

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS

EVALUACIÓN DE RIESGOS DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE UNA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO “SHUSHUFINDI-AGUARICO” MEDIANTE LA METODOLOGÍA HAZOP.

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN PETRÓLEOS

ALVARO SALOMÓN PILLANA PIMBO

alvaro.pillana@epn.edu.ec

Director: Mgtr. JOANA S. MARTÍNEZ V.

joana.martinez@epn.edu.ec

Co-Director: MSc. ÀLVARO V. GALLEGOS E.

alvaro.gallegos@epn.edu.ec

Quito, Junio 2020

DECLARACIÓN

Yo, Álvaro Salomón Pillana Pimbo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Álvaro Salomón Pillana Pimbo

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Álvaro Salomón Pillana Pimbo, bajo nuestra supervisión.

Mgr. Joana S. Martínez
DIRECTOR DEL PROYECTO

Msc. Álvaro V. Gallegos E.
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a María inmaculada, por la vida, el amor, la inteligencia y el valor para avanzar continuamente en cada paso y decisión realizada en mi vida.

A mis padres Zoilita y Salomón por su amor y apoyo incondicional, por ser mi luz, mi guía, y mi ejemplo de perseverancia. Gracias Papitos porque con su esfuerzo, paciencia y consejos he logrado alcanzar los objetivos propuestos.

A mis hermanos Marco, Rocío, Marcia, Sonia y Henry, por sus consejos y apoyo incondicional en cada decisión tomada, quienes en toda mi vida han sido padre y madre a la vez. Gracias por confiar en mí.

A la Ing. Paulina P, por todo su apoyo y confianza puesta en mí, a su familia por el soporte y ejemplo de bondad.

A los Ingenieros Joana Martínez y Álvaro Gallegos por su valiosa colaboración y dedicación, que contribuyó de manera significativa el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Anghelo Narváez, quien con su conocimiento y colaboración ha permitido la culminación de este trabajo.

A la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, a los Ingenieros Einsten Barrera y Marcelo Rosero mi gratitud con ustedes por la colaboración en la realización de este proyecto.

A la Escuela Politécnica Nacional, a la Facultad de Geología y Petróleos, a todos los docentes y amigos por los conocimientos compartidos y amor a la carrera.

DEDICATORIA

A mi padre, en el cielo. A pesar de su ausencia física, su presencia espiritual siempre me ha acompañado y ha sido mi luz y motivación constante.

A mi madre, mi ejemplo de amor, valor y lucha quien con su sacrificio ha puesto una semilla de valor en mi vida.

A mi abuelita María, que a sus cien años de edad, me sigue enseñando que la confianza en Dios y la perseverancia diaria es la base fundamental para cualquier objetivo propuesto en la vida.

A mis hermanos, a quienes Dios me ha permitido compartir y aprender de sus experiencias juntos.

Contenido

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	IX
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS	X
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
OBJETIVO GENERAL	XIV
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XIV
CAPITULO I	1
MARCO TEÓRICO.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL CAMPO SHUSHUFINDI-AGUARICO.....	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Ubicación Geográfica.....	1
1.2 SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA Y FACILIDADES	2
1.2.1 Descripción.....	2
1.2.1.1 Sistema Abierto.....	3
1.2.1.2 Sistema Cerrado.....	3
1.2.2 Facilidades de Reinyección	3
1.2.2.1 Tanque de Lavado	3
1.2.2.2 Tanque de Almacenamiento de Agua-Pulmón	3
1.2.2.3 Bombas Booster.....	4
1.2.2.4 Bombas de Reinyección	4
1.2.2.5 Válvulas y Tuberías	4
1.2.2.6 Pozos Re inyectores.....	4
1.3 RIESGO Y MÉTODOS DE ANÁLISIS	5
1.4 MÉTODO PHA (Process Hazard Analysis).....	6
1.4.1 Análisis de riesgos preliminar (PrHA).....	6

1.4.2	Qué pasaría si (What-if).....	7
1.4.3	Lista de Chequeo (Check List).....	8
1.4.4	Análisis de modos de fallo y sus efectos (FMEA)	8
1.4.5	Análisis de Árbol de fallos (FTA)	9
1.4.6	Análisis de árbol de suceso (ETA)	10
1.4.7	HAZOP (Hazard analysis and Operability)	10
1.5	SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA EL ANALISIS.....	11
1.6	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO SELECCIONADO	12
1.6.1	Introducción al HAZOP.....	12
1.6.2	Terminología	13
1.6.3	Descripción del Método	14
1.6.4	Información necesaria.....	14
1.7	DESARROLLO DE LA METODOLOGIA HAZOP	14
1.7.1	Organización del Equipo de Trabajo	14
1.7.2	Definición del Área de Estudio	16
1.7.3	Definición de los Nodos	16
1.7.4	Definición del proceso operativo (Intención de diseño).....	16
1.7.5	Selección de Parámetros y generación de una desviación	17
1.7.6	Identificación y tipos de causas	18
1.7.7	Escenarios y consecuencias (evaluación riesgo inicial)	19
1.7.8	Identificación y evaluación de riesgos.....	19
1.7.9	Salvaguardas	23
CAPITULO II		24
SITUACIÓN ACTUAL DEL CAMPO Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA HAZOP.		24
2.1	ESTADO ACTUAL DEL CAMPO	24
2.2	ESTADO ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE LA ESTACIÓN “X”	25
2.3	SISTEMA DE REINYECCIÓN DE LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO SHUSHUFINDI-AGUARICO	25
2.3.1	Facilidades de Reinyección de la Estación de Producción “X”	25
2.3.2.1	Nueva Bomba de Reinyección	26
2.3.2.2	Filosofía de Operación de la nueva Bomba de reinyección	27 ^o
2.4	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA HAZOP	27
2.4.1	Definición del Área de Estudio	27
2.4.2	Selección de Nodos.....	28
2.4.3	Descripción del Proceso Operativo e Intención de diseño	28

2.4.4 Selección de Parámetros y generación de una desviación	31
CAPITULO III	36
EVALUACIÓN DE RESULTADOS	36
3.1 RESULTADOS DEL ESTUDIO HAZOP	36
3.2 RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN.	40
CAPITULO IV	43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
4.1 CONCLUSIONES	43
4.2 RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
CAPITULO V ANEXOS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación Campo Shushufindi-Aguarico	2
Figura 1.2 Componentes Sistema de reinyección	5
Figura 1.3 Descripción Proceso “what if”	7
Figura 1.4 Proceso método FMEA	8
Figura 1.5 Esquema Árbol de Fallos	10
Figura 1.6 Diagrama de Flujo Hazop.....	15
Figura 1.7 Matriz de evaluación de riesgos.	22
Figura 2.1 Diagrama de flujo de Procesos-Sistema de Reinyección Campo Shushufindi-Aguarico	34
Figura 3. 1 Resumen de Ítems Evaluados-Tanque de Lavado	37
Figura 3. 2 Resumen de Ítems Evaluados-Tanque de Almacenamiento de Agua	37
Figura 3. 3 Resumen de Ítems Evaluados-Bombas Booster	38
Figura 3. 4 Resumen de Ítems Evaluados-Bombas Booster Existentes	38
Figura 3. 5 Resumen de Ítems Evaluados-Bombas Booster Existentes	39
Figura 3. 6 Número de eventos hallados.....	39
Figura 3. 7 Número de recomendaciones por Eventos.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Métodos y Aplicaciones para Análisis de Riesgos	11
Tabla 1.2 Términos usados en la metodología HAZOP	13
Tabla 1.3 Parámetros Generales y Específicos	17
Tabla 1.4 Palabras Guía Método Hazop.....	18
Tabla 1.5 Escala de consecuencias y escenarios.....	20
Tabla 1.6 Probabilidad de Ocurrencia	21
Tabla 1.7 Nivel de riesgo	22
Tabla 2.1 Estado de pozos y Producción-Campo Shushufindi-Aguarico.....	24
Tabla 2.2 Estado de pozos y Producción-Campo Shushufindi-Aguarico.....	25
Tabla 2.3 Características Bombas Booster- Sistema de reinyección de Agua.....	30
Tabla 2.4 Características Bombas HPS - Sistema de reinyección de Agua.....	31
Tabla 2.5 Generación de desviaciones.....	32
Tabla 2.6 Procedimiento HAZOP-Identificación Causas, Consecuencias, Salvaguardas (Nodo 2-Desviación 2)	35
Tabla 3. 1 Prioridad de acuerdo al nivel de riesgo	40

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I: Lista De P&Id's	52
ANEXO II: P&Id'S Y Nodos Identificados	54
ANEXO III: Tablas De Desviaciones Indentificadas-Causas, Consecuencias, Salvaguardas	66
ANEXO IV: Recomendaciones Para Cada Desviación	88

SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

Simbología	Descripción.
BFPD	Barriles de fluido por día.
BPPD	Barriles de petróleo por día.
BAPD	Barriles de agua por día.
ETA	Análisis de árbol de eventos.
FMEA	Análisis de modos y efectos de fallas.
HAZOP	Análisis de riesgos y operatividad.
PHA	Análisis de procesos de riesgo.
PrHA	Análisis preliminar de riesgos.
LI	Indicador de nivel.
LIC	Indicador controlador de nivel.
FALL	Alarma de muy alto flujo
FAL	Alarma de alto flujo
LAL	Alarma de bajo nivel.
LAH	Alarma de alto nivel.
LT	Transmisor de nivel.
SDV	Válvula de paro automático.
LIT	Transmisor indicador de nivel.
LT	Transmisor de nivel.
LCV	Válvula de control de nivel.
PAH	Alarma de alta presión.
PAL	Alarma de baja presión.
PSV	Válvula de seguridad y alivio.
PCV	Válvula de control de presión.
PC	Controlador de presión.
TCV	Válvula controlador de temperatura.
PIC	Indicador controlador de presión.
C	Nivel de Consecuencia.
PO	Probabilidad de ocurrencia.
N	Nivel de riesgo.

RESUMEN

El sistema de reinyección agua de la estación de producción “x” del campo Shushufindi-Aguarico, maneja alrededor de 40.000 BAPD, debido al incremento de los trabajos de reacondicionamiento en los pozos productores, su producción incrementará en los próximos años, por lo que es necesario implementar una nueva bomba de alta presión la cual suplirá la capacidad de bombeo a futuro.

En este trabajo con la aplicación de la metodología HAZOP se identificó los riesgos operativos existentes. Esta herramienta nos permite generar desviaciones que se pueden dar con respecto a las variables o procesos normales de operación de cada equipo que compone el sistema de Reinyección de Agua.

Se procedió a seleccionar los nodos de procesos para el estudio e identificar las variables existentes en cada uno de ellos. La metodología inició generando una tabla de desviaciones con cada una de las variables en conjunto con el uso de palabras guía, que es parte de esta metodología. Luego se identificó las causas y consecuencias como resultado de la generación de desviaciones, para luego de un análisis identificar las salvaguardas existentes y evaluar cada una de ellas mediante la matriz de riesgos seleccionada para este estudio. Finalmente, a cada nivel de riesgo encontrado se elaboró recomendaciones y acciones necesarias para disminuir o mitigar el nivel de riesgo respectivamente.

Palabras clave: Análisis de riesgo, desviaciones, nodos, Hazop, matriz de riesgos, reinyección.

INTRODUCCIÓN

La industria Petrolera a nivel mundial no ha estado exenta de la ocurrencia de eventos que se han suscitado a lo largo del tiempo ya sea por incumplimiento en las normas de seguridad, fallas de operación o diseño no eficiente de las instalaciones y falta de personal capacitado (Siserova, 2016). Muchos de estos accidentes laborales y de operabilidad se han suscitado en estaciones de producción donde se realiza el tratamiento del crudo que viene de las áreas de explotación, para luego iniciar con otros procesos como separación, deshidratación, almacenamiento, bombeo, inyección, reinyección, entre otros (Chávez, 2016).

Desde el inicio de la explotación petrolera, han ocurrido eventos que han causado daños a nivel humano, material y ambiental ya que en las instituciones no se contaba con herramientas y metodologías necesarias que permitan resguardar la integridad del personal, instalaciones y el entorno en general. Por otra parte, un estudio realizado entre los años 2014 y 2016 sobre accidentes en la industria petrolera, se notificó 173 accidentes de trabajo en edades comprendidas entre los 18 y 49 años en las provincias de Morona Santiago, Napo, Orellana, Pastaza y Sucumbíos, siendo también entre las de mayores tasas de mortalidad en la región amazónica (Ortiz, 2017). En consecuencia a lo expuesto, la empresa Petroamazonas EP, con el propósito de disminuir la probabilidad de ocurrencia de incidentes, ha venido realizando el análisis de riesgos y peligros para las diferentes unidades y estaciones que intervienen en el proceso de producción de hidrocarburos, analizando tanto la parte operativa y de instrumentación de las instalaciones con el propósito de mejorar los niveles de seguridad laboral y contribuir al cuidado del personal, medio ambiente y a la normal ejecución de los trabajos bajo los estándares establecidos por SSA (Petroamazonas EP, 2016).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante el tiempo de producción de un campo petrolero, se van desarrollando varios trabajos de modificación, rediseño y acoplamientos acorde a las necesidades que suscitan a lo largo de la producción de hidrocarburos (Morales, 2014). Dentro de la estación de producción del campo Shushufindi-Aguarico a causa de los trabajos de perforación y workover realizados en el área de influencia de la estación, se ha incrementado la producción de crudo, agua y gas a ser tratados; por lo cual se instalará una bomba adicional de reinyección de agua con una capacidad nominal de 15.000 BAPD, resultando una capacidad final total de 71.000 BAPD. Se ve la necesidad de implementar una nueva bomba de alta presión para su sistema de reinyección, lo que conlleva a una modificación en el sistema actual y la necesidad de realizar un análisis de riesgos. Se debe considerar que el sistema de reinyección en la industria petrolera es de gran capacidad, por lo cual está expuesto a la ocurrencia de eventos o sucesos inesperados como explosiones, fugas, daños en los equipos, averías y rompimientos en los sistemas de tuberías lo que puede llevar a afectaciones del personal, contaminación ambiental, disminución de producción y tiempos no productivos.

El análisis de riesgos es una parte fundamental en la construcción y operatividad de las instalaciones industriales, ya que involucra la investigación de desviaciones de los parámetros de diseño o propósito de un proceso en varios puntos claves de todo el proceso, buscando así a través de la aplicación de medidas de control, garantizar la seguridad del personal e integridad de los equipos que conforman las instalaciones (Narváez, 2018).

En consecuencia, debido a que en el sistema de reinyección se manejarán altos caudales, presiones, temperaturas y otras variables que pueden ser causa de una desviación en los procesos, es necesario realizar un análisis para la identificación de estas variables mencionadas y las que se pueda considerar como análisis, para luego caracterizar cada uno de ellos y tomar las medidas de salvaguarda necesarias. Destacando que el tipo de herramienta eficiente que cumple con las

características mencionadas para implementar un plan de control de riesgos es la metodología HAZOP (Hazard and Operability) y es la herramienta seleccionada para este análisis.

OBJETIVO GENERAL

Analizar los riesgos de Operatividad para el proyecto de ampliación de un sistema de reinyección de agua de una Estación de Producción del campo Shushufindi-Aguarico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las zonas y el área de estudio para aplicación de la metodología.
- Identificar procesos normales de operación y los puntos críticos de estudio (Nodos).
- Evaluar los procesos y nodos de estudio con respecto a los parámetros normales de operación.
- Elaborar una Matriz de riesgos y proponer medidas de control necesarias.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL CAMPO SHUSHUFINDI-AGUARICO

1.1.1 Antecedentes

El campo Shushufindi-Aguarico fue descubierto en 1968 por la compañía Texaco-Gulf, siendo el primer pozo exploratorio el Shushufindi 1, llegando a una profundidad de perforación de 9772 pies. La producción del campo empezó en agosto de 1972 con 2469 BPPD hasta llegar a su pico de producción de 126.400 BFPD en 1986 (Santillán, 2016).

El campo ha producido de cinco reservorios que son, “T Inferior”, “T Superior”, “U Inferior” y “U Superior” correspondientes a la Formación Napo, “Basal Tena” de la Formación Tena y “Hollín Superior” de la Formación Hollín. Al inicio de sus operaciones se denominó como el campo Shushufindi, pero por un bajo estructural que está presente entre Shushufindi y Aguarico, se pensó que eran dos campos distintos, y a causa de la continuidad de los yacimientos con la aproximada similitud de los cierres se determinó que es un solo campo, Shushufindi-Aguarico (Morillo, 2019).

1.1.2 Ubicación Geográfica

El campo Shushufindi-Aguarico se encuentra ubicado en la cuenca Oriente Ecuatoriana, en la provincia de Sucumbíos, Cantón Shushufindi, geográficamente está localizado a 250 km al este de la ciudad de Quito y 35 km de la frontera con Colombia (Farinango, 2019). Fig. 1.1

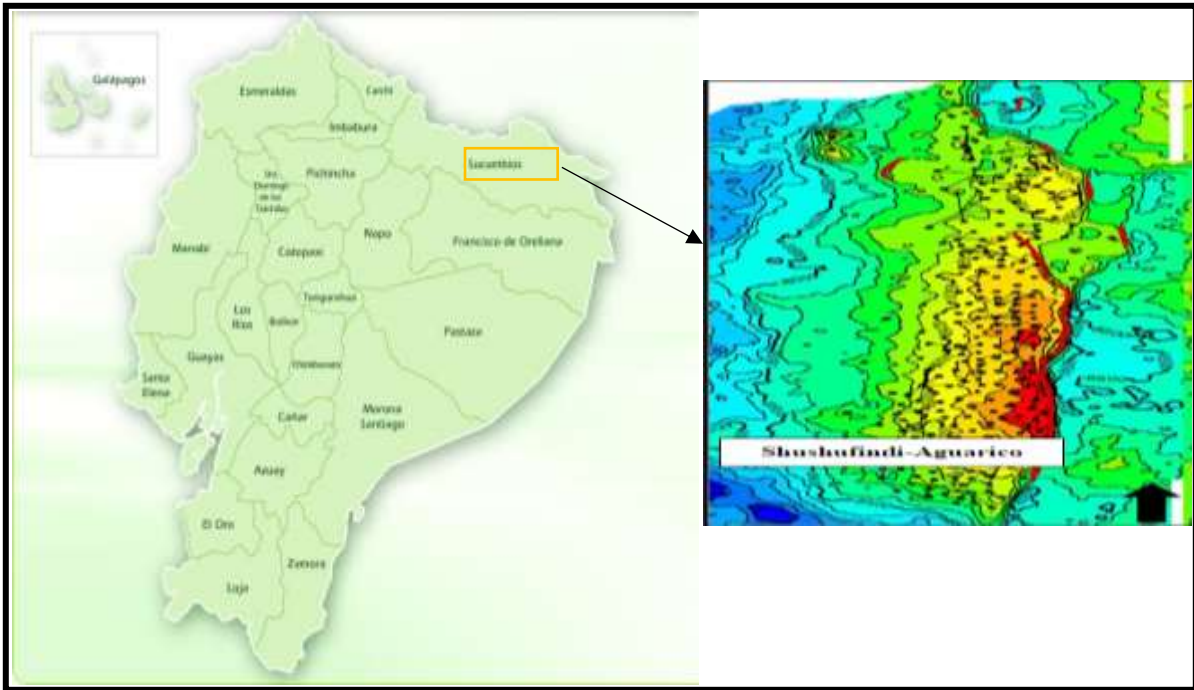


Figura 1.1 Ubicación Campo Shushufindi-Aguarico

Fuente: Santillán, 2016
Modificado por: Álvaro Pillana, 2020

Geológicamente, se encuentra en el corredor “Sacha-Shushufindi” en la Cuenca Oriente del Ecuador, limitado al Noreste del Campo Libertador, al Sur Oeste del campo Sacha y al Sur el campo Limoncocha.

