado actual de los equipos, tanto en el sistema crudo como en el sistema agua, teniendo en cuenta los datos actuales de la operación. 9. Verificar con el operador de almacenamiento confirmación de que las válvulas de los tanques hayan quedado abiertas al momento de la falla, es decir, que estén alineadas hacia transferencia a ODL. 10. Informar sobre el estado actual operativo de la facilidad a los supervisores de producción. 11. Coordinar la actuación inmediata al estado actual de la falla. 12. Estar monitoreando durante la falla por periodos de cada 15 minutos datos puntuales de la estación, hasta que se haya normalizado la falla del SCADA. En caso de no haber pronta solución, informar junto con los Supervisores al Ingeniero de Facilidades si sería pertinente apagar pozos, todo esto con el fin de recibir menos caudal en la planta.

Fuente: Elaboración propia.

Las Figuras 32 y 33, muestran un ejemplo de Ficha Técnica por la Falla del Sistema de Automatización y Control del CPF-A, para el área de procesos específicamente. En la **Figura 32**, se observa que la cara A de la ficha, está compuesta por el flujograma, el cuadro de relación de colores, la Matriz de Respuesta a Emergencia (MRE) y las acciones para asegurar la facilidad del área en mención. Cabe destacar que estas fichas cuentan con un código de calidad interna en el encabezado, lo que indica que ya fueron implementadas en Ecopetrol S.A. Por su parte, en la **Figura 33** (cara B de la ficha técnica), se destaca la presencia de las acciones inmediatas a ejecutar y el Análisis Funcional de Operatividad (HAZOP).

Con base en lo anterior, se evidencia como se relacionan las herramientas establecidas para el diseño del modelo propuesto. Las fichas técnicas desarrolladas garantizan de una forma sencilla, concisa y de fácil entendimiento; la forma de actuar ante los escenarios de contingencia establecidos en la...**Sección 2.5...** del presente documento.

4.2 PROCEDIMIENTO DE FALLA POR SALIDA DE PADS DE INYECCIÓN CPF-B

Esta falla repercute económicamente en la producción del campo, debido a que al no haber disponibilidad de espacio se debe restringir la entrada de fluidos a la facilidad. Esto quiere decir, que se deben cerrar pozos lo cual conlleva a menor producción diaria, esto se ve reflejado en ingresos.

4.2.1 Flujograma. Es esta sección se realizaran los mismos pasos del flujograma presentado para el CPF-A (Remitirse a...**Sección 4.1.1...** y **Figura 31**).

4.2.1.1 Verificar el cuadro de convención de colores. En este cuadro se encuentran las diferentes áreas identificadas por un color en particular.

Cuadro 24. Relación de colores CPF-B.

Color	Área
	Inyección y vertimiento.
	Paquetes de tratamiento de agua de producción (PTA)
	Ampliación
	Skim Tanks.
	FWKOs
	Integración térmica
	Tanque de cabeza
	Almacenamiento.
	Retro lavado y tanques de lodos

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.2 Analizar Matriz de Respuesta a Emergencia. A diferencia del CPF-A, el CPF-B no cuenta con la falla en el sistema de agua de vertimiento, debido a las razones mencionadas anteriormente.

Cuadro 25. Matriz de Respuesta a Emergencias, CPF-B.

NEGRILLAS – ACCIÓN INMEDIATA, OBLIGATORIA		Falla total de aire de instrumentos	Falla del Sistema de Control y Automatización	Salida Total de los PADS de inyección	Falla Total del Sistema de Generación de Vapor
TEXTO NORMAL - ACCIÓN ESTABILIZADORA					
Planes de emergencia CPFs.					
	Realice Notificaciones y evacue al personal no esencial.	1	1	1	1
	Verifique y/o active sistema de emergencia.	2	2	2	2
	Asegure condiciones operativas de las piscinas de inyección.	4	4	3	N.A.
	Asegure condiciones operativas de los paquetes de tratamiento de agua (PTAs)	3	3	4	N.A.
	Asegure condiciones operativas de las piscinas de ampliación.	5	5	5	N.A.
	Asegure condiciones operativas de los Skim Tanks.	6	6	6	N.A.
	Asegure condiciones operativas de los tanques FWKO.	7	7	8	6
	Asegure condiciones operativas del sistema de integración energética y tratadores electrostáticos.	8	8	9	3
	Asegure condiciones operativas de las bombas de transferencia de crudo a ODL.	10	10	N.A.	N.A.
	Asegure condiciones operativas de los tanques de cabeza y tanque de relevo	9	9	10	4
	Asegure condiciones operativas de los tanques de almacenamiento.	N.A.	11	11	N.A.
	Asegure condiciones operativas de la piscina de retro lavado y tanques de lodos.	11	12	7	5

Fuente: ECOPETROL S.A. Producción Facilidad Central de Procesamiento 01 de Campo Rubiales. Matriz de Respuesta a Emergencia en Operación. Campo Rubiales, 2017. La tabla fue modificada por los autores para el desarrollo del diseño de prácticas y procedimientos de contingencia, 2019.

4.2.1.3 Tomar acciones para asegurar la facilidad. A continuación se presentan cada una de las acciones para asegurar la facilidad dependiendo del área de operación.

- **Acciones operativas área piscinas de inyección.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 26. Acciones para el área de inyección CPF-B.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Asegure el corte de fluido de agua de producción proveniente de la piscina del CPF-A.
	Asegure el nivel óptimo de las piscinas de inyección, según integridad operativa.
	Asegure presión de descarga óptima de las bombas de transferencia de agua asociadas a la piscina de inyección, según ventana operativa.
	Asegure las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de los equipos del área de inyección, según integridad operativa.
	Verificar aire de instrumentación.
	Verificar estado baterías UPS y CCMs, así como el cuarto remoto de inyección.
	Cuando se presenta este tipo de contingencia las bombas de transferencia de agua son los equipos más afectados debido a que puedan presentar complicaciones eléctricas en el momento de restablecimiento. Por tal motivo, es necesario coordinar con personal de mantenimiento o de respaldo el apoyo para la supervisión eléctrica de las unidades de bombeo.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área de Paquetes de Tratamiento de Agua (PTAs).** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 27. Acciones para el área de paquetes de tratamiento de agua de producción (PTA) CPF-B.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Asegure nivel óptimo de la celda de flotación, según integridad operativa.
	Asegure presión óptima de las bombas de transferencia celdas a filtros y de las unidades de filtración, según integridad operativa.
	Asegure las condiciones eléctricas, mecánicas, y de automatización de los equipos del área de PTAs, según integridad operativa.
	Asegure corte de suministro de químico en coordinación con personal de laboratorio.
	Verificar que el sistema de aire comprimido esté operando correctamente.
	Verificar que las válvulas Fisher de ingreso a las celdas de flotación operen correctamente.
	Verificar que las válvulas manuales en la entrada de las celdas no tengan paso.
	Verificar lazos de control de los equipos en los satélites crudo y agua.
	En caso de que sea necesario apagar pozos, coordinar con el tablerista el cierre del tren de tratamiento teniendo en cuenta los niveles y tiempos de llenado.
	NOTA: Como opción, se puede enviar el tren de tratamiento de agua a retro lavado, esta opción es posible con la autorización del tablerista y de los supervisores.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área de piscinas de ampliación.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 28. Acciones para las piscinas de ampliación CPF-B.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Asegure continuidad de proceso de transferencia de agua entre las piscinas.
	Asegure continuidad de proceso de transferencia de lodos entre el sumidero de la piscina y el sistema de tratamiento de lodos.
	Asegure nivel óptimo del sumidero y de la piscina de ampliación de las piscinas, según integridad operativa.
	Asegure nivel óptimo de la celda de flotación, según integridad operativa.
	Asegure presión óptima de las bombas de transferencia celdas a filtros y de las unidades de filtración, según integridad operativa.
	Verificar que el sistema de aire comprimido esté operando correctamente.
	Verificar que las válvulas Fisher de ingreso a las celdas de flotación operen correctamente.
	Verificar que las válvulas manuales en la entrada de las celdas no tengan paso.
	En caso de que sea necesario apagar pozos, coordinar con el tablerista el cierre del tren de tratamiento teniendo en cuenta los niveles y tiempos de llenado.
	NOTA: Como opción, se puede enviar el tren de tratamiento de agua a retro lavado, esta opción es posible con la autorización del tablerista y de los supervisores.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área Skim Tanks.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 29. Acciones para el área de Skim Tanks CPF-B.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Verifique el estado de las bombas de transferencia de agua hacia los paquetes de tratamiento de agua (PTAs).
	Asegure nivel óptimo de los Skim Tanks, según integridad operativa.
	Cierre las válvulas de entrada de agua hacia los tanques Skim.
	Asegure nivel óptimo de los tanques recuperadores de natas asociados a los tanques Skim, según integridad operativa.
	Asegure las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de los equipos del área de los tanques Skim, según integridad operativa.
	Verificar aire de instrumentación.
	Verificar la correcta operación de las válvulas Fisher, debido a que al presentarse alto nivel en los Skim Tanks la válvula actuara cerrándose reduciendo la entrada de agua a los tanques.
	Recuperar el mayor volumen de natas posibles verificando que las bombas de crudo operen según integridad operativa y transfieran el fluido hacia el manifold. De esa manera se mitiga un posible derrame de hidrocarburos por el rebose del tanque.
	Asegure corte de suministro químico.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área de tanques FWKOs.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 30. Acciones para el área de tanques FWKO CPF-B.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Asegure el nivel óptimo de los tanques FWKO, según integridad operativa.
	Asegure la presión de entrada al serpentín (crudo, vapor y agua), según integridad operativa.
	Verificar que las bombas asociadas a los FWKOs no se apaguen.
	En caso de que se haya apagado una bomba se debe efectuar la alineación del fluido del FWKO al que se le haya apagado la bomba.
	Garantizar una buena distribución de fluidos en los FWKOs.
	Asegure las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de los equipos del área de los tanques FWKO, según integridad operativa.
	Asegure el sistema de contra incendios y balanceo de espuma, presión de las líneas, estatus de las bombas y alineación de distribución. En caso de que la falla sea por energía eléctrica, verifique el estado del sistema de las bombas diésel de respaldo.
	Asegure corte de suministro de químico en coordinación con personal de laboratorio.
	Asegure la alineación del sistema de drenaje del dique hacia el separador.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área sistema de integración energética y tratadores electrostáticos.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 31. Acciones para el área de integración térmica CPF-B.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	NOTA: En primaria instancia esta área no se ve afectada debido a que esta contingencia impacta en mayor medida a las áreas de inyección, paquetes de tratamiento de agua y Skim Tanks, es decir, se debe continuar con la operación de manera normal. No obstante si el tiempo de restablecimiento de ingreso de PADs es muy alto, esta área ya se vería perjudicada por lo que se deben tomar las siguientes acciones:
	Verifique el estado de las bombas de transferencia de agua hacia los Skim Tanks.
	Asegure niveles, presión, amperaje, voltaje y temperatura óptima de los tratadores electrostáticos, según integridad operativa.
	Asegure el correcto funcionamiento del transformador verificando el mínimo voltaje de arranque y que el amperaje se encuentre dentro de las ventanas operativas.
	Asegure las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de los equipos del área de tratadores, según integridad operativa.
	Asegure el sistema contra incendios, presión de las líneas, estatus de las bombas y alineación de distribución.
	Asegure la alineación de las válvulas de seguridad PSV y TSV asociadas al sistema de integración energética (intercambiadores crudo-crudo y crudo-vapor) y tratadores electrostáticos.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área de tanques de cabeza y tanque de relevo.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 32. Acciones para el área de tanque de cabeza CPF-B.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	NOTA: En primaria instancia esta área no se ve afectada debido a que esta contingencia impacta en mayor medida a las áreas de inyección, paquetes de tratamiento de agua y Skim Tanks, es decir, se debe continuar con la operación de manera normal. No obstante si el tiempo de restablecimiento de ingreso de PADs es muy alto, esta área ya se vería perjudicada por lo que se deben tomar las siguientes acciones:
	Asegure niveles óptimos de los tanques de cabeza y tanque de relevo, según integridad operativa.
	Verifique el estado de las bombas de transferencia de crudo del tanque de cabeza hacia los tratadores electrostáticos.
	Verifique el estado de las bombas de transferencia de agua del tanque de cabeza hacia los Skim Tanks.
	Asegure las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de los equipos del área, según integridad operativa.
	Si se requiere apoyo extra en algún área del proceso, el operador del área debe dirigirse al punto indicado según supervisor para prestar apoyo.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área de tanques de almacenamiento.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 33. Acciones para el área de almacenamiento CPF-B.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	NOTA: En primaria instancia esta área no se ve afectada debido a que esta contingencia impacta en mayor medida a las áreas de inyección, paquetes de tratamiento de agua y Skim Tanks, es decir, se debe continuar con la operación de manera normal. No obstante si el tiempo de restablecimiento de ingreso de PADs es muy alto y se requiere apoyo extra en algún área del proceso, el operador del área de almacenamiento debe dirigirse al punto indicado según supervisor para prestar apoyo. Sin embargo, primero debe asegurar las siguientes condiciones.
	Asegure temperaturas y niveles óptimos de los tanques de almacenamiento, según integridad operativa.
	Asegure las condiciones eléctricas, de integridad y de automatización del área de los tanques de almacenamiento.
	Verificar en caso de transciente que las válvulas estén energizadas.
	Verificar el suministro de aire de instrumentación.
	Verificar que las válvulas MOV estén funcionando correctamente.
	Asegurarse que la transferencia de crudo a ODL se desarrolle correctamente.