1.2 SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA Y FACILIDADES

1.2.1 Descripción

Se denomina sistema de reinyección de agua a todas las operaciones y equipos requeridos para el tratamiento y bombeo del agua de formación hacia los pozos reinyectores. Esto contempla una serie de instalaciones que pretenden mejorar la calidad del agua y prolongar la vida útil de tuberías, accesorios, tanques, bombas y arenas receptoras (Carillo, 2008). Entre los sistemas de reinyección existentes tenemos los siguientes:

1.2.1.1 Sistema Abierto

Se lo define como el almacenamiento del agua en piscinas de concreto de gran tamaño para el agua recolectada por perforación y reacondicionamiento de los pozos. Estas piscinas se encuentran expuestas totalmente al oxígeno del aire, lo que da lugar a una problemática en las líneas de flujo, equipos de superficie y de fondo, ocasionando la proliferación de microorganismos, incrustaciones, corrosión de tuberías y equipos, etc. (Landázuri, 2015)

1.2.1.2 Sistema Cerrado

En este sistema no existe el contacto con el oxígeno, lo que hace más fácil el tratamiento del agua que a su vez alarga la vida útil de las facilidades de superficie como también de las líneas de flujo (Santillán K, 2016). El tratamiento se lo hace por medio del proceso de reinyección efectuada en la estación de producción a donde llega el petróleo crudo.

1.2.2 Facilidades de Reinyección

1.2.2.1 Tanque de Lavado

Tiene como objeto separar al hidrocarburo del agua mediante un proceso continuo. El tanque de lavado recibe directamente el crudo-agua de la bota para ser separados mediante gravedad, cuando ingresa se hace circular por medio de canales conformados por baffles, lo que permite que el agua contenida en el petróleo y por diferencia de densidades sea depositada en la parte inferior del tanque permitiendo que el petróleo alcance el nivel más alto y rebose hasta el tanque de surgencia y/o almacenamiento (libre de agua y gas), para de esta manera cumplir con las especificaciones exigidas y ser transportado por oleoductos (Ramos, 2014).

1.2.2.2 Tanque de Almacenamiento de Agua-Pulmón

El agua de formación que se genera en el tanque de lavado, es dirigida hacia otro tanque de almacenamiento para agua de formación, y luego ser bombeado y reinyectado para su confinamiento final en el pozo de reinyección seleccionado (Ramos, 2014).

1.2.2.3 Bombas Booster

El sistema de bombas Booster tiene la función de optimizar la tubería de descarga de cada una de las bombas que lo componen en su totalidad, además de elevar la presión del agua de formación proveniente de los tanques de almacenamiento de una presión de 5.5 PSI hasta una presión de 50 PSI aproximadamente, con el objetivo de cumplir y sobrepasar la presión de succión requerida por las bombas de reinyección (Yanchapaxi, 2010).

1.2.2.4 Bombas de Reinyección

Se denomina bomba de reinyección a una bomba centrífuga horizontal multi-etapa y a un motor eléctrico horizontal el cual impulsa al eje de la bomba. El sistema de bombas disposal también llamado “Sistema de inyección” cumple la función de elevar la presión del agua de formación desde 50 PSI hasta una presión de 2600 PSI para poder inyectar el agua sin problema en los pozos de reinyección (Yanchapaxi, 2010).

1.2.2.5 Válvulas y Tuberías

Las válvulas se emplean para iniciar, detener y controlar la cantidad de fluido, mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos, mientras que la tubería es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos desde un sistema a otro (Yanchapaxi, 2010).

1.2.2.6 Pozos Re inyectoros

Generalmente se utiliza los pozos productores que han salido de operación y en los que se realiza los trabajos de reacondicionamiento para convertirlos en pozos re inyectoros de agua. También se puede planificar la construcción de los pozos con la finalidad de reinyectar el agua de formación proveniente de las plataformas (Yanchapaxi, 2010).

El sistema de reinyección y los componentes descritos anteriormente se observa en la figura 1.2 que se ilustra a continuación:

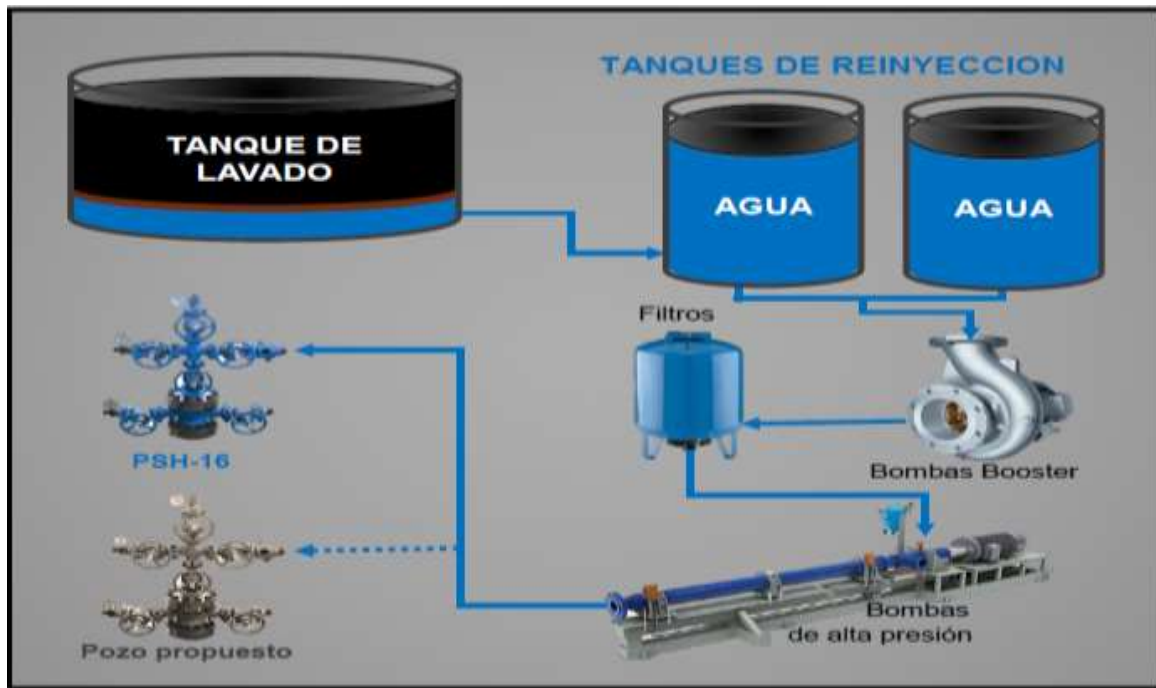


Figura 1.2 Componentes Sistema de reinyección

Fuente: Landázuri, 2015

1.3 RIESGO Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

La probabilidad de que ocurra un accidente y sus consecuencias, se conoce como riesgo, y es importante ser analizado como parte fundamental en la construcción y operatividad de las instalaciones industriales, buscando que garantice la seguridad del personal e integridad de los equipos que conforman las instalaciones (Narváez, 2018).

Los métodos de análisis de riesgos son técnicas empleadas para evaluar riesgos de un proyecto o proceso, ayudándonos a tomar decisiones que permiten implementar medidas de prevención para evitar peligros potenciales o reducir su impacto (Calle, 2018).

Es de gran importancia la selección del método adecuado de análisis y evaluación, ya que estos nos ayudan en el estudio que se realiza, dependiendo si se lo efectúa al

inicio, durante, o al término de un diseño de ingeniería, también implica en las modificaciones de un sistema y en la revisión de sistemas en operaciones.

1.4 MÉTODO PHA (Process Hazard Analysis)

A lo largo de los años se han desarrollado un gran número de técnicas y métodos para identificar y evaluar los peligros asociados a sistemas o procesos industriales, las cuales reciben el nombre genérico de métodos PHA (Freedman, 2003).

La metodología de análisis de riesgos PHA (Análisis de los peligros de un proceso), es un método sistemático y estructurado, que se ha convertido en un estándar de la industria a nivel mundial, siendo una parte fundamental en el análisis de riesgos de las instalaciones industriales, ya que engloba una serie de técnicas que permiten la detección, identificación y valoración de peligros, con el objetivo de determinar aquellas modificaciones que minimizan sus efectos, o en su defecto controlarlos (Puerta, 2007).

Un estudio PHA ayuda a gestionar el riesgo de una instalación a lo largo del todo el ciclo de vida de la misma, ayudando a identificar deficiencias en el diseño antes de que la unidad se construya u opere (Puerta, 2007). El propósito de estas actividades realizadas dentro de estos procesos son los siguientes:

- Identificar y valorar cualitativa y/o cuantitativa los peligros asociados a los sistemas/ procesos que pueden tener consecuencias no deseadas.
- Evaluar la efectividad de las medidas de seguridad existentes.
- Recomendar y, en caso de ser aprobado, implementar las modificaciones necesarias para eliminar o, en su defecto, controlar los peligros identificados.
- Realizar el seguimiento del estado de las modificaciones propuestas.

A continuación se describe los métodos más representativos:

1.4.1 Análisis de riesgos preliminar (PrHA)

Este método evalúa los peligros en la etapa de ingeniería conceptual del proyecto, ya que no es necesario terminar el diseño de la planta a detalle para evaluar peligros en

una etapa temprana. Con este análisis se obtiene una idea de los peligros asociados,- para indicar las áreas donde es recomendable realizar estudios posteriores más detallados (Puerta, 2007).

Luego de este análisis por lo general se procede a realizar los métodos más detallados como el FMA y HAZOP que evalúan un amplio rango de peligros y se utiliza a partir de la ingeniería básica.

1.4.2 Qué pasaría si (What-if)

Es una técnica que representa un método inductivo utilizando información específica de procesos, con el fin de generar una serie de preguntas pertinentes en todo el tiempo de vida de la instalación, en cambios de procesos y cambios de procedimientos de operación (Ramos, 2016). La información que se utiliza es de los procesos P&ID (Diagram of Piping and Instrumentation) para generar una especie de preguntas de lista de verificación. En la figura 1.3 se observa el proceso detallado a seguir para la ejecución de esta metodología.

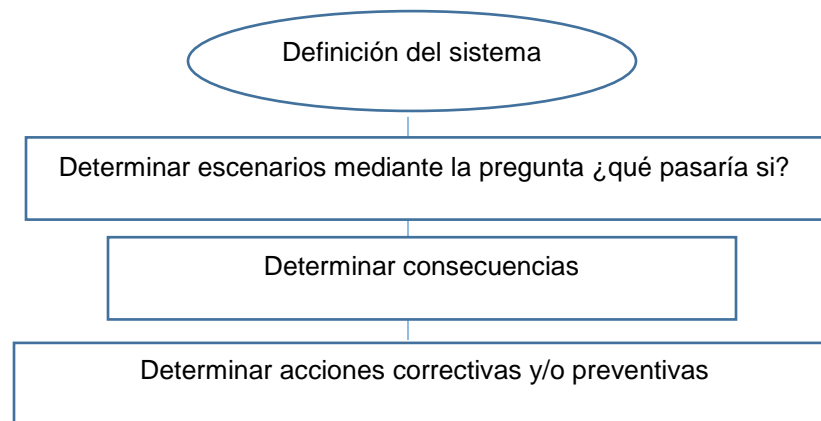


Figura 1.3 Descripción Proceso “what if”

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

Esta técnica es muy eficaz en las etapas de diseño y cambios de un proceso, durante el tiempo de vida, tiempo de operación de una instalación y cambio a los procedimientos de operación.

Según Ramos (2016), se toman en cuenta tres aspectos importantes en la realización de esta técnica:

- Identificar las condiciones y situaciones peligrosas.
- Identificar eventos que pueden provocar eventos mayores.
- Recomendar las situaciones para iniciar el proceso de reducir los riesgos en la operabilidad de la misma.

1.4.3 Lista de Chequeo (Check List)

Esta herramienta es usada para confirmar que los procesos de análisis y riesgos se están ejecutando. Este proceso consiste en llevar una lista con todos los riesgos identificados y sus recomendaciones correspondientes.

La lista aplica para procesos, modificaciones o cambios que originen peligro en las operaciones, se puede utilizar de una manera sencilla y sin complicaciones ya que no es necesario la experiencia para dar seguimiento a las actividades que no sean pasadas por alto y generen un peligro (Juárez, 2014).

1.4.4 Análisis de modos de fallo y sus efectos (FMEA)

Este método consiste en identificar, clasificar y eliminar las fallas de los proyectos o de los procesos antes de que estos ocurran (Calles, 2018). El análisis empieza identificando las posibles fallas para luego clasificar cada una de ellas, y esto se realiza en base a criterios de frecuencia, gravedad y detección.

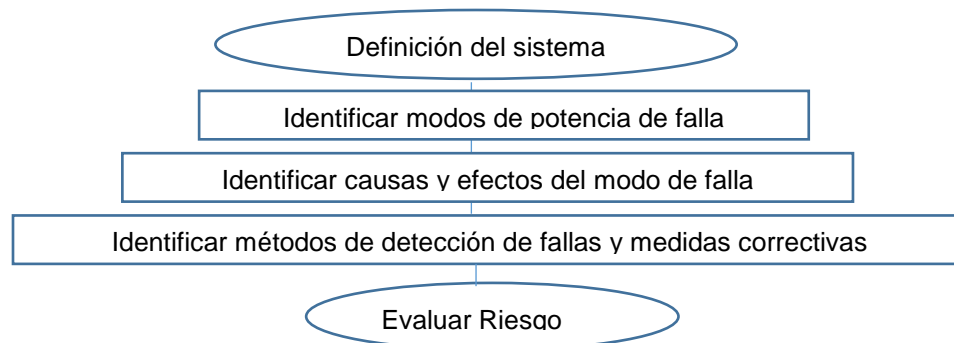


Figura 1.4 Proceso método FMEA

Elaborado por: Álvaro Pillana

La identificación de los riesgos se realiza con una lluvia de ideas con el equipo de las diferentes áreas de la planta, aquí se enumeran todos los posibles problemas que se pueden suscitar durante el proceso. La determinación de la forma crítica de cada riesgo está en base a la probabilidad de ocurrencia, gravedad de ocurrencia y la posibilidad de detección de ocurrencia (Juárez, 2014).

Por último se decide el procedimiento a realizar, como la adopción de medidas para reducir o eliminar los riesgos, tomando en cuenta que no todos los análisis de riesgos deben dar lugar a acciones de reducción de riesgos (Salazar, 2019). En la figura 1.4 se detalla un esquema del procedimiento básico del método explicado.

1.4.5 Análisis de Árbol de fallos (FTA)

Es un método deductivo de análisis que pretende evitar un suceso o evento no deseado, sea de gran magnitud o de menor importancia para averiguar en ambos casos los orígenes de los mismos (ITSA, 2013). Para representar las combinaciones de las situaciones que pueden dar lugar a la producción del evento a evitar, se sigue un procedimiento sistemático y lógico de tal manera que cada suceso este generado a partir de sucesos del nivel inferior, siendo el nexo de unión entre niveles la existencia de operadores o puertas lógicas. (Ver figura 1.5)

El árbol de fallas se desarrolla en sus distintas ramas hasta alcanzar una serie de sucesos básicos, también alguna rama puede alcanzar un suceso no desarrollado en otros, sea por falta de información o poca utilidad de analizar las causas que lo producen (INSHT, 1990).

El análisis de árbol de fallas es determinante para el análisis de procesos complejos y con un alto grado de redundancia. Se utiliza con frecuencia cuando existe un estudio anterior como el HAZOP en donde se hayan identificado eventos peligrosos y requieran un análisis más exhausto para identificar la causa. El resultado de un FTA es un diagrama de compuertas lógicas booleanas que detallan la combinaciones de situaciones que puedan causar un evento peligroso (Narváez, 2018).

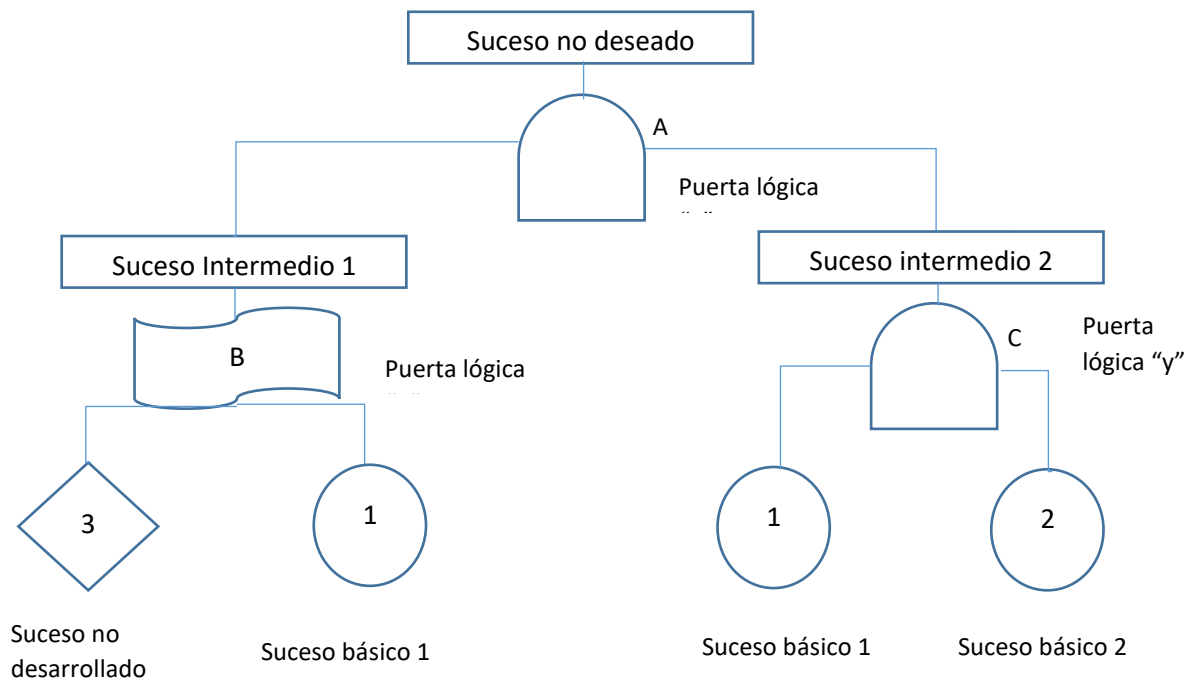


Figura 1.5 Esquema Árbol de Fallos

Fuente: Juárez M, 2014.

1.4.6 Análisis de árbol de suceso (ETA)

Es un procedimiento inductivo mediante el cual se muestran todas las posibles consecuencias de un evento o riesgo de seguridad en particular teniendo en cuenta las posibles consecuencias de que fallen las salvaguardas que impiden que se produzcan (Villagómez, 2010).

La herramienta es utilizada para analizar las consecuencias que conlleva la ocurrencia del evento no deseado. Una vez identificada las consecuencias y su tendencia, el proyecto se centrara en encontrar medidas que la mitiguen (Sánchez, 2018).

1.4.7 HAZOP (Hazard analysis and Operability)

Esta metodología consiste en analizar sistemática y metódicamente el proceso, operación, acción humana, ubicación de los equipos y personal de las instalaciones, con el fin de identificar situaciones riesgosas presentes. HAZOP es una técnica multidisciplinaria de análisis de seguridad y operabilidad que se basa en la premisa de

que, un peligro puede ocurrir a causa de las desviaciones de las variables o parámetros característicos de un proceso con respecto a los parámetros de operación normal o su intento de diseño (DEKRA, 2015).

Consiste en encontrar todas las desviaciones posibles de un proceso en una instalación, sistema o subsistema en análisis y las consecuencias que puede surgir de cada una de estas. El estudio de estos peligros y riesgos identificados implica determinar su severidad y probabilidad de ocurrencia para luego realizar recomendaciones con el objetivo de prevenir o reducir aquellas situaciones peligrosas encontradas (Chávez, 2016).

1.5 SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA EL ANALISIS

Para cumplir con el propósito de identificar, prevenir, y reducir eventos que atenten y generen daños en la parte humana, equipos, operaciones, ambiente y perjuicios económicos que se suscitan, se debe seleccionar el adecuado método que nos ayude a examinar sistemáticamente las interacciones entre las personas y el equipo, con el fin de identificar riesgos y peligros presentes que no han sido detectados en las instalaciones y necesitan un análisis minucioso. A continuación en la tabla 1.1 se muestra un resumen de las herramientas antes mencionadas para la identificación y evaluación de riesgos y peligros con sus características correspondientes.

Tabla 1.1 Métodos y Aplicaciones para Análisis de Riesgos

TABLA DESCRIPTIVA	
MÉTODOS	APLICACIÓN
What-if/Check list	Identifica de forma cualitativa gran variedad de peligros de los procesos/sistemas con niveles bajos de peligrosidad.
PrHA	Nos proporciona una idea general de los peligros de un proceso a través de la realización de una clasificación de los mismos.
FMEA	Identifica los modos en los que pueden fallar los componentes del equipo eléctrico y mecánico.

Continuación de la tabla:

FTA	Determina de forma gráfica, las causas y la probabilidad de que suceda un accidente o suceso importante (top event) en un sistema complejo.
ETA	Determina de forma gráfica, las consecuencias (secuencias de efectos posteriores al accidente) de un accidente o suceso (suceso iniciador) en un sistema complejo.
HAZOP	Identifica los peligros y los problemas de operabilidad de procesos con alto nivel de peligro.

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

Fuente: Guía para la selección y aplicación de técnicas PHA

Una vez descrito los métodos anteriores y con un análisis bibliográfico pertinente, se elige la metodología HAZOP como herramienta de evaluación en este trabajo. A diferencia de las otras herramientas de evaluación, Hazop presenta un grado más estructurado y sistemático que permite ser ejecutado en cualquier etapa de ingeniería, sea conceptual, básica o detalle. Es adaptable a la mayor parte de operaciones de las industrias de procesos por sus exitosos resultados en la identificación de riesgos y peligro en las industrias, químico, nuclear y petrolero, así como también en campos ecuatorianos. Finalmente, esta metodología nos proporciona información con una matriz de riesgos que nos ayuda a evaluar para encontrar medidas de control necesarias y no necesita una alta experiencia ni grandes recursos a excepción del tiempo y la dedicación para implementarlo.

1.6 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO SELECCIONADO

1.6.1 Introducción al HAZOP

El método surgió en 1963 en la compañía Imperial Chemical Industries en el Reino Unido, desarrollado para el estudio de procesos químicos y empleada ampliamente después del desastre de Flixborough, accidente que tuvo como consecuencia víctimas mortales, quienes en su mayoría fueron personas que vivían en la cercanía de la planta. Posteriormente la herramienta fue perfeccionando con intercambios generales de ideas, para luego ser aplicada en la industria del petróleo, que tiene un potencial

similar de grandes desastres (Juárez, 2104). Se generalizó y formalizó, siendo actualmente una de las herramientas más utilizadas internacionalmente en la identificación de riesgos en una instalación industrial.

1.6.2 Terminología

Se puede mencionar los siguientes términos descritos en la tabla 1.2, los cuales son característicos de este método de estudio:

Tabla 1.2 Términos usados en la metodología HAZOP

TERMINOLOGÍA	
TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
NODOS	Selección de la ubicación (diagramas P&ID, LAY OUT, etc.) en los que se investigan los parámetros del proceso para detectar desviaciones.
INTENTO DE DISEÑO	Rango de comportamiento deseado o especificado por el diseñador para elementos y características propios del sistema.
DESVIACIÓN	Desvíos de la intención de diseño, que se descubren aplicando las palabras guía.
PALABRA GUÍA	Palabras que se utilizan para calificar o cuantificar la intención de diseño con el fin de guiar y descubrir las desviaciones.
CAUSAS	Razones porque las desviaciones ocurren. Una vez que se ha demostrado que una desviación tiene una causa creíble, puede tratarse como una desviación significativa. Estas causas pueden ser fallas operacionales, errores humanos, un estado de proceso no anticipado, etc.
CONSECUENCIAS	Resultados de las desviaciones en caso de que ocurran.
SALVAGUARDAS	Facilidades para ayudar a reducir la frecuencia de ocurrencia de las desviaciones o mitigar estas consecuencias.

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2019

Fuente: Rausand, 2011

1.6.3 Descripción del Método

Esta técnica utiliza palabras clave o palabras guía, que aplicadas a los parámetros de proceso establecidos en el sistema de estudio dan lugar a desviaciones de la intención- o condición normal de proceso (Juárez, 2014). Una vez determinadas las desviaciones de las variables de proceso, se determina la lista de posibles causas que la provocan, el escenario que se puede derivar y sus consecuencias. Seguido, se procede a indicar las salvaguardas existentes o necesarias para las consecuencias y causas-identificadas. Una vez realizado estos procedimientos se evalúa y se halla el nivel de riesgo de acuerdo a la matriz para evaluación de riesgos seleccionada, y finalmente se procede a elaborar las recomendaciones necesarias que ayudarán a disminuir el nivel de riesgo encontrado y las responsabilidades para cada acción recomendada (Chávez, 2016). En la figura 1.6 se muestra un diagrama de flujo con los procedimientos que se realiza para esta metodología.

1.6.4 Información necesaria

La calidad del análisis HAZOP dependerá de la calidad y cantidad disponible de información que obtengamos. Según REPSOL YPF, y su guía sobre estudios PHA establece los elementos documentales que pueden llegar a ser necesarios para realizar un estudio HAZOP, y estos son:

- DIAGRAMAS P&ID
- PLANO LAY OUT, plano de la implantación de la instalación.
- DESCRIPCION DEL PROCESO/FILOSOFIA DE OPERACIÓN.
- DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO.

1.7 DESARROLLO DE LA METODOLOGIA HAZOP

1.7.1 Organización del Equipo de Trabajo

El desarrollo de la metodología HAZOP, se somete al trabajo en equipo y exigencias organizativas, el mismo que debe estar integrado por especialistas de cada área, con el propósito de generar varios puntos de vista sobre el análisis (Repsol, 2007).

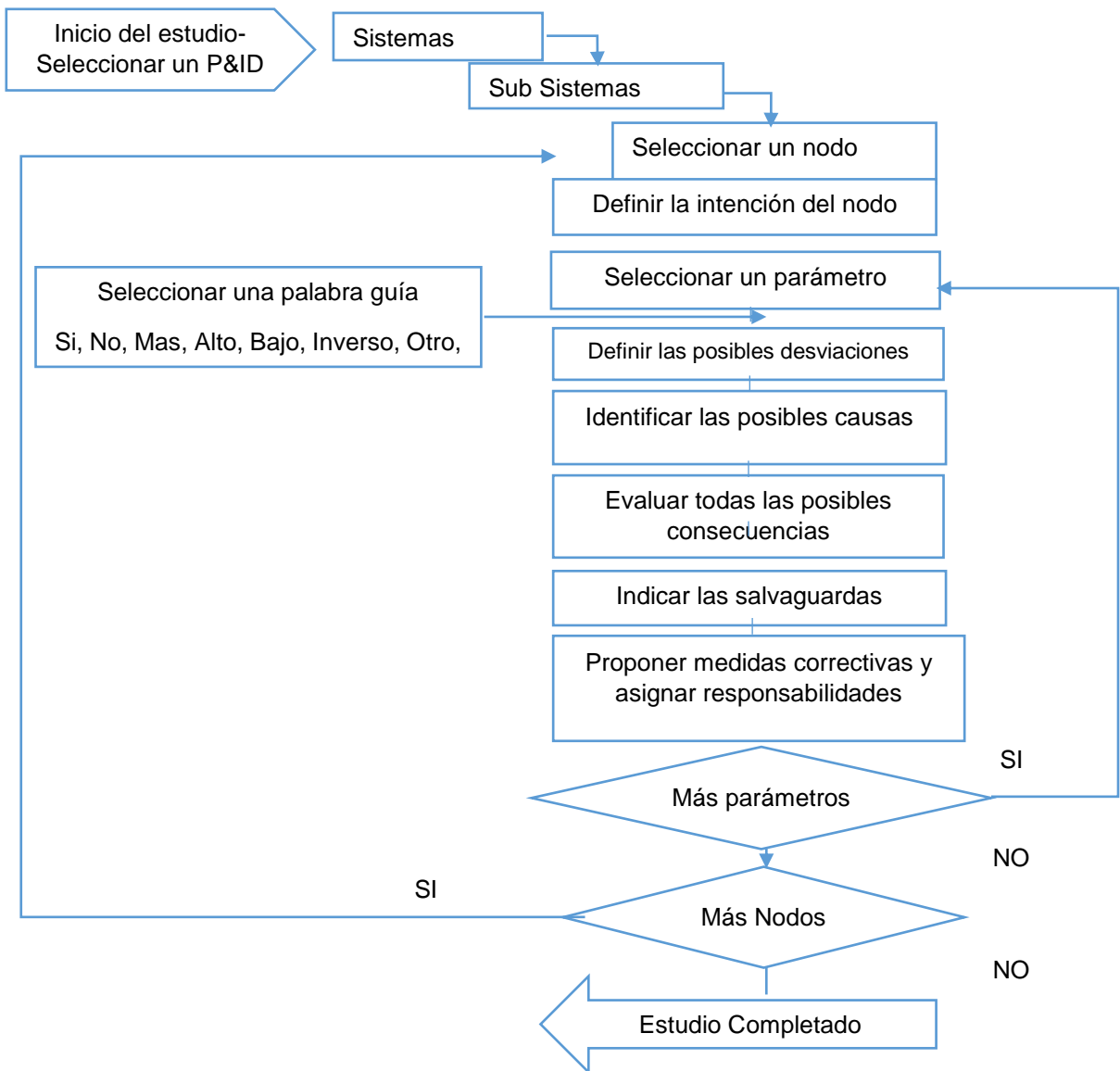


Figura 1.6 Diagrama de Flujo Hazop

Fuente: Fuentes, et al. 2017

El proyecto debe ser dirigido por una persona líder y con experiencia en este método, el cual debe iniciar con la revisión del diseño, para determinar qué información está disponible y que habilidades son requeridas de todos los miembros del equipo, el número normal será de 5 a 8 participantes distribuidos en las distintas áreas (Narváez, 2018).

También debe desarrollar un programa de actividades que refleja los límites del proyecto, para permitir cualquier recomendación se lleve a cabo de una manera oportuna.

Generalmente un equipo está formado por especialistas de:

- procesos
- instrumentación
- mecánica
- electricidad y operaciones
- mantenimiento
- seguridad y medio ambiente

1.7.2 Definición del Área de Estudio

Se basa en delimitar las áreas a las cuales se aplica la técnica en una determinada instalación de proceso, considerada como el área de objeto de estudio. Para mayor comodidad se definen una serie de subsistemas o líneas de proceso que corresponden a entidades funcionales propias: líneas de carga a un depósito, separación de disolventes, reactores etc.

1.7.3 Definición de los Nodos

Para la metodología de estudio, el proceso debemos dividirlo en partes llamados NODOS, estos pueden ser en el sistema completo o instalación, subsistemas y estaciones de flujo (Rausand, 2011). Cada nodo debe ser identificado y numerado correlativamente dentro de cada subsistema y, para mejor comprensión y comodidad, en el sentido del proceso, cada uno debe caracterizado por variables de proceso: presión, temperatura, caudal, nivel, composición, viscosidad etc.

1.7.4 Definición del proceso operativo (Intención de diseño)

La intención del diseño puede estar relacionada con la descripción de los procesos y, por lo tanto, con los parámetros de diseño del equipo. No solo se refiere al equipo de la planta, sino que cubre lo que se pretende hacer dentro de la sección que se analiza.

El líder HAZOP es el encargado de asignar una intención de diseño, es decir a cada nodo se le agrupa cada uno de los parámetros particulares de proceso utilizados y

deben ser numerados para mejor comprensión y comodidad en el sentido de la técnica (Repsol, 2007).

1.7.5 Selección de Parámetros y generación de una desviación

Para cada nodo se propone considerar parámetros que ayuden en la identificación de las posibles desviaciones respecto a la operación normal establecida en la ingeniería (tabla 1.3). Entre los específicos y generales, los primeros se trata de variables que pueden ser medidas o detectadas y describen ciertos aspectos físicos del proceso, estos pueden llevar al proceso a una condición peligrosa en ausencia de salvaguardas. Los parámetros generales originan una condición peligrosa cuando ciertas situaciones son negadas o modificadas cualitativamente (Crawley, et al., 2003).

Para los parámetros de proceso seleccionados se pueden identificar las desviaciones utilizando una serie de palabras guía. Para generar las desviaciones combinando las palabras guía con los parámetros de proceso podemos optar por lo siguiente:

$$\text{Palabra guía} + \text{Parámetro} = \text{Desviación}$$

Se pueden probar variaciones del conjunto estándar o agregar otras a la lista según como sea necesario. Algunas compañías han desarrollado su propio conjunto de guías para tecnologías particulares (Repsol, 2007).

Tabla 1.3 Parámetros Generales y Específicos

PARÁMETROS	
ESPECÍFICOS	GENERALES
Flujo	Adición
Nivel	Agitación
Presión	Circulación
Temperatura	Condensación
Densidad	Mezcla
Dilatación	Instrumentación
viscosidad	Secuencia

Fuente: Narváez, (2018).

En la práctica y especialmente en procesos continuos, el análisis queda representado casi exclusivamente por un conjunto reducido de palabras guía estandarizadas (Juárez, 2014). El significado de las palabras guía en relación a la desviación que producen en un parámetro se indica en la tabla (1.4).

Tabla 1.4 Palabras Guía Método Hazop

PALABRA GUÍA	SIGNIFICADO	EJEMPLO DE DESVIACIÓN
No	Ausencia de la variable	No hay flujo en una línea
Más	Aumento cuantitativo, fuera del rango normal de operación.	Más flujo (más caudal)
		Más temperatura
Menos	Disminución cuantitativa, fuera del rango normal de operación.	Menos caudal
		Menos temperatura
Reverso/Inverso	Opuesto de función de la intención de diseño	Flujo inverso
Parte de	Disminución cualitativa (calidad)	Disminución de la composición de una mezcla
Además	Aumento cualitativo (calidad)	Impurezas o una fase extraordinario
Otro que	Sustitución parcial o completa	Otra sustancia fue agregado

Fuente: Fuentes, et al. 2017

1.7.6 Identificación y tipos de causas

Para cada nodo se plantea de forma sistemática todas las desviaciones que implican la aplicación de cada palabra guía a un determinado parámetro o actividad.

Para realizar un análisis exhaustivo, se deben aplicar todas las combinaciones posibles entre palabra guía y variable de proceso, descartándose durante la sesión las desviaciones que no tengan sentido para un nodo determinado (Crawley, et al., 2003).

Una vez que se ha identificado una desviación significativa, el equipo que trabaja el análisis busca una causa, que es la parte más determinante del estudio HAZOP, y que se debe actuar en primer lugar. Estas causas nos dan lugar a escenarios y consecuencias en función de los eventos y circunstancias en la que ocurra (Trujillo, 2015).

1.7.7 Escenarios y consecuencias (evaluación riesgo inicial)

Una situación identificada en un proceso es un escenario, el cual puede generar un daño cuando se desarrolla sin control y completamente, considerando así como una situación de accidente con consecuencias evidentes (Crawley, et al., 2003). Es importante la identificación de estos escenarios para la valoración del riesgo y definición de las salvaguardas que se necesite de acuerdo a los objetivos de estudio.

Por otro lado también es necesario la determinación de las consecuencias de cualquier causa de peligro, lo que posteriormente ayudará a fijar una graduación del riesgo y determinar si una desviación da lugar a un problema o a un peligro de operabilidad.

Si el equipo que está realizando el estudio HAZOP concluye, que a consecuencia de una desviación, existe un problema solamente de operabilidad, termina el análisis y el estudio se traslada al nodo siguiente, y si el equipo determina que la causa dará lugar a una posible situación de peligro, entonces las salvaguardas deben ser identificadas (Trujillo, 2015).

1.7.8 Identificación y evaluación de riesgos

Con el propósito de evaluar la importancia de cada desviación, se emplea una matriz para evaluación de riesgos, que se elaboró bajo la norma NPT-330 para el Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidentes del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Según la norma NTP-330 la matriz de riesgos se fundamenta en determinar objetivamente cuáles son los riesgos relevantes que afectan al personal que labora, y ayuda a las distintas metodologías en la evaluación de riesgos de los equipos y procesos dentro del sistema en estudio.

Según la Nota Técnica de Prevención (NTP) a mayor gravedad de las consecuencias previsibles, mayor deberá ser el rigor en la determinación de la probabilidad, teniendo en cuenta que las consecuencias del accidente han de ser contempladas tanto desde el aspecto de daños materiales como de lesiones físicas, analizando ambos por separado. De tal manera para identificar las posibles consecuencias se determina sus "niveles" en una escala de cuatro posibilidades, por el cual hablaremos de "leve", "moderado", "grave" y "catastrófico" de menor a mayor severidad respectivamente. Todas las escalas se centran según el escenario al que se desea evaluar, estableciéndose en daños personales, ambientales y materiales, así también las descripciones para cada escala se elabora en base al sistema y procesos que se efectúan. Según lo mencionado se muestra la tabla 1.5 con la descripción de las escalas indicadas.

Tabla 1.5 Escala de consecuencias y escenarios

	DAÑOS PERSONALES	DAÑOS AMBIENTALES	DAÑOS MATERIALES
CATASTROFICO {20}	Toda lesión considerable que termine en muerte ocupacional o involucre la incapacidad indefinida.	Todo daño en el que la limpieza y/o remediación que requiera más de un año para su culminación.	Daño a equipos o propiedad, que termina en paro de producción, paro del sistema de operación y pérdidas de equipos.
GRAVE {10}	Toda lesión considerable que involucre la incapacidad mayor a 30 días de uno o dos personas.	Todo daño cuya limpieza y/o remediación se haya completado antes de un año pero superior a 1 mes.	Daño a equipos o propiedad y paro parcial del sistema de operación mayor a 30 a días, sin pérdida de equipos.
MODERADA {5}	Toda lesión seria que involucre incapacidad laboral transitoria menor a 30 días.	Todo daño cuya limpieza y/o remediación se haya completado de forma inmediata o en el lapso de 1 mes.	Daño a equipos o propiedad y paro parcial del sistema de operación no mayor a 30 días.
LEVE {1}	Toda lesión menor que no requiere hospitalización. Únicamente primeros auxilios.	Todo daño cuya limpieza es inmediata y no se requiere de remediación.	Daños a equipos o propiedad sin necesidad de paro del sistema de operación.

Elaborado por: Álvaro Pillana

Fuente: Narváez A, 2018

Los colores rojo, anaranjado, amarillo y gris utilizados en la descripción del nivel de exposición y consecuencia, así como en la matriz de riesgo que se mostrará posteriormente, nos indica el riesgo desde un nivel inaceptable (rojo) hasta un nivel aceptable respectivamente (gris) y nos ayuda en la diferenciación de los mismos. Por otro lado el nivel de probabilidad de que un accidente ocurra, puede ser determinado en función de las probabilidades del suceso inicial que lo genera y de los siguientes sucesos desencadenantes. De acuerdo a lo descrito la probabilidad de ocurrencia se identifica según las medidas preventivas existentes y según el nivel de exposición al riesgo. Para poder cuantificar la magnitud de riesgos se inicia con la detección de las deficiencias existentes y la frecuencia de exposición al riesgo en el lugar de trabajo, a esto se le conoce como nivel de probabilidad y se resume en la siguiente fórmula (Bestraten & Pareja, 2003).

$$\text{Nivel de probabilidad (NP)} = \text{Nivel de exposición (NE)} \times \text{Nivel de deficiencia (ND)}$$

La tabla 1.6 describe la frecuencia de que ocurra la exposición al riesgo y el escenario con las medidas de protección pertinentes.