Fuente: Elaboración propia.

- **Acciones operativas área piscina de retro lavado y tanques de lodo.** A continuación, se describen las acciones a realizar en el área respectiva.

Cuadro 34. Acciones para el área de retro lavado CPF-B.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Asegure nivel óptimo del sumidero y piscina retro lavado, según integridad operativa.
	Asegure continuidad del proceso de transferencia de lodos entre el sumidero de la piscina y el sistema de tratamiento de lodos.
	Asegure las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de los equipos del área de retro lavado, según integridad operativa.
	El proceso de transferencia de agua entre piscinas se va a ver interrumpido debido a que algunas bombas se van a apagar desde el CCO, en campo se debe asegurar que las bombas apaguen. Una vez se restablezca el proceso el operador de retro lavado debe mantener comunicación constante con el tablerista y el operador del área de inyección para asegurar la correcta transferencia y que las bombas se encuentren activas en campo.
	Debido a que se puede contemplar enviar unos trenes de tratamiento de agua a retro lavado, el operador de esta área debe mantener comunicación con los operadores de los PTAs acerca del número de trenes a ingresar debido a que se debe contemplar la capacidad máxima de la piscina.
	Verificar con el operador del área de ampliación el estado de las piscinas debido a que si es necesario se puede efectuar una alineación de válvulas en campo para transferir fluido a la piscina de retro lavado, se debe tener en cuenta el volumen a transferir para no rebosar la misma.
	En caso de ser necesario realizar recirculación de fluido al tren de tratamiento dos.
	Verificar estado baterías UPS y CCMs. Además garantizar suministro de aire de instrumentación.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Análisis Funcional de Operatividad (HAZOP). En caso de presentarse falla por salida de PADs de inyección, es necesario que el tablerista verifique tiempos y niveles de llenado, tome la decisión de efectuar un deslastre inmediato de carga para apagado de pozos y por ultimo efectuar la normalización del sistema.

4.2.2.1 Verifique niveles y tiempos de llenado. La verificación de los niveles y tiempo de llenado, ayuda a prevenir el aumento de niveles en tanques, posibles rupturas de líneas y fallas en válvulas controladoras; además del apagado de PADs.

Cuadro 35. Estimación de niveles y tiempos de maniobrabilidad.

Nodo	Palabra Guía	Desviación Variable	Posible Causa	Consecuencia	Impacto	Salvaguardas
Tratamiento de agua de producción	Aumento	Aumento de niveles en los tanques y en las piscinas de la facilidad	Salida no programada y prolongada del sistema de disposición de agua hacia los PADs de inyección.	Derrame de hidrocarburos Pérdida de Producción Aumento de niveles en tanques Afectación al proceso	P4CM A3CM E4CM C2DM R1DL	A. Guías de control y ventanas operativas. B. Instructivo operacional para tanques FWKO. C. Instructivo operacional para el Tanque de Desnate. D. Instructivo operacional para la puesta en servicio Sistema Piscina Inyección. E. Instructivo operacional para la puesta en servicio Sistema Piscina Inyección. F. Instructivo operacional para selección de apagado de pozos en Campo Rubiales. G. Monitoreo por medidores tipo sonda y lazos de control cerrados para mantener los valores de interface. H. Alarmas por alto-alto nivel, alto nivel, bajo nivel y bajo-bajo nivel de fluido con sus respectivos switches. I. Transmisores de temperatura. J. Válvulas de presión y vacío. K. En caso de incendio los FWKOs cuentan con una cámara de espuma que se activa para sofocar fuegos. L. DGC – Plot Plan. M. P&ID de los equipos relacionados. N. Guías de entrenamiento. O. Matriz de Respuesta a Emergencias.
	Menor	Menor tiempo de maniobrabilidad	Fallas en equipos críticos de proceso	Ruptura de líneas y válvulas controladoras Riesgo psicosocial Oscilación de lazo de control Apagado de PADs		

Cuadro 35. (Continuación)

Acciones Requeridas	Recomendaciones
<ol style="list-style-type: none">1. Verificar la capacidad de recibo en facilidades de producción al momento de presentarse la falla en alguno de los PADs y/o equipos críticos de proceso en los CPFs.2. Estimar el tiempo máximo de recibo de fluidos para tener un llenado del 90% de los Tanques FWKO y de los Skim Tanks.<ul style="list-style-type: none">• Tanques FWKO• Tanques de desnate o Skim Tanks.3. Informar a los encargados de cada área cuanto fluido ingresará a la facilidad y que volumen se estará disponiendo para realizar el balance de entrada vs salida, para así mismo definir el volumen a optimizar requerido.4. Redistribuir fluidos entre los dos CPFs, hasta alcanzar el 90% de llenado de las facilidades.5. Si el evento presentado es por falla en las bombas de transferencia de FWKO a Skim Tank o bombas de Skim Tank a trenes de tratamiento o por falla prolongada en los trenes de tratamiento de agua en cualquiera de los dos CPFs, realizar monitoreo de los niveles de los tanques de proceso y dar alerta cuando llegue a los valores límites establecidos por guías de control.6. Verificar la causa de salida del PAD, vertimiento y/o equipos críticos de proceso en las facilidades de producción y estimar el tiempo de restablecimiento.	

Fuente: ECOPETROL S.A. Instructivo Operacional para la Toma de Decisiones durante Emergencias por Fallas en los PADs, Vertimiento y/o Equipos Críticos de Proceso en Facilidades de Producción CPF-A y CPF-B. Departamento de Producción Oriente. Campo Rubiales, 2018.

4.2.2.2 Deslastre inmediato de carga para apagado de pozos. Se requiere realizar deslastre inmediato cuando se prolonga el tiempo de restablecimiento de los PADs de inyección, para evitar derrames de hidrocarburos, pérdidas de producción y afectación en el proceso.

Cuadro 36. Deslastre inmediato de carga para apagado de pozos.

Nodo	Palabra Guía	Desviación Variable	Posible Causa	Consecuencia	Impacto	Salvaguardas
Tratamiento agua de producción	Prolongar	Se requiere realizar deslastre de cargas cuando se prolonga el tiempo de restablecimiento de los PADs	Salida no programada y prolongada del sistema de disposición de agua hacia los PADs de inyección. Fallas en equipos críticos del proceso.	Derrame de hidrocarburos Pérdida de Producción Aumento de niveles en tanques Deslastre de circuitos Apagado de pozos Afectación al proceso Ruptura de líneas y válvulas controladoras Oscilación de lazos de control	P4CM A3CM E4CM C2DM R1DL	<p>A. Guías de control y ventanas operativas.</p> <p>B. Instructivo operacional para tanques FWKO.</p> <p>C. Instructivo operacional para el Tanque de Desnate.</p> <p>D. Instructivo operacional para la puesta en servicio Sistema Piscina Inyección.</p> <p>E. Instructivo operacional para la puesta en servicio Sistema Piscina Inyección.</p> <p>F. Instructivo operacional para selección de apagado de pozos en Campo Rubiales.</p> <p>G. Monitoreo por medidores tipo sonda y lazos de control cerrados para mantener los valores de interface.</p> <p>H. Alarmas por alto-alto nivel, alto nivel, bajo nivel y bajo-bajo nivel de fluido con sus respectivos switches.</p> <p>I. Transmisores de temperatura.</p> <p>J. Válvulas de presión y vacío.</p> <p>K. En caso de incendio los FWKOs cuentan con una cámara de espuma que se activa para sofocar fuegos.</p> <p>L. DGC – Plot Plan.</p> <p>M. P&ID de los equipos relacionados.</p> <p>N. Guías de entrenamiento.</p>

Cuadro 36. (Continuación)

Acciones Requeridas	Recomendaciones
<p>NOTA: este plan se ejecuta en caso de que los niveles alcancen 92% de capacidad de recibo de los tanques FWKO y no se restablezca la disposición.</p> <ol style="list-style-type: none">1. Identificar el circuito a deslastrar de acuerdo al volumen de fluido que se está dejando de disponer en la facilidad afectada, así como el tiempo de restablecimiento.2. Coordinar con mantenimiento el deslastre de el/los circuitos(s) necesario(s) para no sobrepasar el 90% de la capacidad de almacenamiento en las facilidades.3. Verificar con mantenimiento, tablerista y técnico SCADA el deslastre de los circuito(s) necesario(s) para no sobrepasar el 90% de la capacidad de almacenamiento en las facilidades.4. Verificar niveles de proceso (tanques FWKO, Skim Tanks y piscinas de inyección), así como entrada de fluido a la facilidad una vez se haya efectuado el apagado de los pozos descrito en el paso anterior.5. Asegurar niveles de guías de control y ventanas operativas en tanques FWKO, Skim Tanks y piscinas de inyección.	

Fuente: ECOPEPETROL S.A. Instructivo Operacional para la Toma de Decisiones durante Emergencias por Fallas en los PADs, Vertimiento y/o Equipos Críticos de Proceso en Facilidades de Producción CPF-A y CPF-B. Departamento de Producción Oriente. Campo Rubiales, 2018.

4.2.2.3 Normalización del sistema. Por último, se realiza la normalización del sistema para asegurar los niveles de interfase de los equipos afectados durante la salida del PAD de inyección. Con el fin de garantizar niveles óptimos en tanques, piscinas y de esa manera continuar con la dinámica operacional.

Cuadro 37. Normalización del sistema.