Tabla 1.6 Probabilidad de Ocurrencia

	NIVELES DE PROTECCIÓN	ESCENARIOS DE PELIGRO
FRECUENTE {20}	Existen procedimientos escritos y la responsabilidad asignada a una persona (operador) para prevenir eventos no deseados.	Ha ocurrido anteriormente en alguno de los procesos o actividades de la Organización la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.
OCASIONAL {10}	Existe hasta 2 salvaguardas o protección independiente y confiable en el lugar, la falla de ésta podría causar la ocurrencia de un evento no deseado.	Puede ocurrir varias veces en alguno de los procesos o actividades durante la duración de las operaciones.
POCO FRECUENTE {10}	Existen 3 salvaguardas o protecciones independientes y confiables; la falla de una de ellas no causaría la ocurrencia de un evento no deseado.	Es poco frecuente que este tipo de evento ocurra alguna vez pero se conoce de su ocurrencia en otras operaciones.
REMOTA {1}	Existen 4 o más salvaguardas o protecciones independientes y confiables; la falla de dos de ellas no causaría la ocurrencia de un evento no deseado.	Es improbable que este tipo de evento ocurra y no se conoce de experiencias similares en otras operaciones. No se espera que se materialice el riesgo.

Elaborado por: Alvaro Pillana

Fuente: Narváez A, 2018

Para el nivel de riesgo y nivel de intervención, se establece una matriz de priorización a través de niveles que nos ayudan en la toma de acciones a la brevedad posible, por el cual se habla de "nivel de riesgo", "nivel de probabilidad" y "nivel de consecuencias". El nivel de riesgo se obtiene por el producto de ambos términos como se muestra a continuación:

$$\text{Nivel de Riesgo} = \text{Nivel de consecuencias} \times \text{Nivel de Probabilidad de Ocurrencia}$$

En figura 1.7 se puede observar la matriz de evaluación de riesgos obtenida, de acuerdo a las distintas consideraciones que analizó para este estudio y la que se utilizará en la aplicación de la metodología Hazop.

		PROBABILIDAD DE OCURRENCIA			
		L1-1 REMOTA	L2-5 POCO FRECUENTE	L3-10 OCASIONAL	L4- 20 FRECUENTE
CONSECUENCIAS	S4-20 CATASTRÓFICA	II-B	III-C	IV-D	V-E
	S3-10 GRAVE	I-A	II-B	III-C	IV-D
	S2-5 MODERADA	I-A	II-B	II-B	III-C
	S1-1 LEVE	I-A	I-A	I-A	II-B

Figura 1.7 Matriz de evaluación de riesgos.

Elaborado por: Álvaro Pillana

En la tabla 1.7 se muestra el nivel de intervención con su significado a cada letra y número asignados en la matriz de riesgos.

Tabla 1.7 Nivel de riesgo

I-A	No requiere la implementación de medidas o estudios adicionales.
II-B	Analizar la Factibilidad de implantar medidas adicionales para reducir el riesgo.
III-C	Establecer medidas adicionales necesarias para reducir el riesgo e implementar todas aquellas que se consideren factibles y permitan la realización o continuación de las operaciones, y justificar las tomadas para reducir el riesgo.
IV-D	Verificar el nivel de riesgo por medio de un análisis exhaustivo del proceso o actividad.

Continuación de la tabla:

	<p>Si el nivel de riesgo se mantiene, se deberá implantar todas las medidas apropiadas para reducir el riesgo a niveles que permitan realizar o continuar con las operaciones.</p> <p>Si el nivel de riesgo no puede ser reducido a una categoría inferior en un tiempo razonable, se debe comunicar a la empresa operadora y prestadora de servicios.</p>
V-E	<p>Nivel de riesgo INACEPTABLE</p> <p>Verificar el nivel de riesgo por medio de un análisis exhaustivo del proceso o actividad.</p> <p>Si el nivel de riesgo se mantiene, se deberá implantar todas las medidas apropiadas para reducir el riesgo a niveles que permitan realizar o continuar con las operaciones.</p> <p>Si el nivel de riesgo no puede ser reducido a una categoría inferior definitivamente o en un tiempo razonable, se debe comunicar a la empresa operadora y prestadora de servicios.</p> <p>Se deberá establecer otra alternativa o cambiar de proceso, a fin de continuar con las operaciones.</p>
Nota	<p>A las situaciones mencionadas es necesario documentar toda la información relacionada con los peligros potenciales y las medidas requeridas para reducir el riesgo.</p>

Elaborado por: Álvaro Pillana

Fuente: Narváez A, 2018

El método HAZOP se centra en la identificación de peligros y por eso es necesario valorar hasta qué punto pueden manifestarse de manera más o menos probable, así como la magnitud de los daños o consecuencias de las mismas que pueden producir, toda esta acción refleja como la evaluación de riesgo asociado al peligro identificado. La correcta valoración ayuda a determinar un valor de nivel de integridad y permite definir adecuadamente las prioridades de las acciones de mejora en las propuestas (Repsol, 2007).

1.7.9 Salvaguardas

Después de haber identificado las desviaciones, causas y consecuencias, es necesario tomar en cuenta las alarmas o protecciones existentes, para que el equipo, los sistemas o la planta este alertado de posibles consecuencias graves, ya que esto puede llevar a tomar decisiones más rápidas y tomar acciones necesarias.

CAPITULO II

SITUACIÓN ACTUAL DEL CAMPO Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA HAZOP

2.1 ESTADO ACTUAL DEL CAMPO

El campo Shushufindi-Aguarico actualmente consta con cinco estaciones de producción, las cuales están distribuidas geográficamente a lo largo del campo de Norte a Sur. Cada una de ellas incluye facilidades como, múltiples de entrada para la recolección de fluidos del pozo, equipos de separación gas-líquido, tratamiento, reinyección e inyección de agua producida y despacho final de petróleo. Actualmente los procesos que se realizan implican la separación gas-líquido, deshidratación de crudo, transporte de crudo, gas y agua, como también reinyección de agua de desecho. En todas las estaciones se quema el gas debido a la baja disponibilidad de compresión (Reatiqui, 2018).

En la tabla 2.1 se muestra la producción de crudo, agua y el estado actual de pozos de del campo Shushufindi-Aguarico.

Tabla 2.1 Estado de pozos y Producción-Campo Shushufindi-Aguarico

CAMPO SHUSHUFINDI-AGUARICO					
PETRÓLEO		AGUA DE FORMACIÓN			GAS
PRODUCCIÓN BFPD	PRODUCCIÓN BPPD	PRODUCCIÓN BAPD	INYECCIÓN BAPD	REINYECCIÓN BAPD	PRODUCCIÓN MPCD
261.844,41	53.661,00	208.183,41	7.050,84	201.132,57	1.044,00
ESTADO DE POZOS					
POZO PRODUCTOR DE CRUDO		POZO REINECTOR	POZO INECTOR	CERRADOS	ABANDONADOS
175		31	7	29	12

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

Fuente: Agencia de Control y Regulación Hidrocarburífero, 2019.

2.2 ESTADO ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE LA ESTACIÓN “X”

La estación “x” en estudio del campo Shushufindi-Aguarico reporta el estatus de producción y características del crudo producido, que se indica en la tabla (2.2).

Tabla 2.2 Estado de pozos y Producción-Campo Shushufindi-Aguarico

ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN "X"					
PETRÓLEO				AGUA	
PRODUCCIÓN BFPD	PRODUCCIÓN BPPD	GRAVEDAD API°	BSW%	PRODUCCIÓN BAPD	REINYECCIÓN BAPD
48.555,51	8.984,38	18,9	81,49668287	39.571,13	39.571,13

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

Fuente: Agencia de Control y Regulación Hidrocarburífero, 2019.

También es importante mencionar que consta de 31 pozos productores y 5 pozos re-inyectores, de los cuales 2 pozos aún no se encuentran habilitados.

2.3 SISTEMA DE REINYECCIÓN DE LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO SHUSHUFINDI-AGUARICO

2.3.1 Facilidades de Reinyección de la Estación de Producción “X”

En el sistema de reinyección de agua de la estación de producción, consta principalmente de los siguientes equipos:

- **Tanques de Lavado (T-1046/CAF0138826):** Actualmente la estación de producción consta con dos tanques de lavado de crudo, con capacidades de 20000 y 10000 (bls) respectivamente.
- **Tanques de Almacenamiento de Agua (CAF0138826):** El tanque que recibe el agua desde los tanques de lavado, tiene una capacidad de 3000 bls y abastece con este fluido para todo el sistema de reinyección. Actualmente se encuentra instalado un tanque pulmón de agua que aún no se encuentra operativo, pero a futuro este será el tanque principal que suplirá del fluido de

reinyección en todo el sistema, el mismo que se menciona posteriormente para este estudio.

- **Bombas Booster:** Existe cuatro bombas que se encuentran operativas y que trabajan en la succión desde el tanque de almacenamiento de agua y tanque de lavado hacia las líneas que alimentan a las bombas de reinyección. Las bombas mencionadas se describirán posteriormente en la aplicación de la metodología de este estudio.
- **Bombas de Re inyección:** Existe tres bombas encargadas de enviar el fluido desde las líneas de descarga de las bombas booster hacia los cabezales de los pozos re inyectores. Estas bombas serán descritas en el avance de este estudio.

2.3.2 Capacidad Bombeo actual

El sistema de bombeo de alta presión de la estación, tiene una capacidad total de 56.000 BAPD y una capacidad teórica de 44.000 BAPD, actualmente se está reinyectando de alrededor de 40.000 BAPD. Como consecuencia de los trabajos de perforación y workover realizados en el área de influencia de la estación, se espera un incremento de la producción de crudo, agua y gas a ser tratados en dicha estación. Por lo que se estima que el caudal de reinyección a futuro será de 43.000 BAPD aproximadamente.

2.3.2.1 Nueva Bomba de Reinyección

De acuerdo a la ingeniería conceptual, se propone los requerimientos de nuevos equipos de bombeo en la estación, que servirá para manejar la producción de agua futura, y con la filosofía de tener una bomba de respaldo en la operación.

En base a la filosofía planteada se debe contar con una unidad stand by, lo cual requerirá la instalación de una nueva bomba principal HPS que tome de este cabezal de succión y descarguen a un colector único, donde también se vinculen las descargas de cada una de las bombas de alta presión de reinyección de agua de la estación y desde donde se alimenten los pozos de reinyección existentes.

El proyecto instalará una nueva bomba de reinyección de agua HPS, con una capacidad nominal de 15.000 BAPD y altura desarrollada 2.207 psi (presión nominal de descarga 2.257 psi), resultando una capacidad final total de 71.000 BAPD.

2.3.2.2 Filosofía de Operación de la nueva Bomba de reinyección

La filosofía de operación se basa en la operación normal de la nueva bomba HPS (PCF-1601) a instalarse en el sistema de reinyección de agua existente.

En la línea de succión de la nueva bomba de alta presión, 8"-WP-980391-AA1, se instalará un filtro tipo canasto F-0243, con medición local de presión diferencial (PDI-SOP-1901) y un filtro cónico, F-0244; una válvula de alivio, PSV-SOP-1304; un indicador de presión local (PI-SOP- 1901); y en la descarga se instalará un indicador de presión local (PI-SOP-1902) y una válvula de alivio (PSV-SOP-1305). El filtro canasto contará con línea de by pass y válvula esférica manual para operar en caso de mantenimiento (Ver figura 2.1).

Para proteger la integridad de las instalaciones se instalarán válvulas de alivio (PSV) tanto en la succión como en la descarga, en las siguientes situaciones:

- Flujo inverso a través de la válvula de retención ubicada en la descarga de la Bomba de Reinyección de Agua (PCF-1601), alivio de PSV-SOP-1305.
- Bloqueo de la línea de descarga de la Bomba de Reinyección de Agua (PCF-1601) y falla del sistema de control (enclavamiento asociado al PAHH-SOP-1902): alivio de PSV-SOP- 1305.

2.4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA HAZOP

2.4.1 Definición del Área de Estudio

El área seleccionada para aplicar la técnica de estudio es el sistema de reinyección de la estación de producción "X", ahí se evaluará los componentes del sistema actual y las facilidades de la nueva bomba de reinyección de agua. Se seleccionará e identificará los nodos a cada componente tomando en cuenta sus parámetros y variables a evaluar, mencionando la integración de la nueva bomba al sistema de bombeo existente.

2.4.2 Selección de Nodos

El sistema de reinyección de la estación básicamente está compuesta por tanques, bombas y tuberías donde se recolecta la producción de agua de varios pozos, para luego ser reinyectada hacia los pozos previamente seleccionados. Para el estudio se define seis nodos dentro del sistema de reinyección, los cuales serán evaluados y calificados con un nivel de riesgo encontrado, para luego emitir las recomendaciones necesarias con el objetivo de disminuir o evitar dichos riesgos. Entre los nodos seleccionados tenemos los componentes existentes y la nueva bomba de reinyección, con el fin de evaluar tanto los riesgos potenciales de las nuevas modificaciones, como los que pueden llegar a surgir por la integración de sistemas nuevos- sistemas existentes, los mismos se detallan a continuación:

- NODO 1: Tanque de lavado.
- NODO 2: Tanque de almacenamiento de Agua.
- NODO 3: Tanque de lavado.
- NODO 4: Bombas booster.
- NODO 5: Bombas de reinyección de alta presión.
- NODO 6: Nueva bomba de reinyección de agua.

La descripción de cada nodo con su color de identificación y sus diagramas P&ID e instrumentación, se encuentran detallados en el anexo I y II, respectivamente.

2.4.3 Descripción del Proceso Operativo e Intención de diseño

Actualmente el sistema de bombeo de reinyección de la estación "X" del campo Shushufindi-Aguarico, consta con cuatro bombas booster y tres bombas de reinyección. Las bombas booster PCF-0471/0472 succionan a una presión de alrededor 6 psi desde el tanque de lavado de la estación CAF-0138826 por medio del colector de 16"-WP-83449-AA1; este colector alimenta al pulmón 24"-WP-83521-AA1, del cual la bomba PCF-0471 succiona agua por medio de la línea 6"-WP-83524-AA1 y la bomba PCF-0472 por medio de la línea 6"-WP-83522-AA1. Adicionalmente, estas bombas pueden tomar agua del tanque de agua de

almacenamiento de agua CAF- 0150106 y del tanque de lavado T-1046, por medio de un colector de 16" de diámetro.

La presión de succión podrá variar dependiendo de la caída de presión del nuevo filtro a instalar en la línea principal desde el tanque de lavado. Este filtro contará con un filtro en la línea de by pass, de esta manera cuando la presión diferencial en el filtro llega al valor de alarma, el operador podrá abrir el paso por el filtro del by pass y limpiar el filtro sucio. La descarga de ambas bombas (PCF-0471/0472) se lleva a cabo por medio de las líneas 4"-WP- 83523-AA1 y 4"-WP-83525-AA1, respectivamente, hacia el colector 8"-WP-83528-AA1, a una presión de entre 75 y 85 psig. De igual manera, la alimentación de agua hacia las bombas booster PCF-SOP-1801/1802 se da desde el tanque de lavado CAF-0138826 por medio del colector 16"-WP-83640-AA1, y desde los tanques T-1046 y CAF-0150106 por medio de otro colector de 16" de diámetro; la presión de succión se encuentra alrededor de 17psig.

La bomba PCF-SOP-1801 succiona agua del colector de 16" por medio de la línea 8"-WP-83641- AA1, mientras que la bomba PCF-SOP-1802 lo hace por medio de la línea 8"-WP-83642-AA1. Cada línea de succión cuenta con un filtro tipo canasta para evitar ingreso de partículas y así proteger los internos de las bombas.

La descarga de ambas bombas (PCF-SOP-1801/1802) se da por medio de las líneas 8"-WP- 83644-AA1 y 8"-WP-83645-AA1, respectivamente. Ambas líneas descargan al colector 12"-WP- 83647-AA1 a una presión de entre 125 a 145 psig, de acuerdo al caudal operativo de la bomba y al escenario de reinyección planteado.

Adicionalmente se menciona que se instalarán dos filtros en la línea 16"-WP-83640-AA1, que proviene desde los tanques de lavado CAF-0150160 y del tanque T-1046, hacia la succión de las bombas booster PCF-SOP- 1801/1802 y PCF-0471/0472. Uno de los filtros estará operativo y uno en spare. De esta manera se protegerán los internos de las bombas, tanto booster como de alta presión.

En la tabla 2.3 se describe las bombas booster existentes en el sistema de estudio actual, cada una con sus respectivas características.

Tabla 2.3 Características Bombas Booster- Sistema de reinyección de Agua

Bomba Booster	Potencia	Caudal nominal (BAPD)	Presión Diferencial (psi)
PCF-0471	50 HP	34900	76
PCF-0472	50 HP	34900	76
PCF-SOP-1801	125 HP	37000	106.4
PCF-SOP-1802	125 HP	37000	106.4

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

Fuente: Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, 2018

La bomba de reinyección CAF-0011587 recibe agua desde las bombas PCF-0471/0472, succiona agua por una línea de 6"-WP-83531-AA1 y descarga a una presión alrededor 2150 psig por medio de una línea de 4"-WP-83532-AA1. La línea de descarga 4"-WP-83534-AA1 se conecta al cabezal de reinyección 6"-WP-83540-AA1 de reinyección al pozo SHS-025ITY, y por medio de la línea 4"-WP-83533-AA1 se conecta al colector 6"-WP-83539-AA1 que reinyecta agua al pozo SHS-050ITY.

Mientras que las bombas de reinyección PCF-SOP-1901/1902 reciben agua medio del colector de succión 12"-WP-83647-AA1, el cual es alimentado desde el sistema booster PCF-SOP-1801/1802 y reciben el agua por medio de líneas de succión de 8" y una presión de descarga de 2150 psig por líneas de 4" e interconectadas a colectores de 6". La presión de descarga de las bombas dependerá de la presión de cabeza del pozo al que se configure la bomba. La bomba PCF-SOP-1901-succiona agua por medio de una línea de 8" de diámetro (sin tag), mientras que la bomba PCF-SOP-1902 lo hace por medio de la línea 8"-WP-83662-AA1. Cada línea de succión cuenta con un filtro canasta para retener partículas que pudieran perjudicar los internos de las bombas. Como parte de este proyecto se llevará a cabo la instalación de una nueva bomba de reinyección de agua PCF-1601, la cual se conectará a tres colectores que reinyectan a los pozos SHS-050ITY, SHS-025ITY y SHSM-127IHI.

La nueva bomba de reinyección PCF-1601 succionará agua del colector común de agua 12"-WP- 83647-AA1, por medio de la línea nueva 8"-WP-980391-AA1, a una presión de entre 120 y 145 psig. La línea de descarga de la nueva HPS se vinculará con válvulas esféricas de 4", a los tres colectores a los pozos SHS-050ITY, SHS-025ITY, SHSM-127IHI, SHSP-113IH y SHSP-286IH, por medio de las líneas 6"-WP-980402-EA1, 6"- WP-980403-EA1 y 6"-WP-980404-EA1, respectivamente.

En la tabla 2.4 se describe las bombas de alta presión de reinyección con sus características.

Tabla 2.4 Características Bombas HPS - Sistema de reinyección de Agua

Bomba HPS	Etapas	Caudal nominal (BAPD)	Presión Diferencial (psi)
PCF-0471	56	12500	2230
PCF-0472	39	18000	2450
PCF-SOP-1901	68	12500	2230
PCF-SOP-1902	48	15000	2207

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2019

Fuente: Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, 2019

En la figura 2.1 se muestra el plano P&ID del sistema de reinyección de Agua con el proceso su integración a las bombas descritas anteriormente.

2.4.4 Selección de Parámetros y generación de una desviación

Para el nodo seleccionado se procede a plantear las posibles desviaciones con respecto a los parámetros normales de operación conocido también como intención de diseño, para aquello se prosigue a combinar los parámetros específicos del proceso con la aplicación de cada palabra guía (tabla 2.5), lo que ayuda a una discusión del grupo de trabajo y focalización de los posibles peligros del proceso.

A continuación en la tabla 2.5, se detalla las variables existentes junto con las palabras guía las cuales nos generan una desviación.