Nodo	Palabra Guía	Desviación Variable	Posible Causa	Consecuencia	Impacto	Salvaguardas
Tratamiento de agua de producción	Asegurar	Asegurar nivel de interface de los equipos afectados durante la salida del PAD de inyección	Salida no programada y prolongada del sistema de disposición de agua hacia los PADs de inyección. Fallas en equipos críticos del proceso.	Derrame de hidrocarburos Pérdida de Producción Aumento de niveles en tanques Deslastre de circuitos Apagado de pozos Afectación al proceso Ruptura de líneas y válvulas controladoras Oscilación de lazos de control	P4CM A3CM E4CM C2DM R1DL	<ul style="list-style-type: none"> A. Guías de control y ventanas operativas. B. Instructivo operacional para tanques FWKO. C. Instructivo operacional para el Tanque de Desnate. D. Instructivo operacional para la puesta en servicio Sistema Piscina Inyección. E. Instructivo operacional para la puesta en servicio Sistema Piscina Inyección. F. Instructivo operacional para selección de apagado de pozos en Campo Rubiales. G. Monitoreo por medidores tipo sonda y lazos de control cerrados para mantener los valores de interface. H. Alarmas por alto-alto nivel, alto nivel, bajo nivel y bajo-bajo nivel de fluido con sus respectivos switches. I. Transmisores de temperatura. J. Válvulas de presión y vacío. K. En caso de incendio los FWKOs cuentan con una cámara de espuma que se activa para sofocar fuegos. L. DGC – Plot Plan. M. P&ID de los equipos relacionados. N. Guías de entrenamiento. O. Matriz de Respuesta a Emergencias.

Cuadro 37. (Continuación)

Acciones Requeridas	Recomendaciones
<ol style="list-style-type: none">1. Una vez normalizada la inyección en el/los PADs, asegure el nivel de la interface de los tanques FWKO.2. Asegure el nivel operativo de los tanques Skim.<ul style="list-style-type: none">• Tanques de desnate o Skim Tanks.3. Asegure el nivel operativo de las piscinas de inyección.<ul style="list-style-type: none">• Piscina A.• Piscina B4. Con niveles por encima del 90% de la capacidad de los tanques FWKOs y Skim Tanks, mantener los circuitos deslastrados.5. Cuando los niveles estén por debajo del 90% y se tenga confiabilidad en la disposición de agua, proceder al restablecimiento uno a uno de los circuitos deslastrados anteriormente.6. Normalizar las alineaciones que se hayan realizado previamente en el CPF.7. Restablecer la transferencia de agua entre CPFs.8. Monitorear las condiciones de proceso hasta tener condiciones normales de operación.	

Fuente: ECOPETROL S.A. Instructivo Operacional para la Toma de Decisiones durante Emergencias por Fallas en los PADs, Vertimiento y/o Equipos Críticos de Proceso en Facilidades de Producción CPF-A y CPF-B. Departamento de Producción Oriente. Campo Rubiales, 2018.

4.2.3 Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF). Para este caso, se realiza un análisis de los posibles efectos que se pueden presentar en cada uno de los equipos críticos, para de esa manera efectuar acciones correctivas.

Cuadro 38. Análisis del Modo y Efecto de Falla por salida de PADs de inyección CPF-B.

ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF)		
MODO DE FALLA	EFECTO	ACCIONES CORRECTIVAS
Alto Flujo en los FWKOs del CPF-B	Desestabilización de los niveles de interface	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar el suministro de aire comprimido a las válvulas reguladoras. 2. Ajustar Bypass, para controlar el flujo. 3. Verificar alineación de válvulas en los colectores del manifold interno.
	Menor tiempo de residencia, lo cual puede afectar la calidad, puede afectar el nivel y ocasionar el rebose de los FWKOs	
Alto nivel en los FWKOs del CPF-B	Se puede presentar activación e inundación en los sistemas de espuma del tanque de red de sistema contra incendios	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar el flujo de entrada al tanque. 2. Verificar las sondas de nivel que estén reportando datos confiables. 3. Verificar con el operador Senior el estado de la operación. 4. Confirmar con el operador de bombas el correcto funcionamiento de las mismas. 5. Verificar líneas de entrada y de salida. 6. Confirmar la presión adecuada de suministro de aire comprimido a las válvulas actuadoras que manejan los caudales de entrada y salida del tanque.
	Se puede presentar rebose causando impacto a las instalaciones	
Alta interface en los FWKOs del CPF-B	Afectación a la calidad del crudo de rebose	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar mediante el visor en físico en el colector tipo rana del FWKO el nivel de interface e informar al operador Senior para realizar los ajustes correspondientes.
Baja interface en los FWKOs del CPF-B	Se puede ver afectado el correcto funcionamiento de las bombas de agua, ocasionando mayores presiones, obstrucciones y presiones en las mismas	
Alto BS&W en los FWKOs del CPF-B	Mayor contenido de agua en el crudo de rebose, lo cual ocasiona un mal tratamiento del crudo tanto por medios mecánicos como químicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar contra muestra para confirmar con el laboratorio. 2. Verificar funcionamiento y dosificación de química a la entrada de los FWKOs. 3. Verificar caudales de entrada y de salida.

Cuadro 38. (Continuación)

ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF)		
MODO DE FALLA	EFECTO	ACCIONES CORRECTIVAS
Alta temperatura en los FWKOs del CPF-B	Error en las mediciones de los instrumentos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar con el operador de calderas el correcto suministro de vapor. 2. Verificar las válvulas de alineación y retorno de los serpentines. 3. Verificar las válvulas controladoras de vapor.
	Daño en bridas y acoples y emanación de vapores.	
Baja temperatura en los FWKOs del CPF-B	Menor eficiencia del tratamiento químico y mayor emulsión.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si es necesario habilitar Bypass correspondiente para mantener la temperatura adecuada.
Bajo nivel en los Skim Tank del CPF-B	No se genera suficiente NPSH a las bombas de transferencia a PTA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar el estado operativo de las bombas de transferencia de agua separada de los FWKOs. 2. Verificar el estado de la válvula controladora de flujo a la entrada. 3. Verificar FIT entrada de flujo. 4. Verificar posición de las válvulas manuales de corte.
	Arrastre de aceite al sistema de tratamiento de agua causando aumento de ppm en el agua clarificada	
	Saturación de los lechos filtrantes	
	Bajo nivel en las piscinas de inyección por falta del fluido a transferir	
Alto nivel en los Skim Tanks del CPF-B	Rebose generando contaminación al medio ambiente y equipos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar el estado operativo de las bombas de transferencia de agua a paquetes de tratamiento. 2. Verificar posición válvulas de corte a la salida de los tanques. 3. Verificar estado operativo, alineación y flujo de entrada a paquetes de tratamiento. 4. Hacer medición manual con cinta y comparar con medición dinámica para determinar confiabilidad del instrumento de medición.
	Que se cierre la válvula de control de entrada a los Skim y se presuricen las bombas de agua separada ocasionando el apagado de los equipos	
	Impacto a la producción en caso de tener que restringir el caudal de entrada a la planta	
Bajo flujo en los Skim Tanks del CPF-B	Presurización de las bombas de agua separada de los FWKOs	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar estado operativo de las bombas de agua separada de los FWKOs. 2. Verificar la posición de la válvula controladora de flujo a la entrada.
	Aumento en las interfaces y niveles en los FWKOs pudiendo generar rebosamiento	

Cuadro 38. (Continuación)

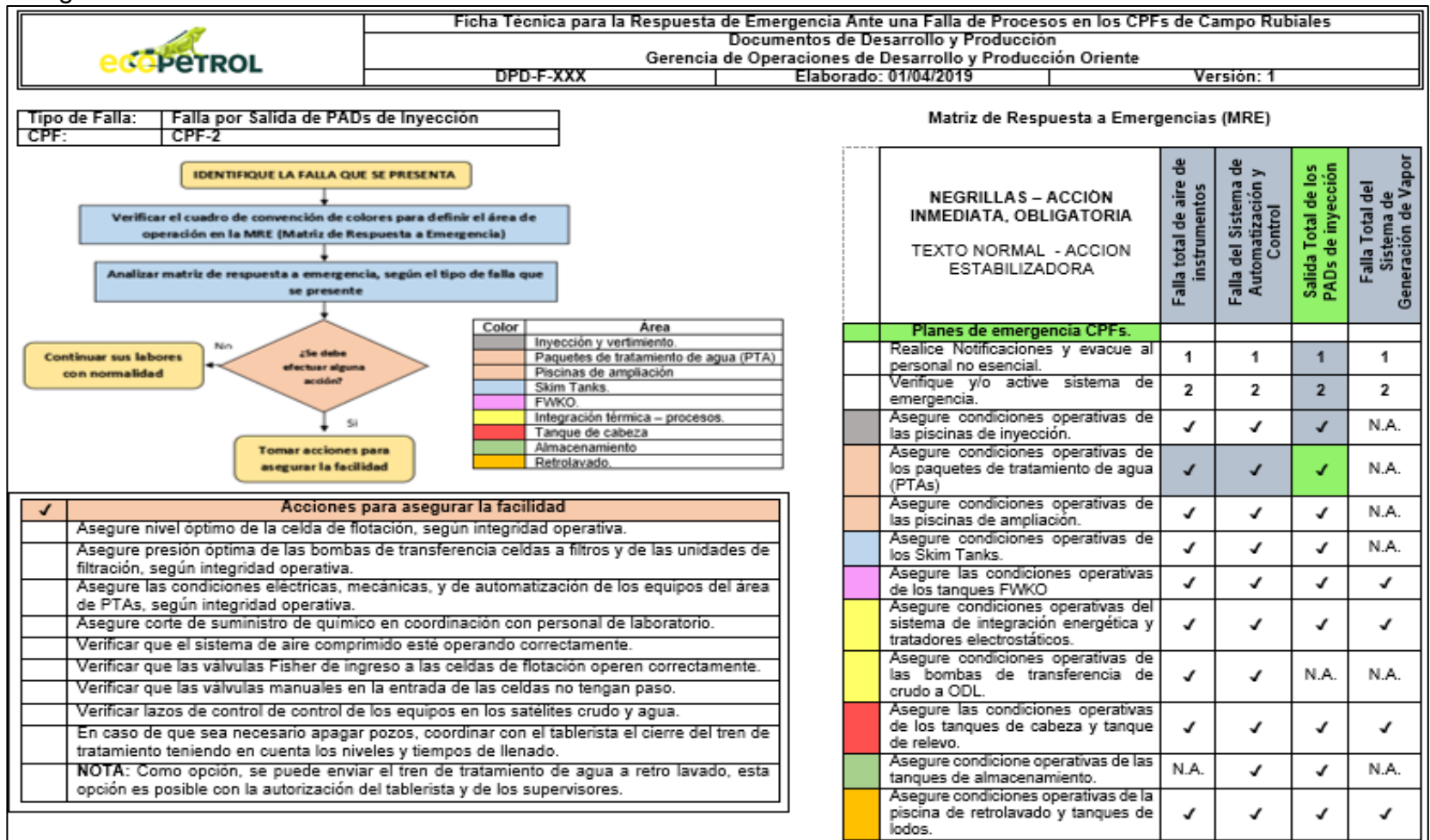
ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF)		
MODO DE FALLA	EFECTO	ACCIONES CORRECTIVAS
Alto flujo en los Skim Tanks del CPF-B	Que el tanque se llene en tiempo no esperado pudiendo causar rebosamiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar en campo el estado operativo del instrumento (intensidad de señal, posición y estado de los transductores ultrasónicos) 2. Verificar posición de las válvulas manuales del Bypass.
	Contaminación al medio ambiente y equipos	
Alto nivel piscinas de inyección del CPF-B	Rebosamiento de la piscina ocasionando contaminación al medio ambiente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar el estado operativo de las bombas de transferencia de las piscinas a los PADs. 2. Verificar eficiencia, presión, velocidad, tensión corriente y potencia de las bombas. 3. Verificar los medidores de flujo para determinar el caudal transferido. 4. Verificar estado y posición de los transductores ultrasónicos. 5. Verificar transferencia de agua y cantidad de bombas en operación, desde las piscinas de retro lavado 0001 y 0006. 6. Verificar válvulas de recirculación en los cuadros de control de salida a los PADs de inyección. Asimismo los Bypass. 7. Verificar el estado de las válvulas de seguridad, para descartar posible paso de fluido y disparo de las válvulas. 8. Verificar confiabilidad del instrumento de medición de nivel.
Bajo nivel piscinas de inyección del CPF-B	Arrastre de aceite a la succión de las bombas, ocasionando desmejoramiento en la calidad de agua inyectada.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar número de bombas operando. 2. Verificar nivel de piscina y caudal de salida hacia los PADs. 3. Verificar estado operativo de la bomba. 4. Verificar presión de aire de instrumentos. 5. Verificar fugas de aire en las líneas de tubing conectados a la válvula. 6. Verificar válvula Bypass en el cuadro de control de recirculación. 7. Verificar el estado y posición de las válvulas de seguridad, para descartar disparos y posible paso de fluidos.
	Saturación de los filtros de succión en las bombas de inyección, debido al arrastre de sólidos.	
	Alta presión diferencial en las bombas SPS ocasionando el apagado de las bombas	
	Cavitación y vibración en las bombas y líneas de tubería, ocasionando daños externos e internos en las bombas y motores	

Cuadro 38. (Continuación)

ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF)		
MODO DE FALLA	EFECTO	ACCIONES CORRECTIVAS
Alta presión en las bombas de transferencia de las piscinas de inyección del CPF-B	Alta vibración en la bomba y líneas de transferencia.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar la alineación de la válvula de descarga de la bomba. 2. Verificar el set point programado en el cuadro de control de recirculación. 3. Verificar estado y posición de las válvulas de cuadro de control PCV, así como de la válvula PSV. 4. Verificar estado y posición de las válvulas cheque en la descarga de las bombas y línea de salida hacia PADs. 5. Verificar alineación y distribución del manifold de interconexión de salida a los PADs
	Calentamiento y cavitación en la bomba, daño en impulsores, rodamientos y sellos.	
	Disparos de las PSV	
	Rupturas de juntas flexibles en las bombas de inyección al momento que se apague el PAD	
Baja presión en las bombas de transferencia de las piscinas de inyección del CPF-B	Cavitación y vibración en las bombas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar nivel de piscina y caudal de salida hacia los PADs. 2. Verificar estado y posición de la válvula del cuadro de control de recirculación. 3. Verificar presión de aire de instrumentos y fugas de aire en las líneas de tubing conectados a la válvula. 4. Verificar número de bombas operando en PADs, junto a su frecuencia y caudal. 5. Verificar estado y posición de las válvulas PSV.
	Daños en difusores, impulsores, rodamientos y sello mecánico.	
	Puede generar apagado de los PADs de inyección por baja presión de succión en las bombas SPS	

Fuente: ECOPETROL S.A. Formato para el registro de guías de control y ventanas operativas de Ecopetrol S.A. Gestión de activos industriales. Dirección de HSE, 2015. Modificado por los autores, 2019.

Figura 34. Ejemplo cara A. Ficha Técnica Falla por Salida de PADs de Inyección CPF-B, área paquetes de tratamiento de agua



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Ejemplo cara B. Ficha Técnica Falla por Salida de PADs de Inyección, área paquetes de tratamiento de agua.

ACCIONES INMEDIATAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Verifique la disponibilidad del sistema de transferencia de agua hacia PADs de inyección. • Verifique la disponibilidad del sistema de PADs de inyección. 	
Verificación de niveles y tiempos de llenado	
Acciones Requeridas	Salvaguardas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar la capacidad de recibo en facilidades de producción al momento de presentarse la falla en alguno de los PADs y/o equipos críticos de proceso en los CPFs. 2. Estimar el tiempo máximo de recibo de fluidos para tener un llenado del 90% de los Tanques FWKO y de los Skim Tanks. <ul style="list-style-type: none"> • Tanques FWKO: 11.500 mm. • Tanques de desnate o Skim Tanks: 8.200 mm. 3. Informar a los encargados de cada área cuanto fluido ingresara a la facilidad y que volumen se estará disponiendo para realizar el balance de entrada vs salida, para así mismo definir el volumen a optimizar requerido. 4. Redistribuir fluidos entre los dos CPFs, hasta alcanzar el 90% de llenado de las facilidades. 5. Si el evento presentado es por falla en las bombas de transferencia de FWKO a Skim Tank o bombas de Skim Tank a trenes de tratamiento o por falla prolongada en los trenes de tratamiento de agua en cualquiera de los dos CPFs, realizar monitoreo de los niveles de los tanques de proceso y dar alerta cuando llegue a los valores límites establecidos por guías de control. 6. Verificar la causa de salida del PAD, vertimiento y/o equipos críticos de proceso en las facilidades de producción y estimar el tiempo de restablecimiento. 	<ol style="list-style-type: none"> A. Guías de control y ventanas operativas. B. Instructivo operacionales. C. Alarmas y switches. D. Válvulas de presión y vacío. E. Cámaras de espuma. F. DGC – Plot Plan. G. P&ID de los equipos relacionados. H. Guías de entrenamiento. I. Transmisores de temperatura. J. Matriz MRE.
Deslastre inmediato de carga para apagado de pozos	
Acciones Requeridas	Salvaguardas
<p>NOTA: este plan se ejecuta en caso de que los niveles alcancen 92% de capacidad de recibo de los tanques FWKO (11.800 mm) y no se restablezca la disposición.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar el circuito a deslastar de acuerdo al volumen de fluido que se está dejando de disponer en la facilidad afectada, así como el tiempo de restablecimiento. 2. Coordinar con mantenimiento el deslastre de el/los circuito(s) necesario(s) para no sobrepasar el 90% de la capacidad de almacenamiento en las facilidades. 3. Verificar con mantenimiento, tablerista y técnico SCADA el deslastre de los circuito(s) necesario(s) para no sobrepasar el 90% de la capacidad de almacenamiento en las facilidades. 4. Verificar niveles de proceso (tanques FWKO, Skim Tanks y piscinas de inyección), así como entrada de fluido a la facilidad una vez se haya efectuado el apagado de los pozos descrito en el paso anterior. 5. Asegurar niveles de guías de control y ventanas operativas en tanques FWKO, Skim Tanks y piscinas de inyección. 	<ol style="list-style-type: none"> A. Guías de control y ventanas operativas. B. Instructivo operacionales. C. Alarmas y switches. D. Válvulas de presión y vacío. E. Cámaras de espuma. F. DGC. G. P&ID de los equipos relacionados. H. Guías de entrenamiento.
Normalización del sistema	
Acciones Requeridas	Salvaguardas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Una vez normalizada la inyección en el/los PADs, asegure el nivel de la interfase de los tanques FWKO, manteniendo un nivel entre 10.500 – 11.500 mm de altura. 2. Asegure el nivel operativo de los tanques Skim. <ul style="list-style-type: none"> • Tanques de desnate o Skim Tanks: 7.000 – 8.060 mm. 3. Asegure el nivel operativo de las piscinas de inyección. <ul style="list-style-type: none"> • Piscina 400-PIS-0002: 3.700 – 4.000 mm. • Piscina 400-PIS-0004: 4.000 – 5.000 mm. 4. Con niveles por encima del 90% de la capacidad de los tanques FWKOs y Skim Tanks, mantener los circuitos deslastrados. 5. Cuando los niveles estén por debajo del 90% y se tenga confiabilidad en la disposición de agua, proceder al restablecimiento uno a uno de los circuitos deslastrados anteriormente. 6. Normalizar las alineaciones que se hayan realizado previamente en el CPF. 7. Restablecer la transferencia de agua entre CPFs. 8. Monitorear las condiciones de proceso hasta tener condiciones normales de operación. 	<ol style="list-style-type: none"> A. Guías de control y ventanas operativas. B. Instructivo operacionales. C. Alarmas y switches. D. Válvulas de presión y vacío. E. Cámaras de espuma. F. DGC. G. P&ID de los equipos relacionados. H. Guías de entrenamiento. I. Transmisores de temperatura. J. Matriz MRE.

Fuente: Elaboración propia.

Las Figuras 34 y 35, muestran un ejemplo de Ficha Técnica de la Falla por Salida de PADs de inyección del CPF-B, para el área de paquetes de tratamiento de agua de producción específicamente. En la **Figura 34**, se observa que la cara A de la ficha, está compuesta por el flujograma, el cuadro de relación de colores, la Matriz de Respuesta a Emergencia (MRE) y las acciones para asegurar la facilidad del área en mención. Cabe destacar que estas fichas cuentan con un código de calidad interna en el encabezado, lo que indica que ya fueron implementadas en Ecopetrol S.A. Por su parte, en la **Figura 35** (cara B de la ficha), se destaca la presencia de las acciones inmediatas a ejecutar y el Análisis Funcional de Operatividad (HAZOP).

4.3 VISUAL BASIC

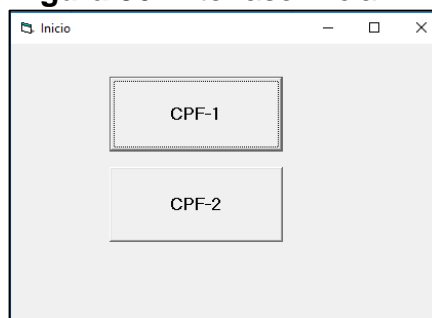
Visual Basic fue un programa creado en 1991 por Alan Cooper para Microsoft, este paquete permite programar contenidos informáticos de manera simple y accesible. Visual Basic es además un lenguaje de programación guiado por eventos que permite mayor operatividad y mejores resultados³².

4.3.1 Aplicación. Teniendo en cuenta que lo que se pretende es brindar a los operadores la información necesaria para actuar en caso de contingencia, de una manera eficaz y concisa. Visual Basic permite recopilar toda la información necesaria y exponerla brevemente, de forma que se encuentre una solución directa a la emergencia presentada.

A continuación, se describe la interfase del programa desarrollado para lograr la implementación del modelo de prácticas y procedimientos de contingencia para los CPFs de Campo Rubiales.

- **Seleccionar el CPF.** Esta interfase permite seleccionar entre CPF-A o CPF-B. La **Figura 36**, muestra la interfase inicial.

Figura 36. Interfase inicial.



Fuente: Elaboración propia.

³² MICROSOFT. Guía de Visual Basic. Recuperado de: <https://docs.microsoft.com/es-es/dotnet/visual-basic/>. 20 de marzo de 2019.

- **Seleccionar el área de operación.** Esta interfase permite seleccionar el área de operación en la que se encuentre el operador. Cabe resaltar que el CPF-A cuenta con 9 áreas. De otra mano, el CPF-B consta de 10 áreas operativas. En la **07**, se evidencia la interfase número dos del CPF-A.