Tabla 2.5 Generación de desviaciones

		VARIABLES			
		FLUJO	TEMPERATURA	PRESIÓN	NIVEL
PALABRAS GUÍA	Más	Alto flujo	Más temperatura	Más Presión	Más nivel
	Menos	Bajo Flujo	Menos temperatura	Menos Presión	Menos nivel
	No	No Flujo			
	Inverso	Flujo Inverso			
	Parte de	Concentración errada			
	Además de	Contaminación			
	Otro que				
		DESVIACIONES			

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2019

Una vez elaborada la tabla, se observa que se han generado 12 desviaciones para el análisis respectivo, las cuales se procede a identificar las distintas causas posibles que generaron cada desviación y las cuales originan consecuencias derivadas de aquellas causas. Las variables y palabras guía tomadas en cuenta son las más cruciales en el sistema de estudio, debido a que ciertas variables con el uso de las palabras guía redundan y no dan significado a los procesos que se evalúan; por ejemplo, la desviación “no presión” indica que la bomba trabajaría al vacío por lo que esto es imposible, por tal motivo esta y otras desviaciones no es necesario expresarlo en la tabla generada.

2.4.5 Identificación de Causas, Consecuencias y Salvaguardas

Se elabora una Matriz en la que podemos identificar fácilmente cada desviación encontrada, las causas, consecuencias, salvaguardas y se evalúa el nivel de riesgo según la matriz de evaluación de riesgos seleccionada para este estudio.

La tabla 2.6 muestra la matriz aplicada a la segunda desviación con respecto al nodo número 2 correspondiente al tanque de lavado. En la desviación generada de “bajo nivel” se procede a identificar la primera causa posible que ocasiona esta

desviación. La causa “falla en el lazo de control” nos origina como consecuencia probable, el envío del agua al tanque pulmón y también un posible derrame del mismo, debido a que toda el agua del tanque de almacenamiento se envía al tanque pulmón mencionado, y sin el control inmediato se produce un rebalse del mismo. Posteriormente de acuerdo a las causas y consecuencias halladas, se identifica la salvaguarda existente denominada, alarma de bajo nivel LAL-SOP-030 y se evalúa en base a la matriz de riesgos de la figura (1.7) para obtener el nivel de riesgo posible.

Con el propósito de mitigar o disminuir el nivel de riesgo se procede a elaborar las diferentes recomendaciones o medidas de control necesarias, que ayudaran a establecer una intervención rápida ante las posibles consecuencias que se identifiquen. Cada una de ellas son elaboradas con la finalidad de actuar inmediata y oportunamente, tomando decisiones o acciones acertadas que llevara a mantener el control del equipo, el sistema o el lugar donde se produjo la causa, con la ayuda e implementación de personal capacitado, materiales y equipos diversos necesarios y cualquier esfuerzo para minimizar los riesgos que se han identificado.

De la misma manera que se procedió con el nodo número 2, se realizó el análisis y evaluación de las causas existentes en las desviaciones generadas de los demás nodos identificados del sistema de reinyección de agua. Las tablas correspondientes a los nodos seleccionados se encuentran elaborados en el anexo III.

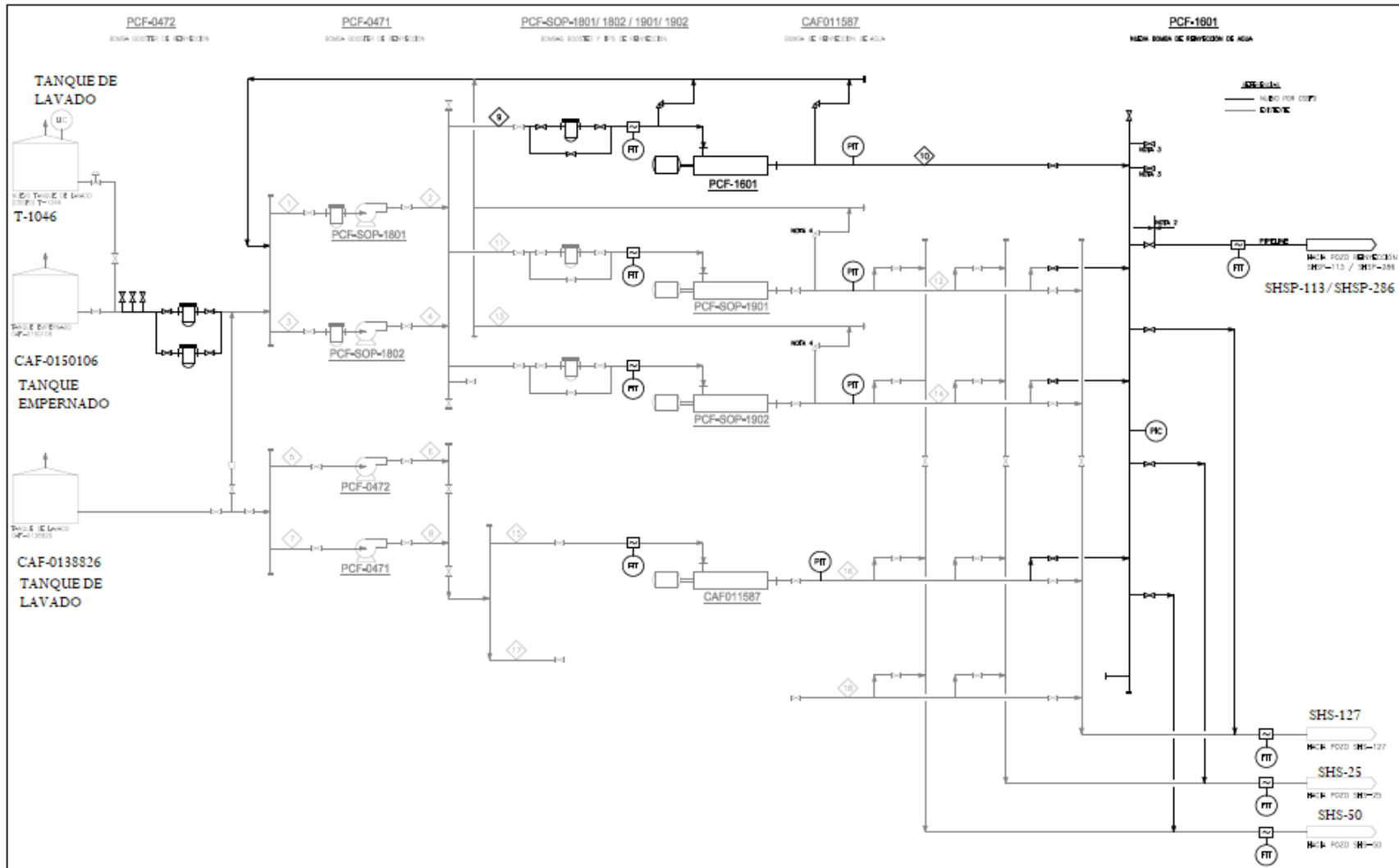


Figura 2.1 Diagrama de flujo de Procesos-Sistema de Reinyección Campo Shushufindi-Aguarico

Fuente: Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, 2018

Tabla 2.6 Procedimiento HAZOP-Identificación Causas, Consecuencias, Salvaguardas (Nodo 2-Desviación 2)

NODO 2-DESVIACIÓN 2: BAJO NIVEL (TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CAF-0150106)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Falla en el lazo de control de salida de agua LIT/LICSOP-0303.	1. Envío de agua tanque pulmón de agua. Posible derrame de tanque pulmón.	*Alarma de bajo nivel LAL-SOP-0302.	10	Ocasional	III-C	<p>18. Incorporar alarma sonora redundante, independiente al lazo LIT/LICSOP- 0303, por muy bajo o muy alto nivel del tanque de almacenamiento de agua.</p> <p>8. Evaluar la posibilidad de instalar un switch independiente vinculado a la alarma sonora.</p> <p>19. Agregar interlock dando redundancia a la actuación del I-1 (cierre de válvula).</p> <p>20. Actualizar procedimiento operativo y capacitar al personal para la actuación por bajo nivel en el tanque empernado.</p> <p>12. Incorporar switch de presión en el manifold de alimentación de aire de instrumentos.</p> <p>22. Revisar procedimiento operativo manual de las bombas en caso de nivel bajo de fluido.</p>	Empresa prestadora de servicios
2. Error operativo. Apertura del bypass de la válvula de control de nivel LV-SOP-0301	1. Envío de agua a tanque pulmón de agua. Posible derrame de tanque pulmón.	*Alarma de bajo nivel LAL-SOP-0302. *Alarmas de bajo y muy bajo nivel LAL/LALL-SOP-303.	10	Ocasional	III-C	<p>18. Incorporar alarma sonora redundante, independiente al lazo LIT/LICSOP- 0303, por muy bajo o muy alto nivel del tanque de almacenamiento de agua.</p> <p>20. Actualizar procedimiento operativo y capacitar al personal para la actuación por bajo nivel en el tanque empernado.</p> <p>11. Incorporar alarma por "no cierre" de válvula de bypass de la LV-SOP-0301.</p> <p>22. Revisar procedimiento operativo manual de las bombas en caso de nivel bajo de fluido.</p>	Empresa prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

CAPITULO III

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

3.1 RESULTADOS DEL ESTUDIO HAZOP

Para el estudio del Sistema de reinyección de Agua de la estación de Producción “x” del campo Shushufindi-Aguarico, se decidió trabajar en seis nodos seleccionados, considerándolo así a los componentes existentes y la nueva bomba de alta presión HPS.

En el nodo número 6 correspondiente a la nueva bomba de reinyección, se trabajó en la descripción del proceso y sus parámetros de operación normal establecidos (intención de diseño), consecuentemente se procedió a realizar la metodología Hazop para la identificación de riesgos, la cual consistió en generar una tabla en la que por medio de la ayuda de palabras guía y en conjunto con los parámetros de operación del sistema, se logró generar las posibles desviaciones.

Una vez generado las desviaciones se procedió a identificar las posibles causas y consecuencias que se originan a través de las desviaciones encontradas, las cuales son evaluadas en base a la matriz de evaluación de riesgos. Para cada desviación se tomó en cuenta el nivel de riesgo evaluado y se enfocó en elaborar recomendaciones y acciones para cada una de ellas.

En el siguiente gráfico se muestra el resultado obtenido que corresponde al nodo número 1 y 3, luego de haber realizado paso a paso la metodología Hazop y con la ayuda que nos proporciona la matriz de riesgo, se obtuvieron el número de desviaciones, causas, consecuencias, salvaguardas y recomendaciones respectivamente, los cuales cada ítem con sus valores, se encuentran graficados en la figura (3.1).

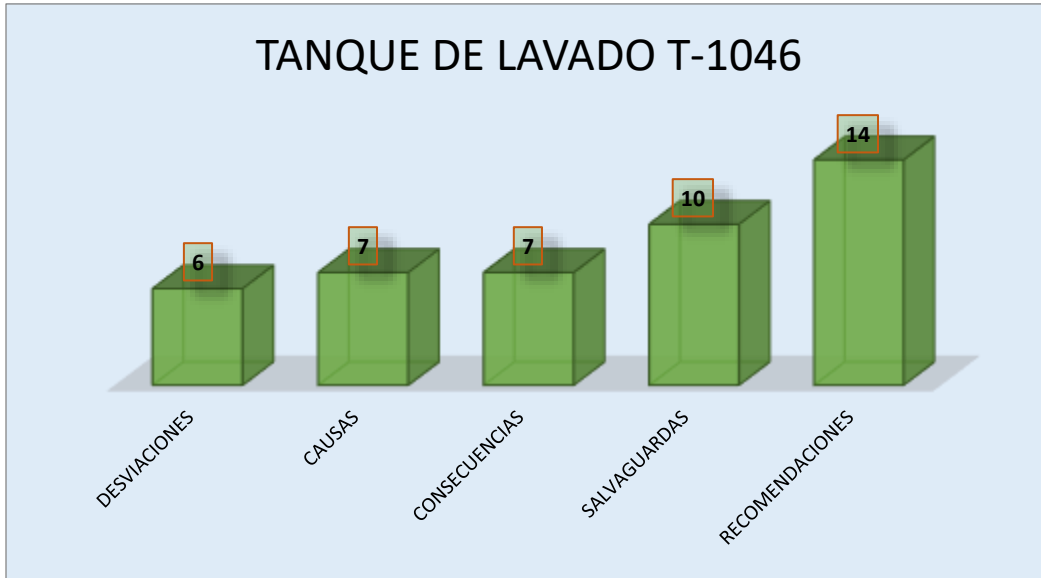


Figura 3. 1 Resumen de Ítems Evaluados-Tanque de Lavado

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

Para el nodo número 2 que corresponde al tanque de almacenamiento de agua de reinyección, se resume los siguientes resultados mostrados en la figura 3.2.

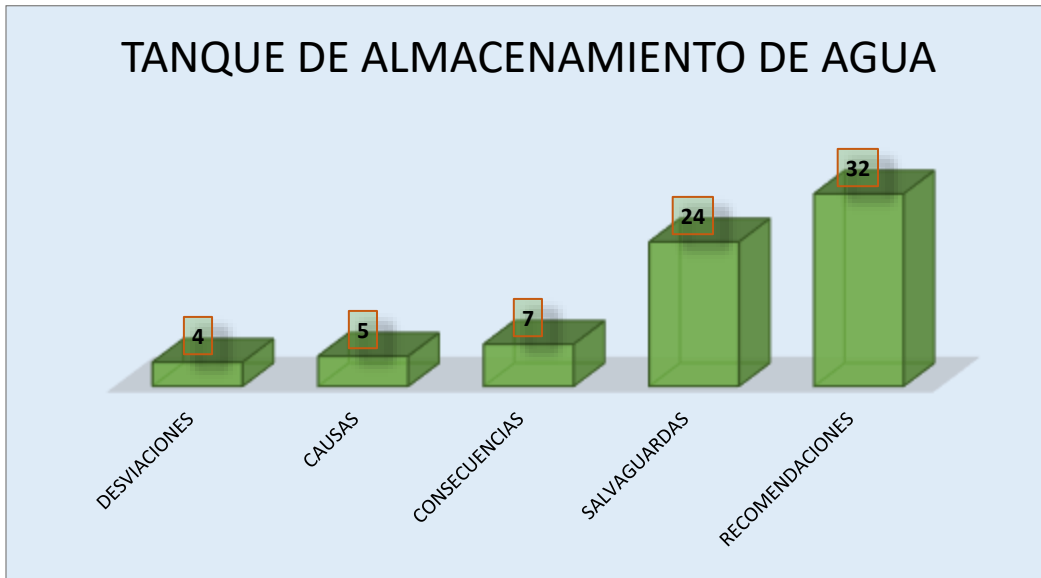


Figura 3. 2 Resumen de Ítems Evaluados-Tanque de Almacenamiento de Agua

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

La figura 3.3 resume los resultados obtenidos correspondientes al nodo 4 de las bombas booster existentes.

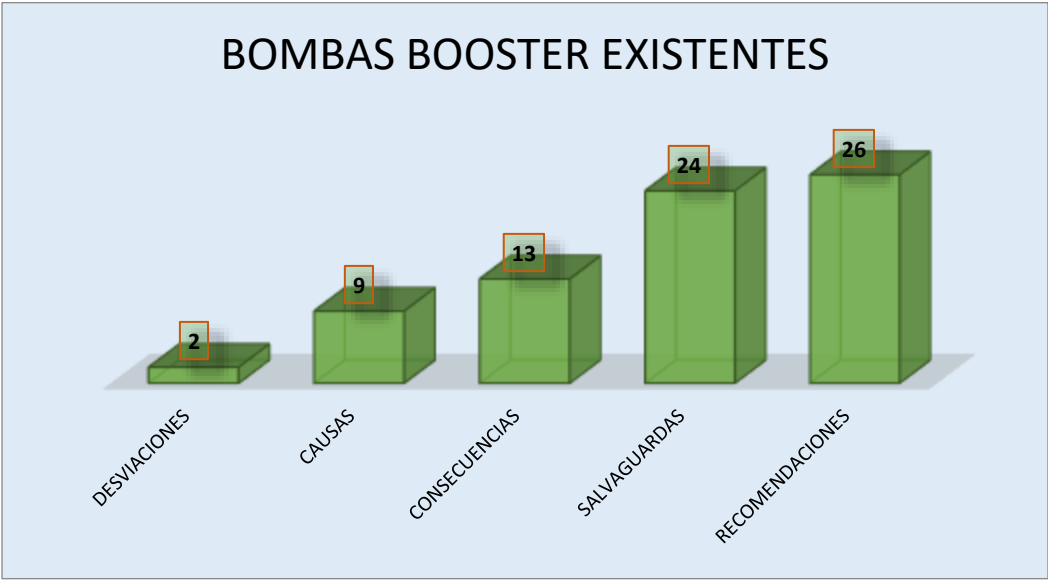


Figura 3. 3 Resumen de Ítems Evaluados-Bombas Booster

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

En el nodo número 5 correspondiente a las bombas de reinyección existentes, se obtuvo los resultados mostrados en la figura 3.4 la cual se muestra a continuación.

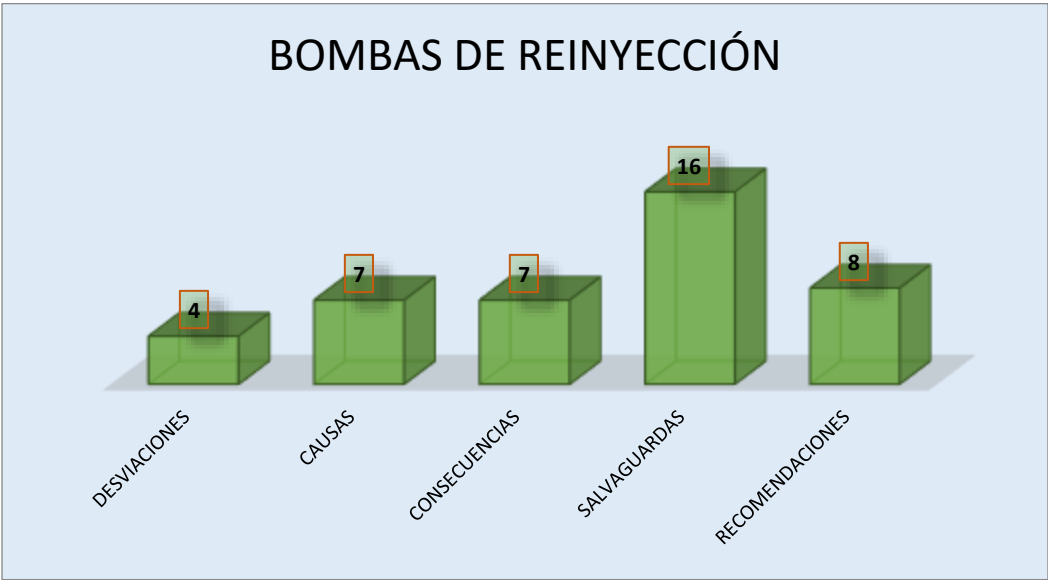


Figura 3. 4 Resumen de Ítems Evaluados-Bombas Booster Existentes

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

Finalmente, el último nodo de este estudio corresponde a la nueva bomba de reinyección de agua, los resultados obtenidos lo resumimos en la figura 3.5.

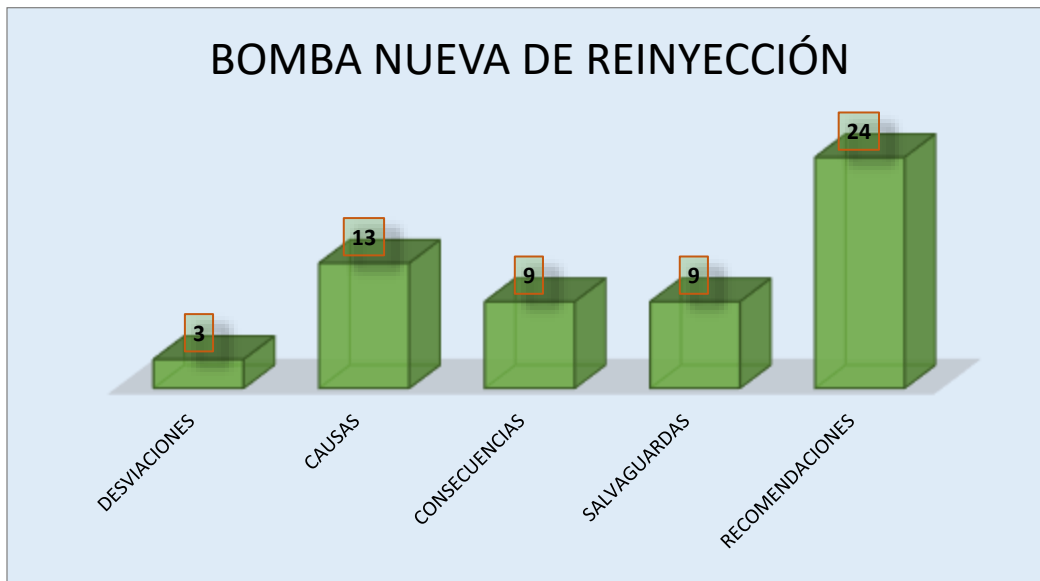


Figura 3. 5 Resumen de Ítems Evaluados-Bombas Booster Existentes

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

En total se identificaron 59 eventos peligrosos entre los cuales 14 fueron de nivel I, 37 de nivel II, 6 de nivel III, 2 de nivel IV, y 0 de nivel V. Los mismos que son ilustrados en la figura (3.6).

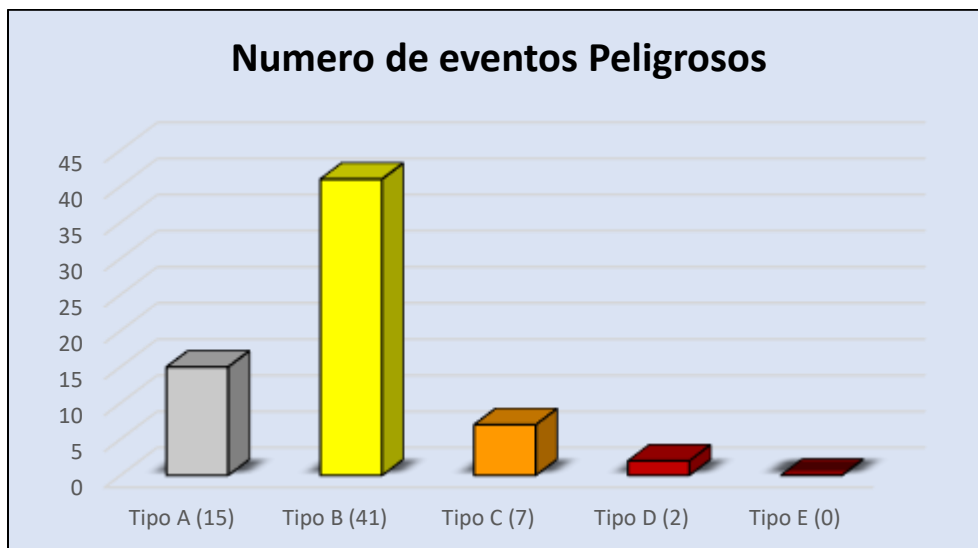


Figura 3. 6 Número de eventos hallados

Elaborado por: Pillana, 2020

3.2 RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN.

Después de realizar la sesión HAZOP en el sistema de reinyección de Agua de la estación de Producción del Campo Shushufindi-Aguarico, se obtuvo 53 recomendaciones que se encuentran descritas en la matriz de riesgos elaborada para este estudio, las mismas que se encuentran detalladas en la tabla de recomendaciones del anexo IV. Estas acciones serán designadas al equipo multidisciplinario adecuado quienes trabajaran en cumplir el objetivo en el tiempo establecido por la empresa operadora.

Las recomendaciones elaboradas las clasificamos según la prioridad en que se debe ejecutar las acciones correctivas en el sistema de estudio.

A continuación se muestra la tabla 3.1 con la clasificación por prioridad:

Tabla 3. 1 Prioridad de acuerdo al nivel de riesgo

Prioridad	Descripción
1-ALTO	Representa una situación de emergencia y hay que establecerse controles temporales inmediatos de ingeniería y/o factores humanos, para reducirlos hasta una categoría Tipo B o si posible Tipo A, en un lapso menor a 90 días
2-MEDIO	Se tiene un margen para investigar y analizar a detalle y reducir el riesgo, la acción correctiva debe darse en los próximos 90 días.
3-MODERADO	Describe que es un riesgo significativo, aceptable y con controles. Las cuales con medidas adicionales necesarias permitirán la continuación o realización de operaciones. Las medidas de solución deben darse en los próximos 18 meses
4-BAJO	Es un riesgo de bajo impacto, razonable o aceptable, las cuales se debe analizar la factibilidad de implantar medidas adicionales conjuntamente con otras mejoras operativas

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

En la figura 3.3 se muestra el número total de recomendaciones para cada causa de acuerdo a la prioridad de acciones correctivas de cada riesgo encontrado.

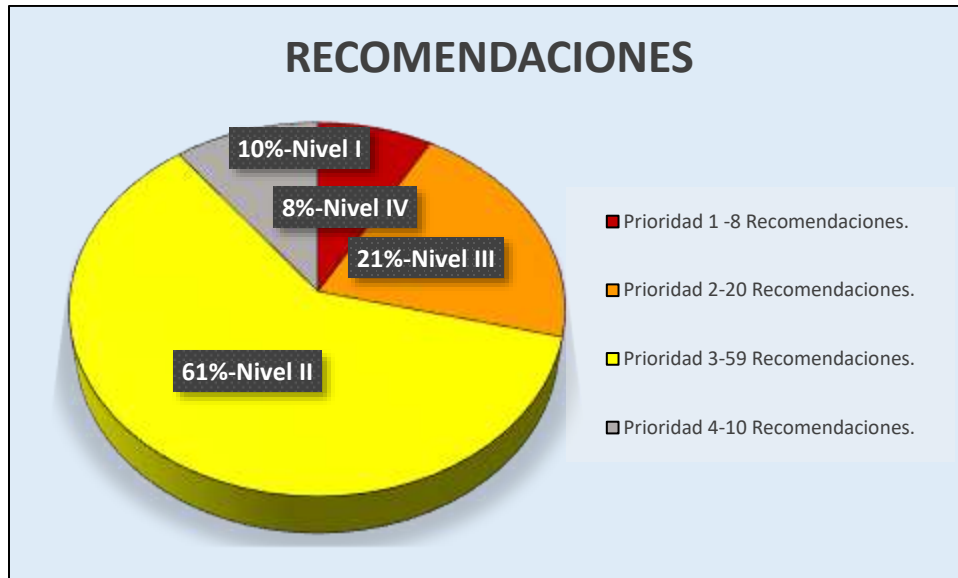


Figura 3. 7 Número de recomendaciones por Eventos.

Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020.

A continuación, independientemente de las recomendaciones planteadas se presenta las observaciones más relevantes y las que también se tomara como acciones importantes y recomendaciones generales, de acuerdo con el nivel de riesgos del estudio realizado:

- Se deberá verificar, mediante un estudio minucioso del layout, que las instalaciones cumplan con las distancias mínimas de seguridad requeridas por la legislación local y las buenas prácticas de ingeniería.
- Se deberá verificar, mediante un estudio minucioso del layout, que los nuevos equipos dispongan de espacio suficiente como para realizar correctamente el mantenimiento y operación de los mismos.
- Para reducir la frecuencia de ocurrencia de los escenarios de taponamiento de líneas y conexiones de instrumentos, se recomienda realizar de forma periódica un adecuado mantenimiento y limpieza del tanque de lavado.
- Las empresas prestadoras y operadoras de servicio deberán realizar un análisis que resuelva si resulta necesario incorporar a las nuevas facilidades un sistema de tratamiento de agua.

- Se recomienda acotar el rango en las configuraciones de los nuevos controladores de presión, señalando de esta forma el posible error humano involucrado en la tarea. Se deberá definir el rango a programar.
- Asegurar que la ubicación del Push Button de apagado de las bombas de alta presión frente a una emergencia, se encuentre accesible a los operadores.
- El Tanque Pulmón de Agua (sin Tag) queda en stand-by, pero fue considerado en el presente estudio HAZOP.
- El sistema de Inyección de químicos debe ser revisado, acorde a las necesidades del Tanque de Lavado T-SOP-0301.
- Instalar cuponeras de corrosión e incrustación en la succión de las bombas booster, en caso que no existan.

Cada una de las recomendaciones y acciones mencionadas deben estar a cargo de las empresas prestadoras y operadoras de servicio. De estas responsabilidades asignadas, 25 fueron para la contratista provisor de servicio, como la evaluación y configuraciones de alarmas, reasignación de los sets en los sensores y verificar la instalación y puesta en marcha de la nueva bomba de reinyección de la estación. Para la empresa operadora fueron 15 responsabilidades entre los cuales destaca el mantenimiento y correcta operación de la planta. Finalmente 13 asignaciones lo realizaran en conjunto, las más relevantes son la elaboración de manuales, planes de contingencia y documentos necesarios para el sistema de reinyección de la estación.

Una vez entregado el proyecto por parte de la empresa prestadora de servicio, la empresa operadora será responsable directo de cualquier incidente que pueda suscitar dentro del área de operación, sin embargo cualquier incidente durante los trabajos de modificación e instalación de la nueva bomba queda a responsabilidad directa por la empresa provisor de servicios.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Debido a los altos caudales que oscila de entre los 12000 a 43000 BAPD y presiones de 145 psi a 2300 psi aproximadamente, se opta por todos los componentes del sistema de reinyección como zona y área de estudio para la evaluación de riesgos, sumándose así, a la implementación de la nueva bomba de reinyección de agua.
- En la evaluación realizada por medio de la metodología HAZOP, se seleccionó parámetros específicos de operación como flujo, presión, temperatura y nivel, que serán asociados a la intención de diseño de cada uno. De las cuales se identificó 12 posibles desviaciones, las mismas que pueden originar causas que llevan a un evento no deseado y las cuales fueron evaluadas para identificar el nivel de riesgo.
- Se identificó y se seleccionó 6 nodos para el estudio del sistema de reinyección, de los cuales existe 3 nodos que nos reportan un nivel de riesgo crítico en los que se debe priorizar la existencia, funcionamiento e implementación de salvaguardas en caso de que no exista.
- De acuerdo a la evaluación realizada se encontró tres desviaciones en los nodos 1, 2 y 3 que nos dan resultados de un alto nivel de riesgo operativo y de pérdida de producción.
- Con la aplicación de esta metodología se identifica que los 3 nodos con riesgos críticos nos dan consecuencias de daños en los equipos y pérdidas de producción esto debido a falla en el lazo de control del equipo en análisis respectivamente.
- De acuerdo con la evaluación de las desviaciones bajo y alto nivel de los nodos identificados en el sistema de reinyección, 8 causas ocurren por fallos en lazos de control de nivel, lo que generó un Rankin de nivel de riesgos que

necesita un análisis exhaustivo para poder disminuir el nivel de riesgo evaluado. En este caso es importante la existencia y el correcto funcionamiento de las salvaguardas mencionadas en la matriz de evaluación, como es el caso de alarmas de alto, bajo, muy alto y muy bajo nivel de líquido según como corresponda al nodo en análisis.

- Una de las características de esta metodología es que se implementa en cualquier etapa de la ingeniería y en el análisis de la implementación de la nueva bomba de reinyección nos ayudó en la identificación de 2 niveles de riesgos alto en la operatividad, debido a la falla del lazo de control relacionado al nodo en análisis, para esto es necesario el funcionamiento y en ciertos casos la implementación de alarmas de nivel de líquido, así como también el correcto estado operativo de los switch de presión en las bombas.
- Con las desviaciones encontradas, se identificó 41 consecuencias que fueron tomadas en cuenta, de las cuales se generaron 38 salvaguardas y se evaluó el nivel de riesgo para cada causa y consecuencia. Las mismas que fueron elaboradas sus respectivas recomendaciones, debido a que hay equipos que no cuentan las salvaguardas necesarias y son propensos a que se incremente el nivel de riesgo, en un momento corto luego de que se ha generado la desviación.

4.2 RECOMENDACIONES

- Todos los equipos instalados que conforman el sistema de reinyección de agua, cuenten con la filosofía de operación y manual de diseño de fábrica, o a su vez la actualización de los mismos según los estándares establecidos por las normas de operación a la cual se rigen cada una de ellas.
- Capacitar al personal a cargo de la instalación antes y después de que sea puesta en marcha la nueva bomba PCF-1608, en temas de mantenimiento y acciones a ejecutar en caso que se suscite una emergencia operativa.
- Antes de la puesta en marcha de los equipos de operación, se recomienda necesariamente definir la arquitectura de control y seguridad de la estación, como también del sistema de reinyección de agua, para garantizar que este sistema sea concatenado con todas las medidas de control de la estación de producción.
- Es necesario conocer todos los equipos automatizados y manuales que se encuentran instalados y que requieren actualización acorde a los avances de la tecnología, con el objetivo de obtener un desempeño óptimo en la operatividad y manejar a la brevedad posible en caso de que suscite algún evento de peligro dentro del sistema de reinyección y posiblemente de la estación.
- En caso de que se tenga alto caudales hay que tomar énfasis en la configuración de alarmas de sobre velocidad en los variadores de las bombas y así evitar los fallos mecánicos de las mismas y retrasos en los tiempos de inyección.
- Es importante la señalética correspondiente para cada equipo, sistemas y válvulas dentro de la planta de reinyección, con el fin de prevenir errores operativos por parte del personal que labora en el área designada.
- Es importante el análisis de una proyección de producción de agua a futuro, en el cual se debe estudiar la implementación de nuevas facilidades y modificación en la estación de producción, como en el sistema de reinyección

de agua, lo que es necesario realizar una evaluación de riesgos para las nuevas modificaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Australian Standard. (2017). IEC 61882:2017-Hazard and operability studies (HAZOP studies)—Application guide. *Australian Standard*.
- Bestratén, M. & Pareja, F. (2003). NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. (artículo académico).
- Calle, J. (2018). *5 métodos de análisis de riesgos*. Recuperado de: <https://www.riesgoscero.com/blog/5-metodos-de-analisis-de-riesgos>.
- Carillo, S. & Yunda, M., (2008). *Redimensionamiento de las facilidades de Producción del Campo VHR* (tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Crawley F, Preston M, & Tyler B. (200). Hazop Guide to best Practice. *Chemical Industries Association*.
- Chávez, E. (2016). *Análisis e identificación de riesgos y Propuesta de un plan de Seguridad Industrial para un Centro de Facilidades de un campo petrolero, aplicando la metodología HAZOP* (tesis de grado). Universidad Internacional SEK, Quito.
- DEKRA, (2015). Liderazgo en HAZOP y LOPA. *DEKRA*, (artículo académico).
- Fuentes J, Gonzales M, Baixauli P, and Gonzales C. (2017). *Risk Analysis of a Fuel Storage Terminal using HAZOP and FTA*. Universitat Politècnica de Valencia, España.
- Freedman, P. (2003). HAZOP como metodología de análisis de riesgos. *TECNA S.A*, 1, 64-3. Páginas.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (INSHT). (1990). NTP 333: Análisis probabilístico de riesgos: Metodología del "Árbol de fallos y errores". *Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España*, (artículo académico).
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ITSA). (2013). *Investigación de accidentes de trabajo*. Recuperado: <https://istas.net/salud-laboral/actividades-preventivas/investigacion-de-accidentes-de-trabajo>

- Juárez, M. (2014). *La metodología Hazop aplicada al análisis de riesgos* (tesis de grado). UNAM, México.
- Landázuri, S. (2015). *Diagnóstico y optimización del sistema de reinyección de agua de formación en el campo Sacha* (tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Mansen, G. (1978). Reglamento de Seguridad en la Industria del Petróleo. Ministerio de Energía y Minas, 32. Páginas.
- Morales, A. (2014). *Descripción del proceso de reinyección de Agua en la Formación Receptora Tiyuyaco del pozo Guanta 07 del área Lago Agrio* (tesis de grado). UTE, Quito, Ecuador.
- Morillo, C. (2019). *Desarrollo del Mapa de Presiones de la Arena "T" del Campo Shushufindi mediante el análisis de pruebas de presión*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Narváez, A. (2018). *Estudio de seguridad y operatividad para la identificación de riesgos y peligros en la nueva estación AUCA SUR 1 del campo Auca VHR* (tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Norhayati, P. (2003). Hazard and Operability Studies-Application guide. *British Standard*, 61. Páginas.
- Nsw Government Planning. (2001). HAZOP Guidelines Industry Planning Advisory . *Nsw Government*. (artículo académico).
- Ortiz, J. (2017). Accidentabilidad en trabajadores del sector petrolero ecuatoriano: análisis temporal desde 2014 a 2016. Universidad Internacional SEK, 9. Páginas.
- Pemex. (2007). Estudios de Riesgos. *NRF Pemex 018*, 1, 37. Páginas.
- Petroamazonas EP. (2016). Programa de actividades y presupuesto periodo: enero-diciembre. *Petroamazonas EP*, 17. Páginas.
- Petroecuador EP. (2017). Reglamento Interno de Higiene y Seguridad. *Petroamazonas EP*, 114-35. Páginas.
- Puerta, F. (2007). *Guía para la selección y aplicación de las técnicas de PHA (análisis de peligros de procesos) tesis de grado*. Universidad Politécnica de Catalunya, ESPAÑA.

- PQRI-Risk Management Working Group. Training Guide: Hazard and Operability Analysis (HAZOP). *PQRI Group*, 9. Páginas.
- Ramos, H. (2014). *Descripción del proceso de reinyección de agua en la Formación Receptora Tiyuyacu Del Pozo Guanta 07 Del Area Lago Agrio* (tesis de grado). UTE, Quito, Ecuador.
- Ramos, J. (2016). *Técnica ¿Qué pasaría si? what if*. Recuperado de: <http://seguridaindustrial2.blogspot.com/>
- Rausand, M. (2011). Risk assessment, theory, methods, applications. *Wiley*, 23-26.Paginas.
- Reatiqui, J. (2018). *Determinación del daño de formación en pozos productores de petróleo mediante la integración del análisis de transiente de presión y producción del Campo Shushufindi-Aguarico* (tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Repsol YPF. (2007). Guía para la realización de estudios HAZOP. *Repsol YPF*, 1- 35. Páginas.
- Repsol YPF. (2007). Guía para la realización de estudios PHA (Process Hazard Análisis). *Repsol YPF*, 1,-45. Páginas.
- Revelo, I. (2015). *Diseño de tanques, Usados en la Separación del agua de formación para el proceso de Reinyección, estación Secoya* (tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Sánchez, D. (2018). *Los Análisis Hazid Y Hazop En La Evaluación Formal De Seguridad. Propuestas De Mejora* (tesis de grado). Universitat Politècnica de Catalunya, España.
- Santillán, K. (2016). *Diseño para el sistema de alta presión de Reinyección de agua del campo Shushufindi-Aguarico, de la estación Aguarico en el Oriente Ecuatoriano*. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito
- Siserova, M. (2016). *Seguridad en la industria del Petróleo y Gas*. Recuperado de: <http://www.sirenaselectronicas.com/blog/2018/04/25/5953/>
- Trujillo, C. (2015). *El análisis de riesgos y peligros, Hazop y el árbol de fallas, una opción de ingeniería para subir los niveles de eficiencia en el*

mantenimiento y disponibilidad de equipos en sub estaciones de distribución (tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

- Villagomez, B. (2010). *Análisis de riesgos en el manejo de GLP, en el terminal de Oyambaro, utilizando el método Hazop, bajo normas de seguridad industrial.* . UTE, Quito; Ecuador.
- Yanchapaxi, E. (2010). *Estudio del Sistema de reinyección de Agua De Formación Del EPF Y diseño de una solución que permita optimizar la presión Y el caudal, así como mejorar el control Y operación del Sistema.* ESPE, Quito; Ecuador.