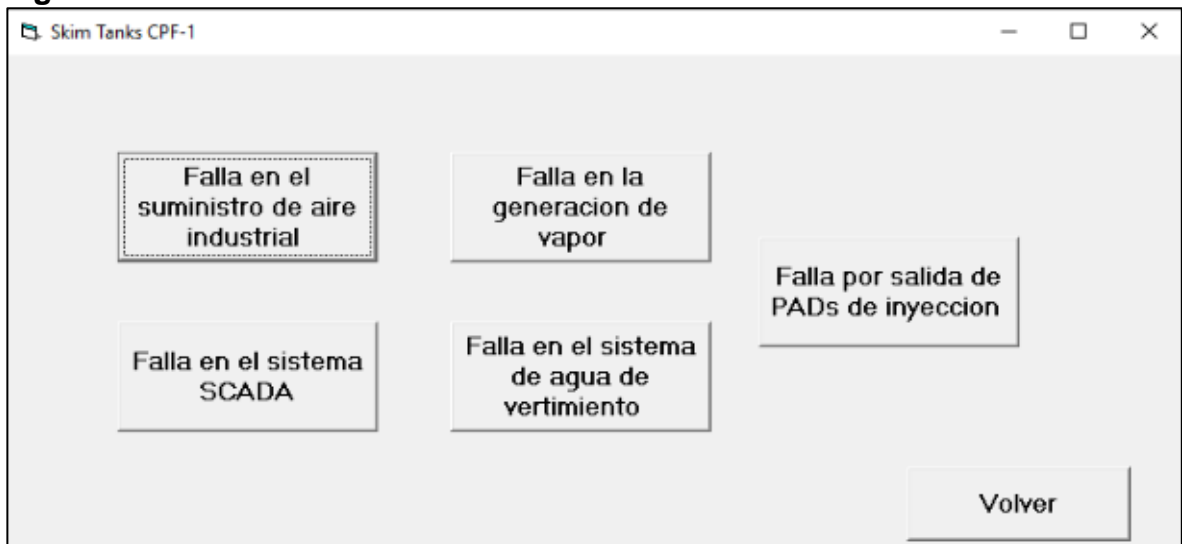
Figura 37. Interfase número dos.



Fuente: Elaboración propia.

- **Seleccionar el tipo de falla que se presenta.** Esta interfase permite seleccionar el tipo de falla que se esté presentando. Cabe resaltar que el CPF-A cuenta con 5 escenarios de contingencia. Por otro lado, el CPF-B solo tiene cuatro escenarios. La **08** muestra la interfase número tres para el CPF-A para el área de Skim Tanks.

Figura 38. Interfase número tres.



Fuente: Elaboración propia.

- **Efectuar los pasos establecidos en el modelo implementado para actuar en caso de presentarse el escenario de contingencia.** En esta interfase se muestra las acciones requeridas para asegurar la facilidad de acuerdo al tipo de falla seleccionada.

Cuadro 39. Acciones para asegurar la facilidad, última interfaz.

✓	Acciones para asegurar la facilidad
	Verificar el sistema de aire comprimido.
	Verificar la correcta operación de las válvulas Fisher, debido a que al presentarse alto nivel en los Skim Tanks la válvula actuara cerrándose reduciendo la entrada de agua a los tanques.
	Verificar que el compresor del área, se encuentre en estado operativo, en caso contrario comunicarse con el personal de mantenimiento encargado y hacer reporte de falla.
	Verifique el estado de las bombas de transferencia de agua hacia los Paquetes de Tratamiento de Agua (PTAs)
	Asegure el nivel óptimo de los Skim Tanks, según integridad operativa.
	Asegure las condiciones eléctricas, mecánicas y de automatización de los equipos del área de los Skim Tanks, según integridad operativa.
	Verificar que las UPS del área no se encuentren en estado de falla.
	Recuperar el mayor volumen de natas posibles verificando que las bombas de crudo operen según integridad operativa y transfieran el fluido hacia Batería-2. De esa manera se mitiga un posible derrame de hidrocarburos por el rebose del tanque.

Volver

Fuente: Elaboración propia.

5. COMPARACIÓN DE LOS MODELOS DE SEGURIDAD DE PROCESO

En el presente capítulo, se evidencia la comparación de la seguridad del proceso entre el modelo existente y el modelo implementado. La comparación se efectuó en primero medida, por medio de encuestas a los operadores. A su vez, ambos modelos son confrontados, bajo los parámetros del ciclo de disciplina operativa (disponibilidad, calidad, comunicación y cumplimiento), los cuales se explicaron en la...**Sección 2.2...** del documento.

5.1 ENCUESTAS

En total se efectuaron trece (13) encuestas desarrolladas los días 16 y 17 de marzo de 2019, tanto en el CPF-A como en el CPF-B. Las 7 preguntas formuladas a los operadores y al personal involucrado en la operación, se muestran a continuación.

- ¿Este modelo brinda una solución clara y efectiva en el momento de presentarse una falla?
- ¿Qué tan claro califica el modelo?
- ¿El contenido de este modelo es suficiente para solucionar la contingencia presentada?
- ¿Qué tan útil es la información suministrada?
- ¿Está de acuerdo en implementar este nuevo modelo?
- ¿La metodología propuesta le es de fácil entendimiento y aplicación?
- Que observaciones tiene para el modelo presentado.

De igual forma, en los Anexos (B) se van a encontrar las encuestas escaneadas y un registro fotográfico en donde se evidencia el diligenciamiento de las mismas por parte de los operadores.

La metodología de respuesta consistió en una escala numérica de 1 a 5, donde solo se trabajan números enteros. La escala para la asignación de puntajes se evidencia en el Cuadro 40 de a continuación:

Cuadro 40. Escala de ponderación

Puntaje	Categoría
1	Deficiente
2	Insuficiente
3	Regular
4	Bueno
5	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1 Resultados obtenidos. A continuación, se muestran los resultados obtenidos por pregunta, además de la gráfica que lo representa. Así mismo, un análisis de los datos obtenidos.

5.1.1.1 Pregunta A. ¿Este modelo brinda una solución clara y efectiva en el momento de presentarse una falla? De esta pregunta se obtuvieron los siguientes resultados.

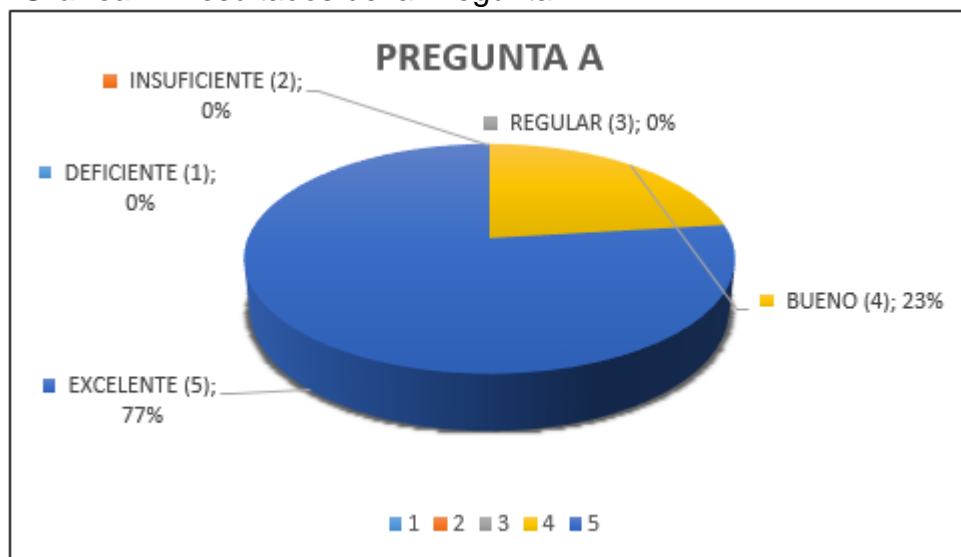
Cuadro 41. Puntajes Pregunta A

Puntaje	Resultado	Porcentaje
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	3	23%
5	10	77%
TOTAL	13	100%

Fuente: Elaboración propia.

La Gráfica 1, es la que mejor se ajusta a los resultados y representa los valores obtenidos en la pregunta A.

Gráfica 1. Resultados de la Pregunta A



Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos a esta pregunta se observa, que para los operadores, el modelo propuesto brinda una solución clara y efectiva en el momento de presentarse una falla con un porcentaje de calificación excelente del 77%.

5.1.1.2 Pregunta B. ¿Qué tan claro califica el modelo? De esta pregunta se obtuvieron los siguientes resultados.

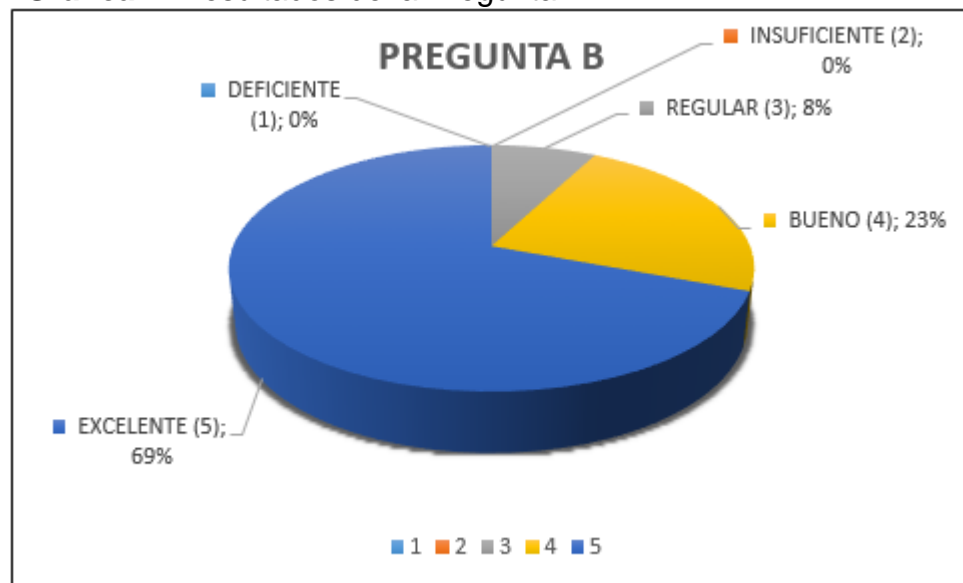
Cuadro 42. Puntajes Pregunta B

Puntaje	Resultado	Porcentaje
1	0	0%
2	0	0%
3	1	8%
4	3	23%
5	9	69%
TOTAL	13	100%

Fuente: Elaboración propia

La Gráfica 2, es la que mejor se ajusta a los resultados y representa los valores obtenidos en la pregunta B.

Gráfica 2. Resultados de la Pregunta B.



Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos a esta pregunta, se observa que para los operadores, el modelo propuesto es claro, con un porcentaje de aprobación del 92% (Excelente 69% adicionando el 23% del puntaje 4 que corresponde a Bueno). No obstante, para el 8% de los encuestados se pueden hacer correcciones al modelo mejorando así, la forma de entenderlo.

5.1.1.3 Pregunta C. ¿El contenido de este modelo es suficiente para solucionar la contingencia presentada? De esta pregunta se obtuvieron los siguientes resultados.

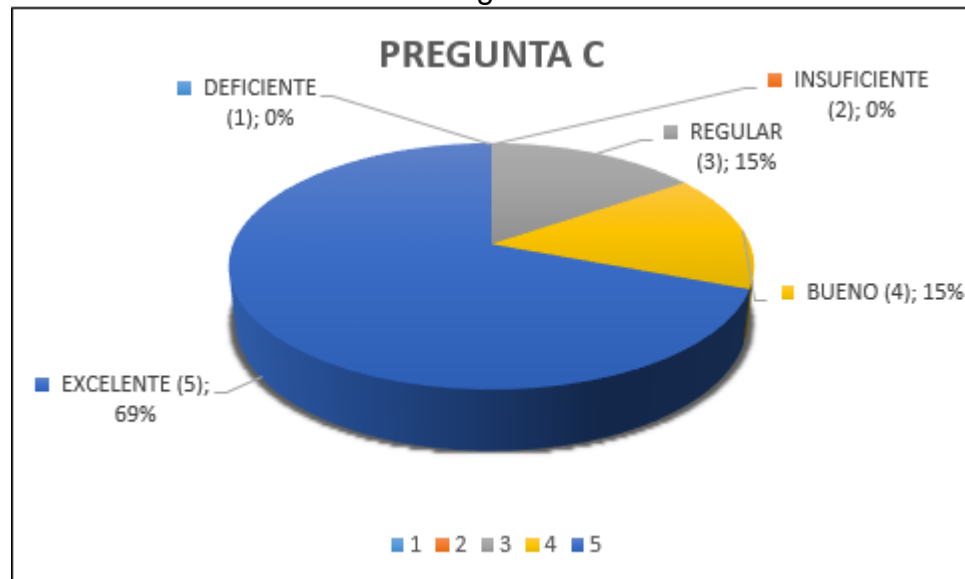
Cuadro 43. Puntajes Pregunta C

Puntaje	Resultado	Porcentaje
1	0	0%
2	0	0%
3	2	15%
4	2	15%
5	9	69%
TOTAL	13	99%

Fuente: Elaboración propia.

La Gráfica 3, es la que mejor se ajusta a los resultados y representa los valores obtenidos en la pregunta C.

Gráfica 3. Resultados de la Pregunta C.



Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos a esta pregunta, se observa que para los operadores, el contenido del modelo propuesto es suficiente para solucionar la contingencia presentada con un porcentaje de aprobación del 84% (puntaje Excelente 69% más puntaje Bueno 15%). Se destaca, que el contenido está mayormente resumido, lo que facilita su comprensión.

5.1.1.4 Pregunta D. ¿Qué tan útil es la información suministrada? De esta pregunta se obtuvieron los siguientes resultados.

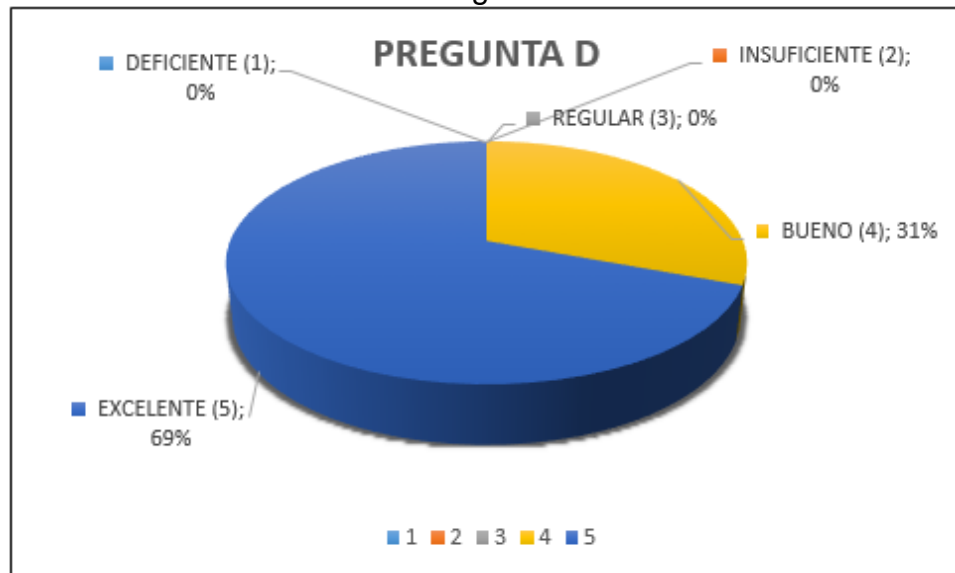
Cuadro 44. Puntajes Pregunta D

Puntaje	Resultado	Porcentaje
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	4	31%
5	9	69%
TOTAL	13	100%

Fuente: Elaboración propia.

La Gráfica 4, es la que mejor se ajusta a los resultados y representa los valores obtenidos en la pregunta D.

Gráfica 4. Resultados de la Pregunta D.



Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos a esta pregunta, se observa que para el 100% de los operadores (Excelente 69% más Bueno 31%) la información que brinda el modelo es útil. Debido a la rotación de puestos de trabajo que se está efectuando tanto en el CPF-A, como en el CPF-B, se destaca la utilidad de la información para el proceso de entrenamiento, capacitación y adecuación al nuevo puesto de trabajo.

5.1.1.5 Pregunta E. ¿Está de acuerdo en implementar el nuevo modelo? De esta pregunta se obtuvieron los siguientes resultados.

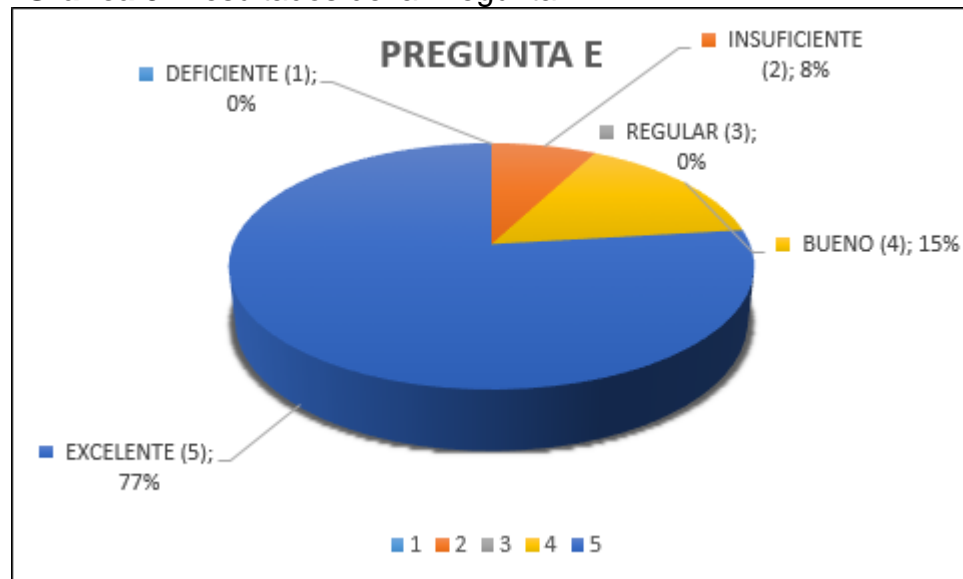
Cuadro 45. Puntajes Pregunta E

Puntaje	Resultado	Porcentaje
1	0	0%
2	1	8%
3	0	0%
4	2	15%
5	10	77%
TOTAL	13	100%

Fuente: Elaboración propia.

La Gráfica 5, es la que mejor se ajusta a los resultados y representa los valores obtenidos en la pregunta E.

Gráfica 5. Resultados de la Pregunta E.



Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos a esta pregunta, se evidencia que el 77% de los operadores está de acuerdo en implementar el modelo propuesto. No obstante, el 8% de los operadores indicaron que la implementación es insuficiente. Dentro de los comentarios a esta pregunta, la mayoría de los operadores concuerdan en que es necesario efectuar charlas y capacitaciones de la metodología propuesta para garantizar un correcto entendimiento del modelo y para asegurar la facilidad de una forma rápida y oportuna.

5.1.1.6 Pregunta F. ¿La metodología propuesta le es de fácil entendimiento y aplicación? De esta pregunta se obtuvieron los siguientes resultados.

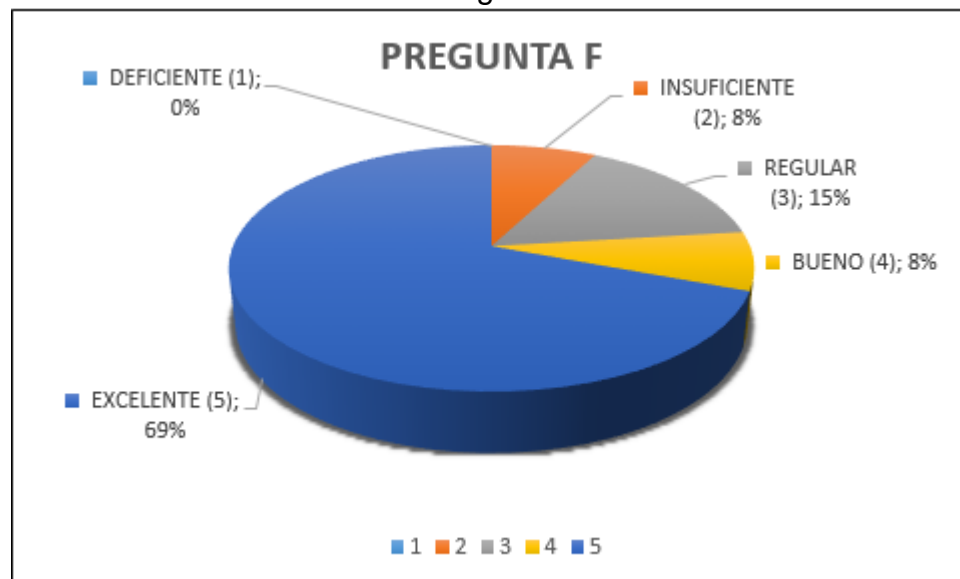
Cuadro 46. Puntajes Pregunta F

Puntaje	Resultado	Porcentaje
1	0	0%
2	1	8%
3	2	15%
4	1	8%
5	9	69%
TOTAL	10	100%

Fuente: Elaboración propia.

La Gráfica 6, es la que mejor se ajusta a los resultados y representa los valores obtenidos en la pregunta F.

Gráfica 6. Resultados de la Pregunta F.



Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos a esta pregunta, se evidencia que para el 69% de los operadores la metodología propuesta es de fácil entendimiento y aplicación. No obstante, el 23% de los operadores indicaron que es confusa y se pueden implementar oportunidades de mejora.

Considerando estos resultados, más los comentarios efectuados, se tomaron acciones correctivas para la mejora del modelo. Estas mejoras ya fueron implementadas en el modelo presentado inicialmente a los operadores y se pueden evidenciar tanto en las 85 fichas técnicas, como en el programa desarrollado en Visual Basic. Con respecto al modelo existente, cabe especificar que no se desarrollaron encuestas de esté.

5.2 CUADRO COMPARATIVO

Como parte final del proyecto se efectuará una comparación entre el modelo existente y el modelo implementado, tomando como base las cuatro (4) fases mencionadas para la correcta ejecución de la Disciplina Operativa. La primera etapa de disponibilidad, al garantizar que todos los procedimientos que son requeridos para la operación sean accesibles en las áreas de trabajo. La segunda etapa de calidad, al asegurar que las especificaciones en la elaboración de los procedimientos cumplan con los criterios establecidos, garantizando el contenido de los mismos. La tercera etapa de comunicación, al avalar que los documentos sean interiorizados por el personal ejecutor del mismo. Por último, la etapa de cumplimiento al verificar que un procedimiento cumpla con el ciclo de vida de Disciplina Operativa, desde su disponibilidad hasta su correcta aplicación, permitiendo de esta manera identificar oportunidades de mejora.