CAPITULO V ANEXOS

ANEXO I: LISTA DE P&ID'S

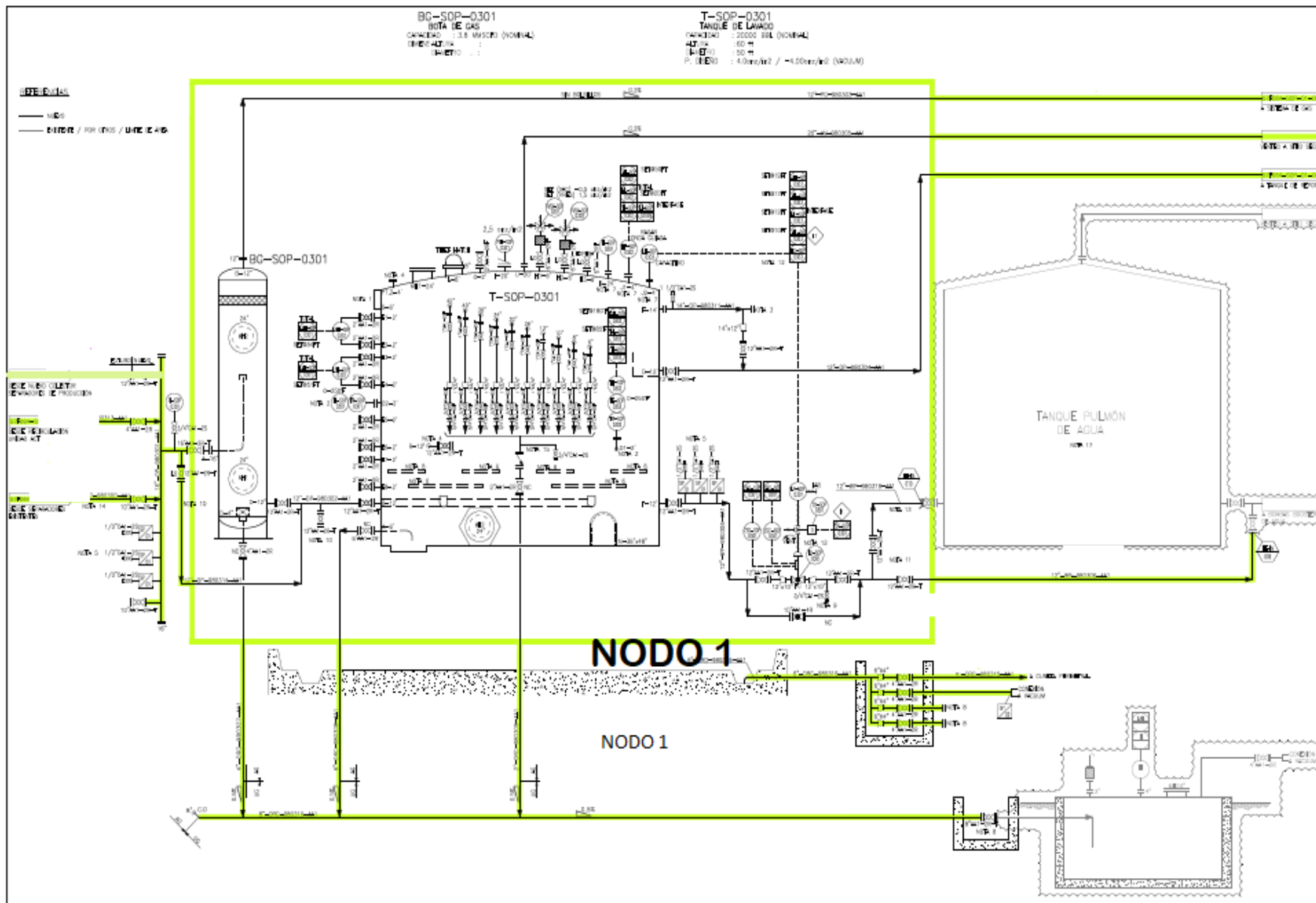
ANEXO I.1 LISTA DE NODOS Y P&ID'S

NODOS	DESCRIPCIÓN	P&ID	CÓDIGO	COLOR
Nodo 1	Tanque de Lavado	57F064-SOP-01-002	T-1046	
Nodo 2	Tanque Empernado	57G073-SOP-11-002-1	CAF-0150106	
Nodo 3	Tanque de Lavado	57G073-SOP-01-007-F	CAF-0138826	
Nodo 4	Bombas Booster Existentes	57G073-SOP-01-001-F	PCF-0472/PCF-0471	
		57G073-SOP-01-003-F	PCF-SOP-1801/PCF-SOP-1801	
Nodo 5	Bombas de Reinyección Existentes	57G073-SOP-01-004-F	PCF-SOP-1901/PCF-SOP-1902	
		57G073-SOP-01-002-F	CAF011587	
Nodo 6	Nueva Bomba de Reinyección de Agua	57G073-SOP-01-002	PCF-1601	
		57G073-SOP-01-004		
		57G073-SOP-01-005		
		57G073-SOP-11-002-1		

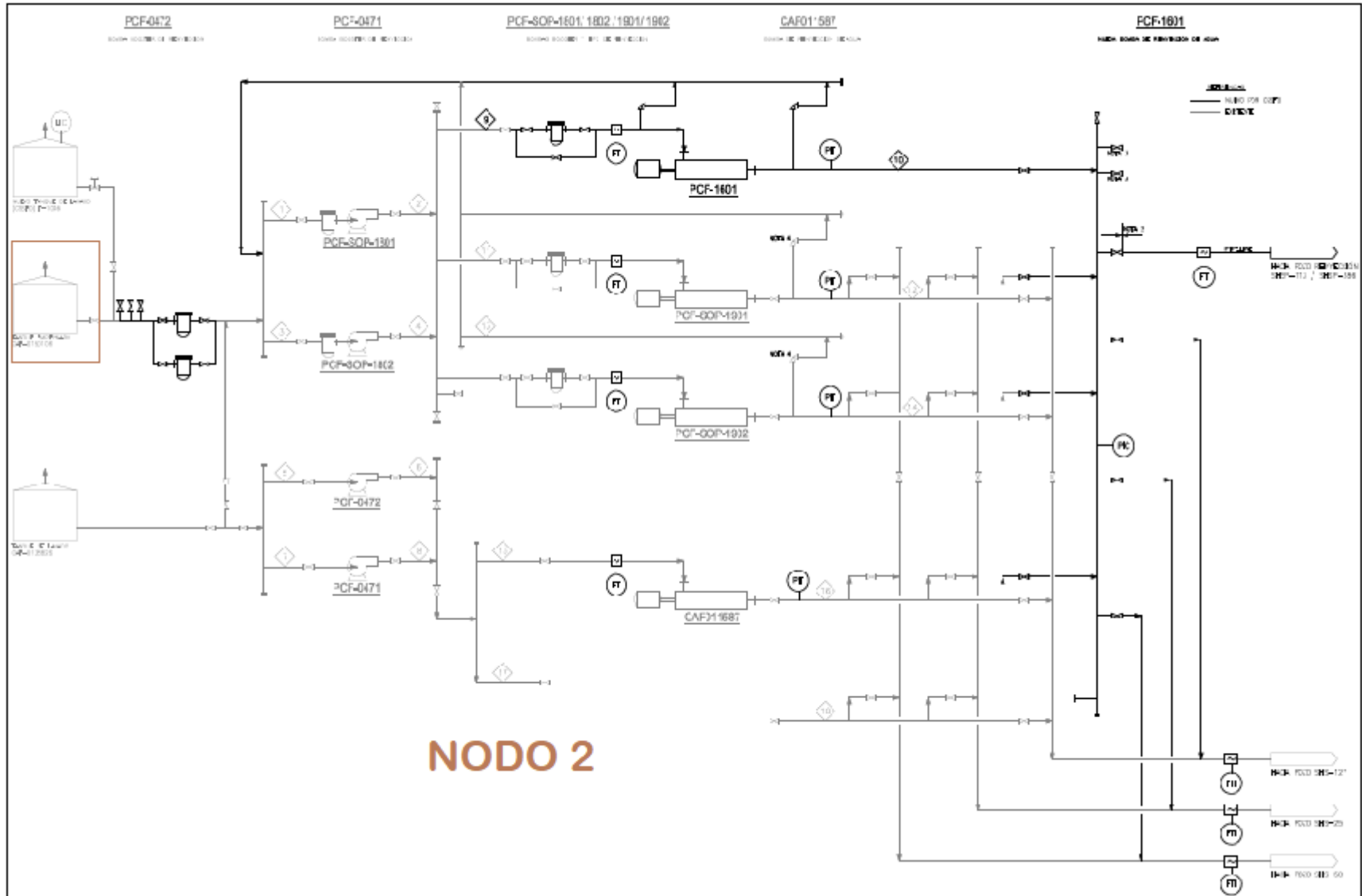
Elaborado por: Álvaro Pillana, 2020

ANEXO II: P&ID'S y NODOS IDENTIFICADOS

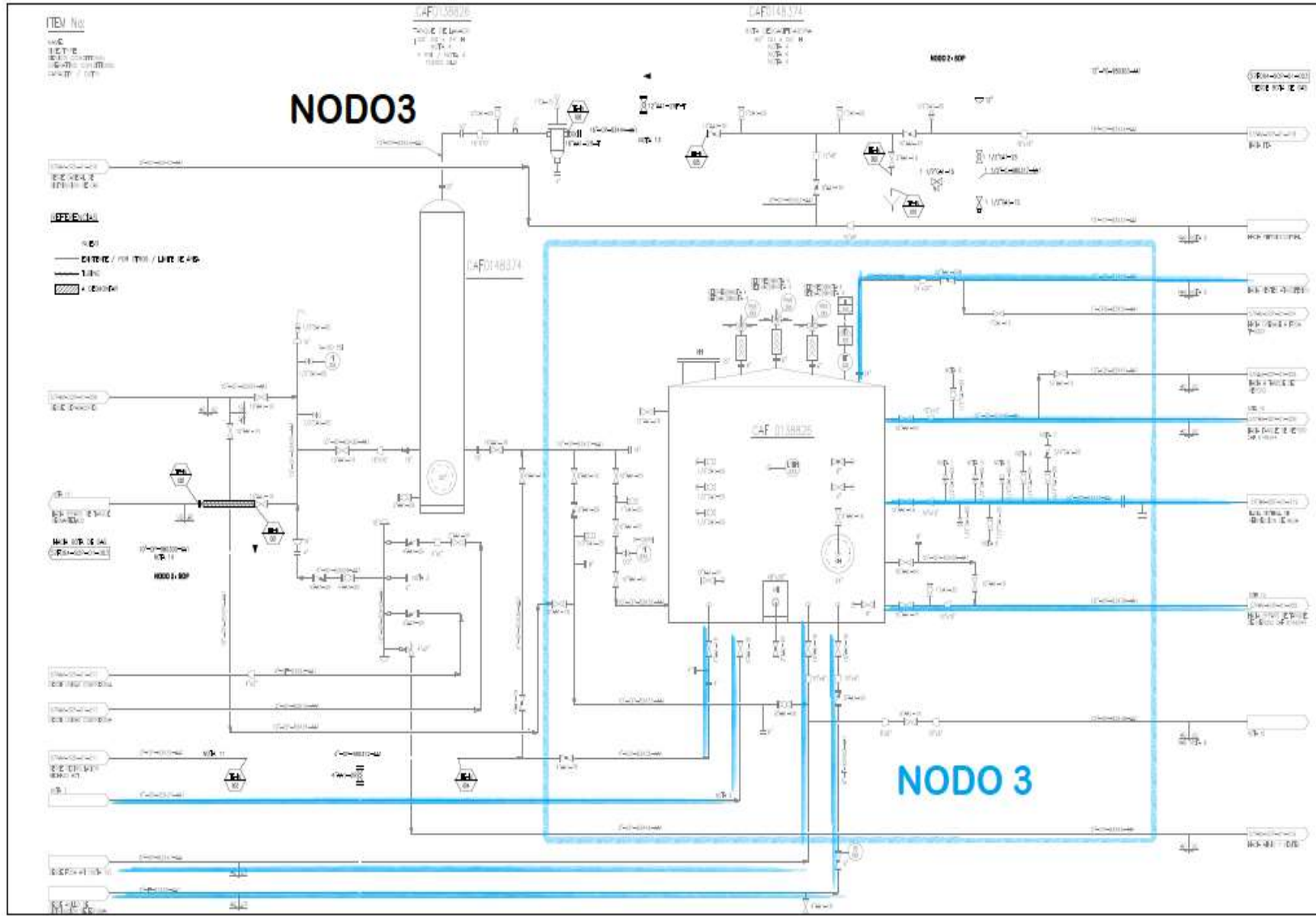
ANEXO II.1 P&ID-NODO 1 TANQUE DE LAVADO T-1046



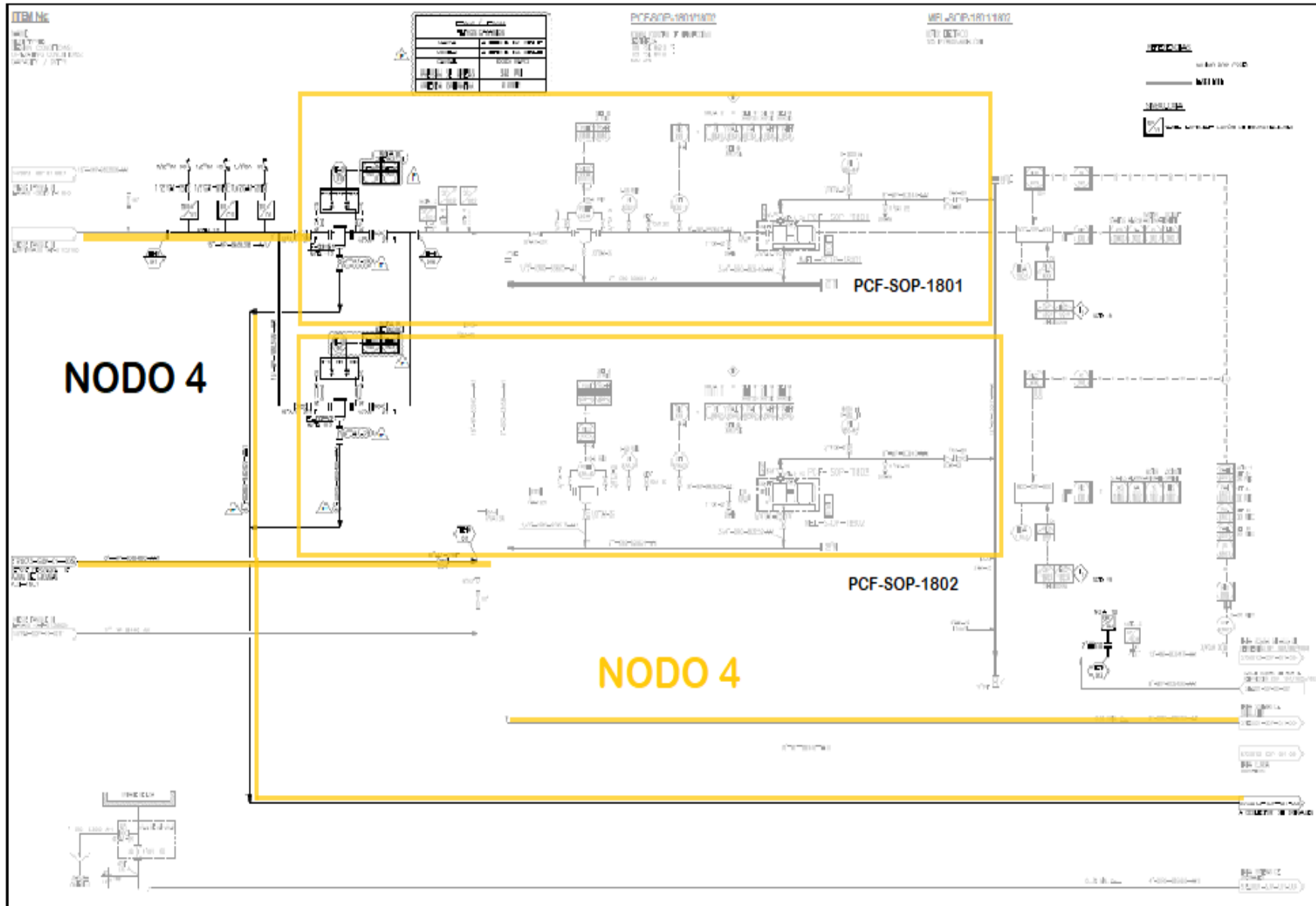
ANEXO II.2 P&ID-NODO 2 TANQUE DE LAVADO



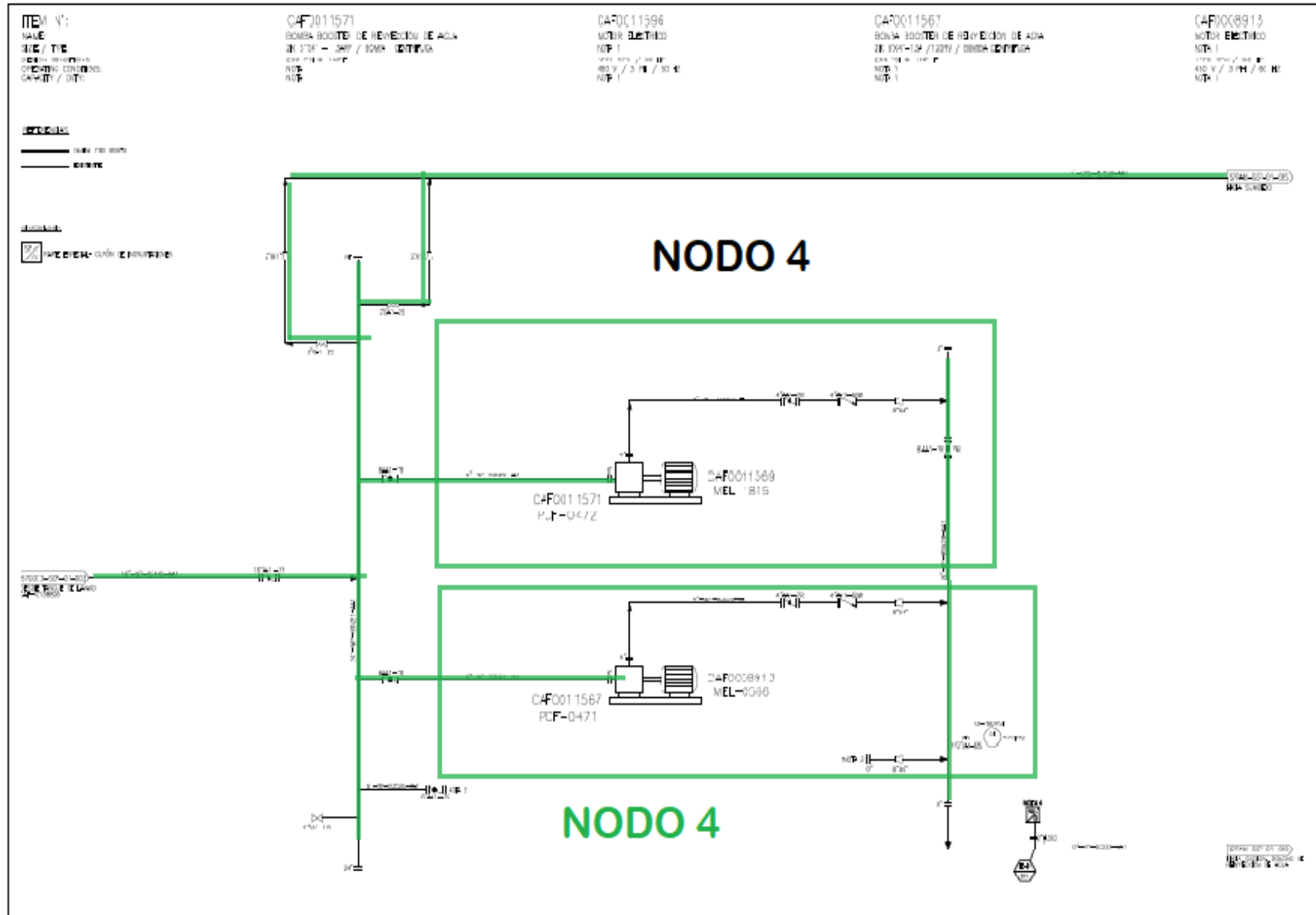
ANEXO II.3 P&ID-NODO 3 TANQUE DE LAVADO CAF-0138826