En el Cuadro 47, se muestra el proceso de comparación entre el modelo existente y el modelo propuesto para cada uno de los ítems de la Disciplina Operativa. El criterio de valoración consiste en el cumplimiento o incumplimiento de cada apartado, a lo que se suman comentarios para poder discriminar de una manera más adecuada las diferencias.

Cuadro 47. Cuadro Comparativos modelos Disciplina Operativa.

	ITEM	Modelo Existente	Modelo Propuesto
Disponibilidad	Cada área de trabajo debe contar con procedimientos debidamente autorizados y disponibles físicamente, deben ser accesibles a todo el personal involucrado y debe estar debidamente identificados.	Cumple	Cumple
	Deben ser formulados y documentados para operaciones de emergencia, incluidos los paros de emergencia y los nombres de quienes puedan iniciar estos procedimientos.	Cumple	Cumple
Calidad	La calidad de los procedimientos debe ser verificada.	Verificada según los requerimientos de seguridad de procesos	Verificada según los requerimientos de seguridad de procesos

Cuadro 47. (Continuación)

	ITEM	Modelo Existente	Modelo Propuesto
Calidad	Deben revisarse cuando ocurra un incidente o accidente relacionado con la aplicación de un procedimiento.	Se puede actualizar de acuerdo a los hallazgos evidenciados por la ocurrencia de algún incidente o contingencia en pro de mejorar el modelo estipulado	Se puede actualizar de acuerdo a los hallazgos evidenciados por la ocurrencia de algún incidente o contingencia en pro de mejorar el modelo estipulado
	Debe contar con un formato sencillo y su contenido debe ser claro para el usuario.	Formato extenso, que contiene varios ítems que al momento de actuar dificultan la lectura y aprendizaje	Formato sencillo, de fácil aprendizaje y ejecución por parte de los operadores.
	Lenguaje comprensible para los operadores.	Cumple	Cumple
	Debe ser congruente en unidades de medidas, parámetros de operación y nombres de equipos, instalaciones y sistemas de seguridad.	Cumple	Cumple
	Participación del operador en su elaboración y revisión.	Participación solo en la elaboración	Participación en la elaboración y revisión
	Analizar y señalar propiedades y riesgos de los productos químicos.	Cumple en ocasiones	No Aplica
	Analizar y señalar procedimientos para abrir el equipo de proceso.	Aplica solo para caso de mantenimiento de equipo	No Aplica
	Analizar y señalar medidas de control que deberán tomarse de ocurrir un contacto físico con un gas volátil o toxico.	Cumple	No cumple
	Analizar y señalar procedimientos para mitigar derrames y fugas.	Cumple	Cumple

Cuadro 47. (Continuación)

	ITEM	Modelo Existente	Modelo Propuesto
Calidad	Analizar y señalar la descripción de riesgos materiales y únicos.	Cumple	Cumple
	Analizar y señalar los límites de proceso: máximo, mínimo, normal.	Cumple	Cumple
	Describir los controles por instrumentos, incluidos los puntos para fijar las alarmas.	No aplica	No aplica
	Resumir las consecuencias de toda desviación donde quiera que existan situaciones adversas para la seguridad, la protección contra incendios, la salud y el medio ambiente.	Cumple, pero debido a lo extenso del modelo se dificulta su ejecución y aprendizaje	Cumple, modelo resumido y de fácil comprensión.
	Documentar los pasos para evitar o corregir las desviaciones.	Cumple, pero los pasos son demasiado extensos.	Cumple
	Describir los sistemas de seguridad y su funcionamiento.	Cumple	Cumple
	Los cambios en procedimientos deben ser debidamente documentados y autorizados por la jefatura del área.	Cumple	Cumple
Comunicación	El control de comunicación deberá ser llevado en:		
	Matriz de procedimientos: muestra que procedimientos deben ser comunicado a cada puesto de trabajo.	Cumple	Cumple
	Matriz de conocimiento: muestra los empleados que han sido capacitados y evaluados en los diferentes procedimientos del área.	Cumple	Cumple
Cumplimiento	Asegurar mediante auditorias y revisiones periódicas que los procedimientos sean congruentes con la práctica en campo, la tecnología y los cambios a las instalaciones.	Cumple	Cumple
	Verificar que los procedimientos estén actualizados y sean fiables.	Cumple	Cumple

Fuente: OBREGÓN, RODOLFO. Implementación de Disciplina Operativa en la Administración de Operaciones en la Industria Petrolera de Guatemala. [En línea]. Trabajo de Graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala: 2017. P. 57 – 59. Modificado por los autores, 2019. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08_1792.

El cuadro comparativo permite analizar que el modelo propuesto cumple con la mayoría de los ítems estipulados y a su vez presenta una mayor acogida por los operadores con respecto al modelo existente; en gran medida se debe a que este último es demasiado extenso y confuso, mientras que el modelo propuesto expone de forma clara y resumida la información requerida en caso de presentarse una contingencia.

En los ítems donde la valoración no aplica para los modelos a comparar, se debe a procesos internos y confidenciales por parte de Ecopetrol S.A. que no permiten valorar el apartado en cuestión.

6. CONCLUSIONES

- El modelo propuesto por los autores fue acogido como prueba piloto para el Campo Rubiales, como evidencia se tiene que las fichas técnicas tienen su propio sistema de gestión en Ecopetrol S.A. Lo anterior conlleva, a que sea considerado un documento oficial de Ecopetrol S.A. que pueda ser buscado a nivel nacional. A su vez, ser adecuado como documento de carácter privado para la Vicepresidencia Regional Oriente específicamente, Campo Rubiales.
- El modelo existente desarrollado por Ecopetrol S.A., en el cual se establecen las reglas y lineamientos, para asegurar que las actividades en todas las áreas operativas se ejecuten bajo las normas y estándares establecidos; presenta oportunidades de mejora, como lo son: un contenido claro para el usuario y un formato resumido que permite un mejor entendimiento y concientización a la hora de actuar ante una emergencia operativa. Esto debido, a que las causas raíces en los incidentes ocurridos en los últimos años evidencian falencias en la comunicación de los instructivos. Es ahí donde los autores trabajaron para cerrar las brechas en la comunicación de los procedimientos de emergencia.
- Los principales escenarios de contingencia identificados por Ecopetrol S.A. para ambos CPFs en Campo Rubiales corresponden a: falla en el sistema de agua de vertimiento, falla por salida de PADs de inyección, falla en el sistema de generación de vapor, falla en el sistema de aire de instrumentos y falla del sistema de automatización y control. Estos fueron valorados haciendo uso de la Matriz de Riesgos (RAM) arrojando un nivel de gravedad 4 que corresponde a alto, por lo que se consideran escenarios potenciales de contingencia con afectación al medio ambiente, a las personas y a los equipos.
- El modelo planteado unifico estas cinco herramientas: la metodología HAZOP y el Análisis de Modo y Efecto de Fallas provenientes de la guía ASP, la Matriz de Respuesta a Emergencia (MRE) y el cuadro de peligros, riesgos y controles de seguridad de excelencia operacional; además de las acciones requeridas para asegurar la facilidad por área de operación. Este modelo brinda una mayor efectividad operativa por parte de los operadores, a la hora de actuar ante una emergencia debido a su fácil entendimiento y rápida ejecución.
- La implementación del modelo consta de 85 fichas técnicas, el CPF-A cuenta con 9 áreas operativas y 5 escenarios de contingencia para un total de 45 fichas técnicas. Por su parte, el CPF-B cuenta con 10 áreas de operación y 4 escenarios de contingencia, excluyendo la falla en el sistema de agua de vertimiento, para un total de 40 de estas fichas. Adicionalmente, para cumplir con la implementación de forma adecuada y sencilla, se desarrolló un programa en la plataforma Visual Basic que permite a los operadores, llegar de forma

directa a las acciones requeridas en caso de emergencia, interactuando con las interfases.

- El operador en campo contara con el número de fichas técnicas respectivas de acuerdo al área de operación, lo que sumado a su previa capacitación, inducción e interacción garantizan un fácil aprendizaje y memorización de las mismas. Al presentarse la emergencia, el operador debe acudir a la ficha técnica correspondiente al tipo de falla que se presente y actuar de manera oportuna considerando el contenido que esta presenta.
- Con el propósito de evaluar el modelo propuesto, se realizaron 13 encuestas a los operadores y al personal involucrado en la operación. Estas encuestas indican que el modelo brinda una solución clara y efectiva al momento de presentarse una falla con un porcentaje de aprobación excelente del 77%; que el contenido suministrado es útil, suficiente y de fácil entendimiento para la solución de una contingencia con una aprobación excelente del 69%. Por último, el 92% de los encuestados están de acuerdo en implementar el modelo propuesto.
- Del cuadro comparativo, se analiza que el modelo propuesto cumple con 17 de los 23 ítems medibles del ciclo de Disciplina Operativa. Por su parte, el modelo existente cumple con 19 ítems de forma permanente y un ítem de forma ocasional de las etapas de Disciplina Operativa. De acuerdo a lo anterior, se concluye que el modelo existente cumple con los requisitos de seguridad de procesos, sin embargo la experiencia indica que la información se encuentra dispersa dificultando el aprendizaje del operador. Es ahí, donde el modelo propuesto expone de forma clara, concisa y resumida la información requerida en caso de presentarse una contingencia.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda identificar escenarios de contingencia alternos a los indicados y suministrados por la empresa soporte, con el fin de garantizar una cobertura completa a la seguridad de procesos y cultura HSE en los CPFs de Campo Rubiales; en caso de presentarse una emergencia.
- Evaluar la posibilidad de implementar el modelo propuesto en un recurso diferente al programa de Visual Basic y las fichas técnicas, que brinde una mayor facilidad de entendimiento para los operadores y el personal ajeno a la operación, como lo puede ser una APP o si la compañía soporte lo permite una vinculación directa al sistema SCADA.
- Una vez implementadas las fichas técnicas bajo la asignación de código de documento oficial de Ecopetrol S.A., se recomienda efectuar oportunidades de mejora y segundas versiones a los entregables garantizando la fiabilidad de la información y actualizando la misma. Lo anterior, por posibles cambios en los procesos que se desarrollen en las facilidades de producción.
- Se recomienda hacer capacitaciones a los operadores en campo, para facilitar la ejecución del modelo propuesto en caso de presentarse una emergencia.
- Si el piloto efectuado en Campo Rubiales es aprobado según lo estipulado en las auditorías de seguridad de procesos anuales, se recomienda su implementación en otras gerencias del país operadas por Ecopetrol S.A.
- Se recomienda que el Departamento HSE de Campo Rubiales, introduzca dentro de los cursos de capacitación al personal de los CPFs, charlas periódicas con el fin de garantizar la correcta divulgación del modelo propuesto. Facilitando la comprensión y ejecución ante una contingencia operacional tanto al personal existente como al personal nuevo.

BIBLIOGRAFÍA

ECOPETROL S.A. Departamento de Seguridad de Procesos de la Gerencia HSE. Guía de Administración de Seguridad de Procesos, Sistema de Gestión HSE. Bogotá, Colombia, 2018.

ECOPETROL S.A. Gerencia HSE. Peligros, Riesgos y Controles de Seguridad. Campo Rubiales. 2019.

ECOPETROL S.A. Gestión de Activos Industriales. Dirección de HSE. Formato para el registro de guías de control y ventanas operativas de Ecopetrol S.A. 2015.

S.A. Producción Facilidad Central de Procesamiento 01 de Campo Rubiales. Matriz de Respuesta a Emergencia en Operación. Campo Rubiales, 2017.

ECOPETROL S.A. Producción Facilidad Central de Procesamiento 02 de Campo Rubiales. Matriz de Respuesta a Emergencia en Operación. Campo Rubiales, 2017.

ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Desarrollo Sostenible y Ambiental. Formato Matriz Valoración de Riesgos – Gestión HSE. Bogotá, Colombia, 2018.

ECOPETROL S.A. Vicepresidencia de Servicios y Tecnología Corporativo de Normas y Estándares. Instructivo Técnico para Análisis de HAZOP. Bogotá, Colombia, 2010.

ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Coordinación de Producción. Manual para las Operaciones Generales de la GOR. Campo Rubiales, 2017.

_____. Instructivo Operacional para Controlar Situaciones de Emergencia por Bloqueo o Congelamiento de Pantallas en el CPF-A. Campo Rubiales, 2018.

_____. Instructivo Operacional para la Operación de los Intercambiadores crudo-crudo. Campo Rubiales, 2017.

_____. Instructivo Operacional para la Operación del Sistema de Recuperación Gun Barrel y Bombas de Transferencia en el CPF-A. Campo Rubiales, 2017.

_____. Instructivo Operacional para la Operación de Tanques de Almacenamiento del CPF-A. Campo Rubiales, 2017.

_____. Instructivo Operacional para la Operación de Tanques Surge Tanks y Bombas de Transferencia de Agua. Campo Rubiales, 2017.

_____. Instructivo Operacional para la Operación de Tratadores Electrostáticos. Campo Rubiales, 2017.

_____. Instructivo Operacional para la Operación de Tratadores Termo Electroestáticos. Campo Rubiales, 2017.

_____. Instructivo Operacional para la Toma de Decisiones durante Emergencias por Fallas en los PADs, Vertimiento y/o Equipos Críticos de Proceso en Facilidades de Producción CPF-1 y CPF-2. Campo Rubiales, 2018.

_____. Instructivo Operacional para los Colectores de Recibo 100K Interno del CPF-B. Campo Rubiales, 2017.

_____. Instructivo Operacional Piscina de Retro Lavado CPF-B. Campo Rubiales, 2017.

_____. Instructivo Operacional Trenes de Tratamiento de Agua 5-8 Sistema Wemco Petreco, CPF-A. Campo Rubiales, 2017.

ECOPETROL S.A. Vicepresidencia Regional Oriente, Campo Rubiales. Informe Técnico Anual 2016 – Informe Ejecutivo Semestral II Semestre 2016. Cuenca Llanos Orientales, Febrero 2017.

INGENIERÍA INDUSTRIAL ONLINE. [Sitio web]. Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF). [Consulta: 11 de febrero de 2019]. Disponibilidad en: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. 153 p.

_____. NTC 5613: Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. Bogotá, Colombia. 2008.

GOZÁ, Osvaldo; RHACLÍ, Molina. Evaluación Energética del Tratador Térmico en la Planta de Procesamiento de Crudos de Canasí, Executive Business School. Avances en Ciencias e Ingeniería, Vol. 5. La Serena, Chile, 2014.

GUZMÁN, Alexander. Proposición de Facilidades de Superficie para la Producción de Crudo Extra Pesado con Inyección de Vapor en la Faja Petrolífera del Orinoco. Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Mecánica. Sartenejas, Venezuela, 2008.

JAIMES, Marcela; PICO, M. Isabel. Diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y de Producción Evaluando las Diferentes Alternativas Nacionales y Extranjeras – Aplicación Campo Colorado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, Colombia, 2009.

MICROSOFT. Guía de Visual Basic. Recuperado de: <https://docs.microsoft.com/es-es/dotnet/visual-basic/>. 20 de marzo de 2019.

OBREGÓN, Rodolfo. Implementación de Disciplina Operativa en la Administración de Operaciones en la Industria Petrolera de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial. Guatemala, 2017.

OSPINO, Diana. Optimización del tratamiento químico del fluido de producción en una facilidad mediante la simulación y análisis de la distribución de flujos. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, Colombia, 2009.

PACIFIC RUBIALES ENERGY & INGENIERÍA STRYCON LTDA. Filosofía de Control Planta de Tratamiento de 200 KWPD. *“Ingeniería conceptual básica y detallada para la disposición de vertimiento e inyección de 450K de agua producida en Campo Rubiales”*. Campo Rubiales, 2008.

VILLAREAL, Oswaldo. Sistemas de Gestión y Metodologías para Análisis y Evaluación de Riesgos de Seguridad. Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad. Bogotá, Colombia, 2017.

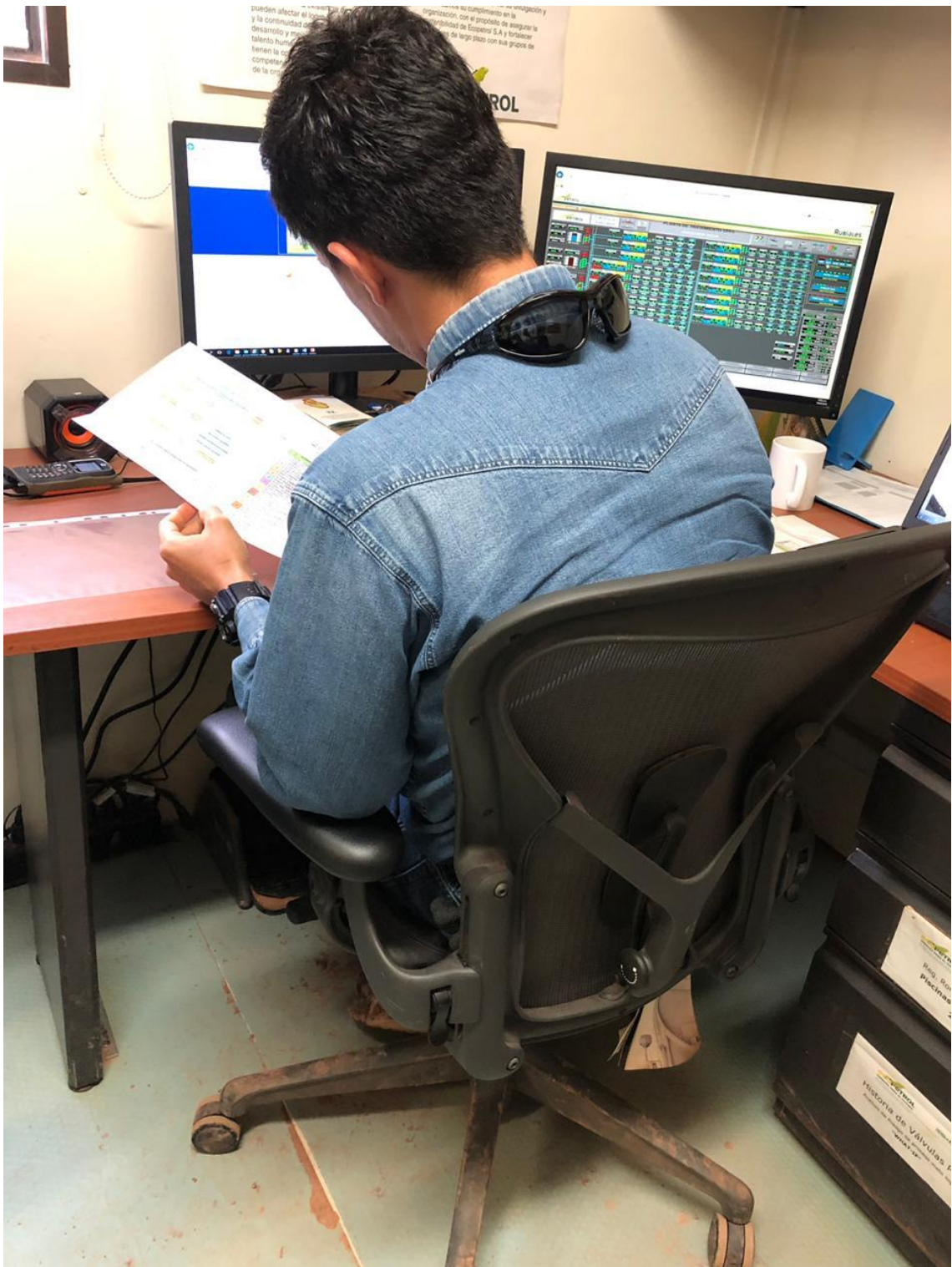
ANEXOS

ANEXO A.

FOTOGRAFÍAS DILIGENCIAMIENTO DE ENCUESTA.







**ANEXO B.
REGISTRO ENCUESTAS**

ENCUESTA

Califique las siguientes preguntas de 1 a 5 **Alberto Yepes Mendez** Supervisor CPF-2

- ¿Este modelo le brinda una solución clara y efectiva en el momento de presentarse una falla?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---
- ¿Qué tan claro califica el modelo?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---
- ¿El contenido de este modelo es suficiente para solucionar la contingencia presentada?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---
- ¿Qué tan útil le es la información suministrada?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---
- ¿Está de acuerdo en implementar este nuevo modelo?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---
- ¿la metodología propuesta le es de fácil entendimiento y aplicación?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---
- Que observaciones tiene para el modelo presentado es una ayuda al operador en momentos de emergencia (salida de equipos o plantas).

ENCUESTA

Califique las siguientes preguntas de 1 a 5

- ¿Este modelo le brinda una solución clara y efectiva en el momento de presentarse una falla?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---
- ¿Qué tan claro califica el modelo?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---
- ¿El contenido de este modelo es suficiente para solucionar la contingencia presentada?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---
- ¿Qué tan útil le es la información suministrada?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---
- ¿Está de acuerdo en implementar este nuevo modelo?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---
- ¿la metodología propuesta le es de fácil entendimiento y aplicación?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---
- Que observaciones tiene para el modelo presentado Dar de tener el documento en medio físico y Magnético. para tener en las áreas de operación.

ENCUESTA

Manrico Mendez Triguero
Operador de planta

Califique las siguientes preguntas de 1 a 5

1. ¿Este modelo le brinda una solución clara y efectiva en el momento de presentarse una falla?

1 2 3 ~~4~~ 5

2. ¿Qué tan claro califica el modelo?

1 2 3 ~~4~~ 5

3. ¿El contenido de este modelo es suficiente para solucionar la contingencia presentada?

1 2 3 4 ~~5~~

4. ¿Qué tan útil le es la información suministrada?

1 2 3 ~~4~~ 5

5. ¿Está de acuerdo en implementar este nuevo modelo?

1 2 3 ~~4~~ 5

6. ¿La metodología propuesta le es de fácil entendimiento y aplicación?

1 2 3 ~~4~~ 5

7. Que observaciones tiene para el modelo presentad Se podría contemplar que desde el CCO se tenga control de arranque de bombas piscina 002 ya que no se cuenta.

ENCUESTA

Juan Carlos Torres Giral
Operador de planta

Califique las siguientes preguntas de 1 a 5

1. ¿Este modelo le brinda una solución clara y efectiva en el momento de presentarse una falla?

1 2 3 4 ~~5~~

2. ¿Qué tan claro califica el modelo?

1 2 3 ~~4~~ 5

3. ¿El contenido de este modelo es suficiente para solucionar la contingencia presentada?

1 2 ~~3~~ 4 5

4. ¿Qué tan útil le es la información suministrada?

1 2 3 ~~4~~ 5

5. ¿Está de acuerdo en implementar este nuevo modelo?

1 2 3 4 ~~5~~

6. ¿La metodología propuesta le es de fácil entendimiento y aplicación?

1 2 ~~3~~ 4 5

7. Que observaciones tiene para el modelo presentad UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO MOSTRANDO EL MANEJO DE LA MECANICA.