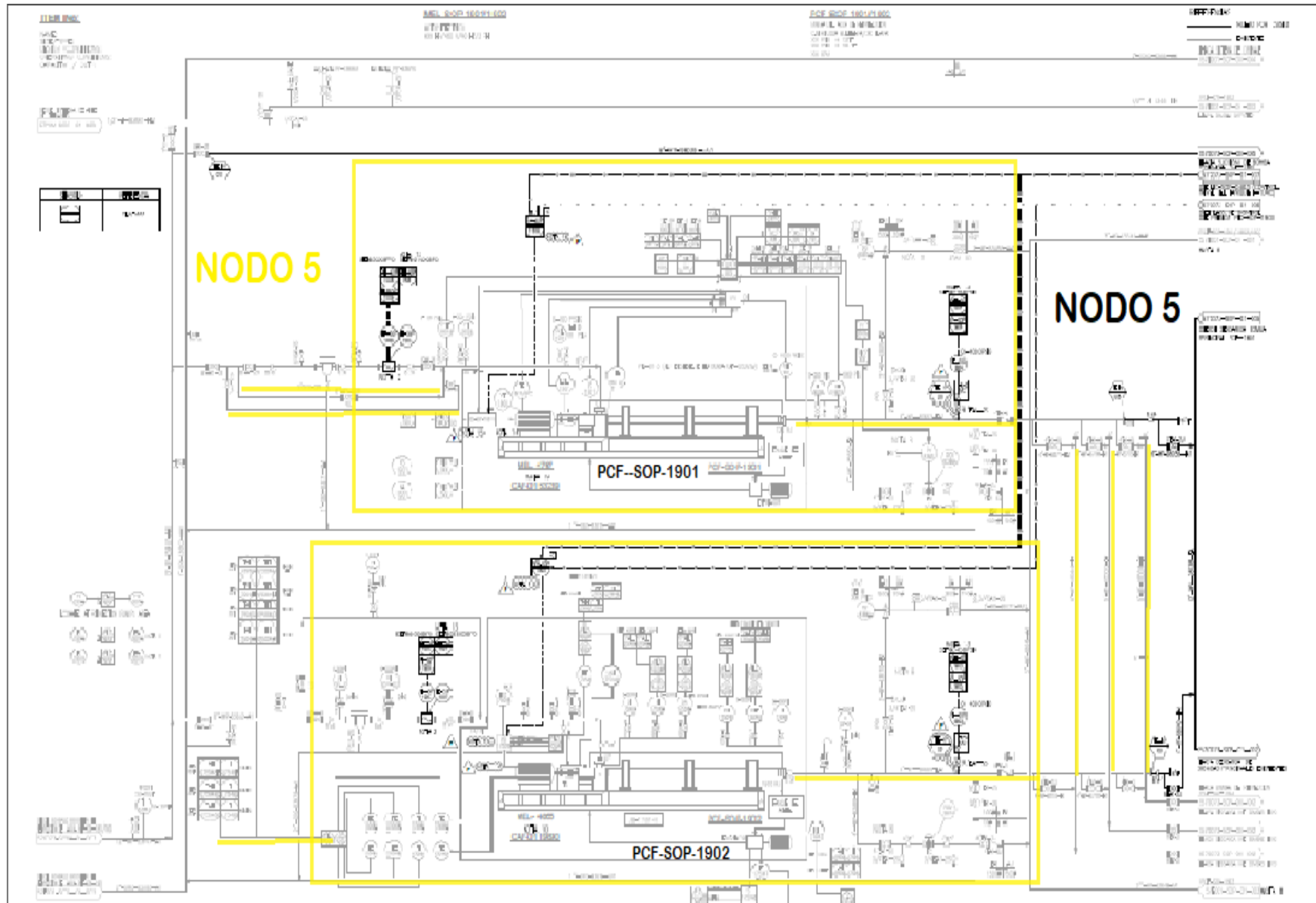
ANEXO II.4 P&ID-NODO 4 BOMBAS DE REINYECCIÓN EXISTENTES PCF-SOP-1801/PCF-SOP-1802



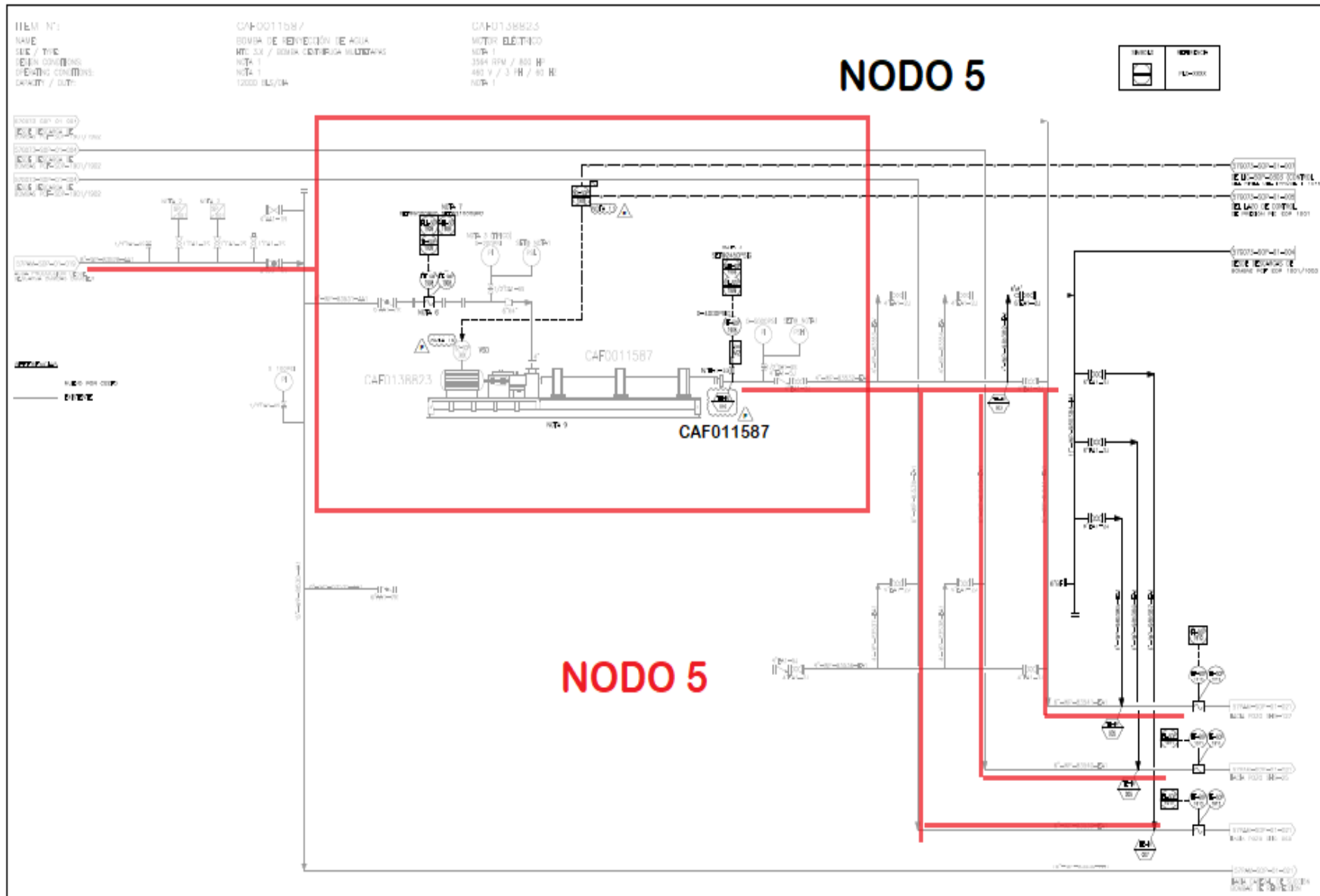
ANEXO II.5 P&ID-NODO 4 BOMBAS DE REINYECCIÓN EXISTENTES PCF-0472/PCF-0471



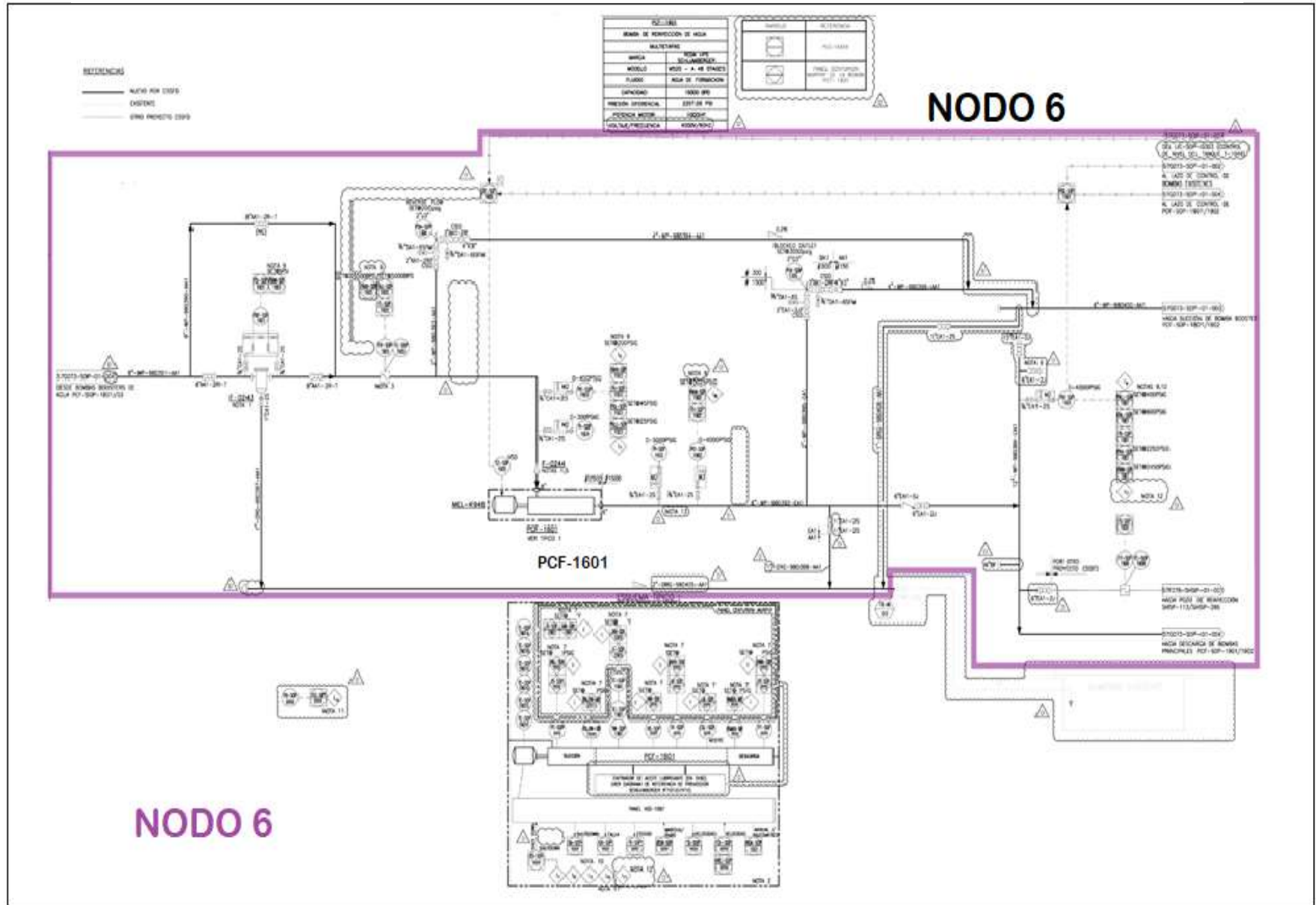
ANEXO II.6 P&ID-NODO 5 BOMBAS DE REINYECCIÓN EXISTENTES PCF-0472/PCF-0471



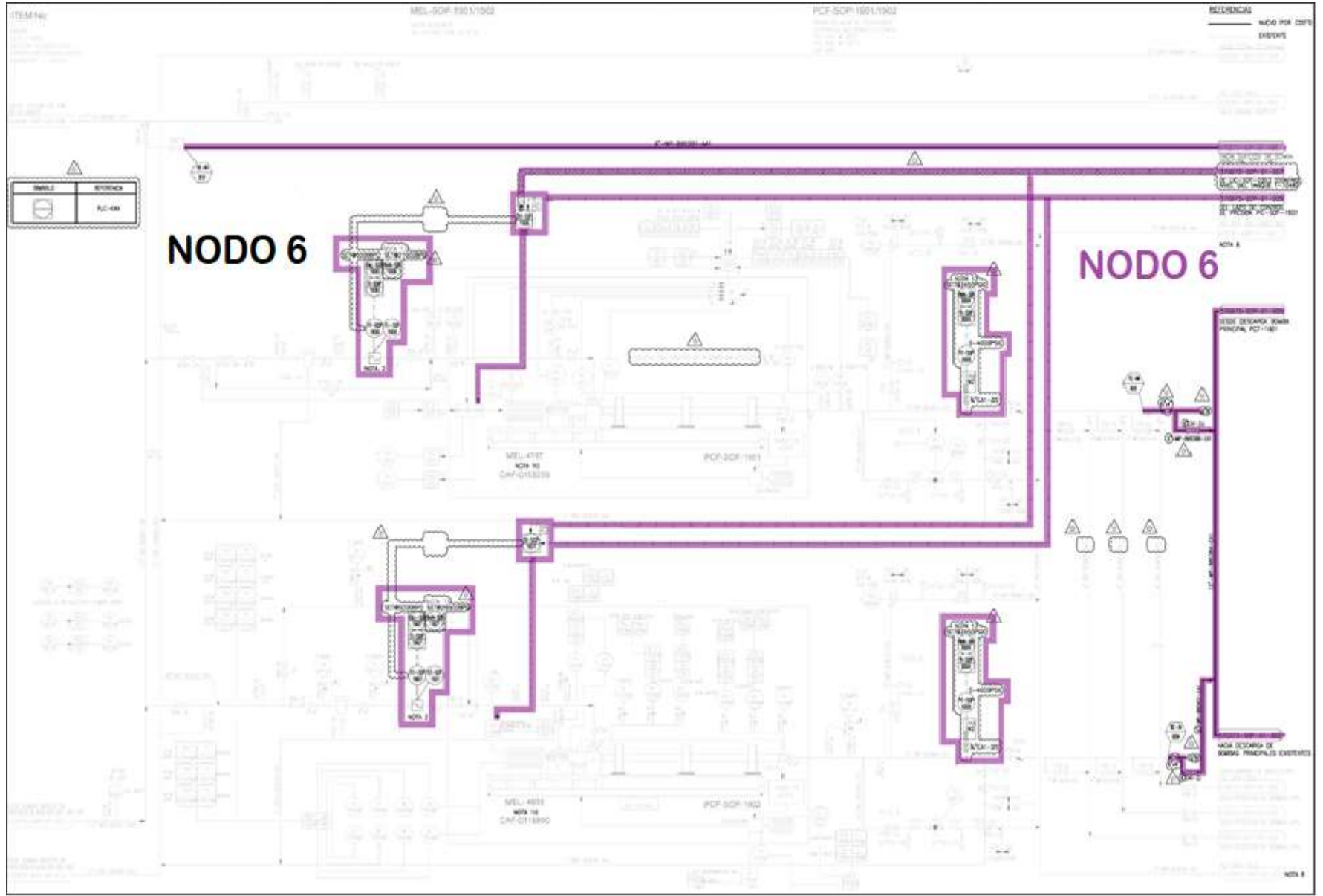
ANEXO II.7 P&ID-NODO 5 BOMBAS DE REINYECCIÓN EXISTENTES CAF011587



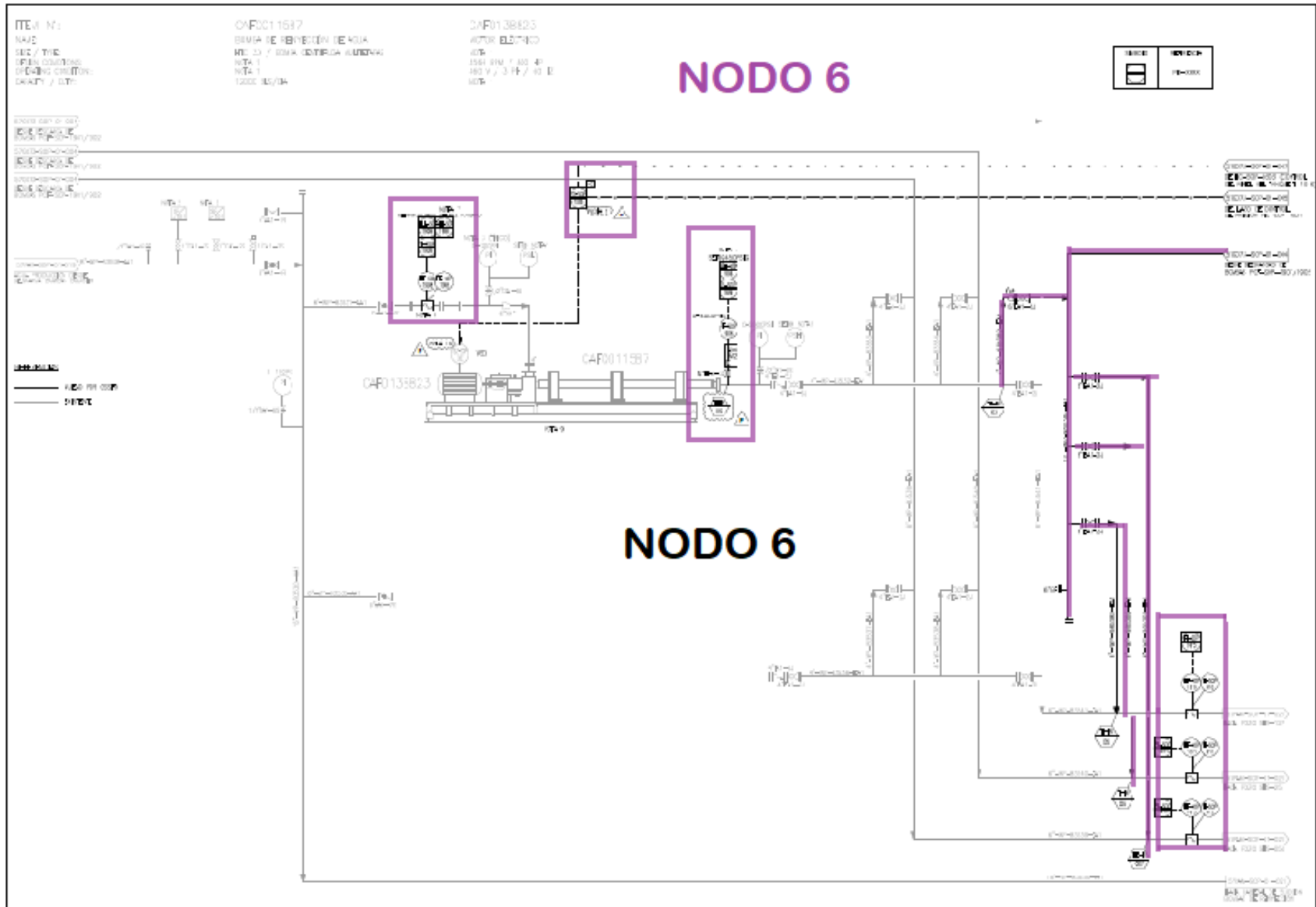
ANEXO II.8 P&ID-NODO 6- NUEVA BOMBA DE REINYECCIÓN PCF 1601



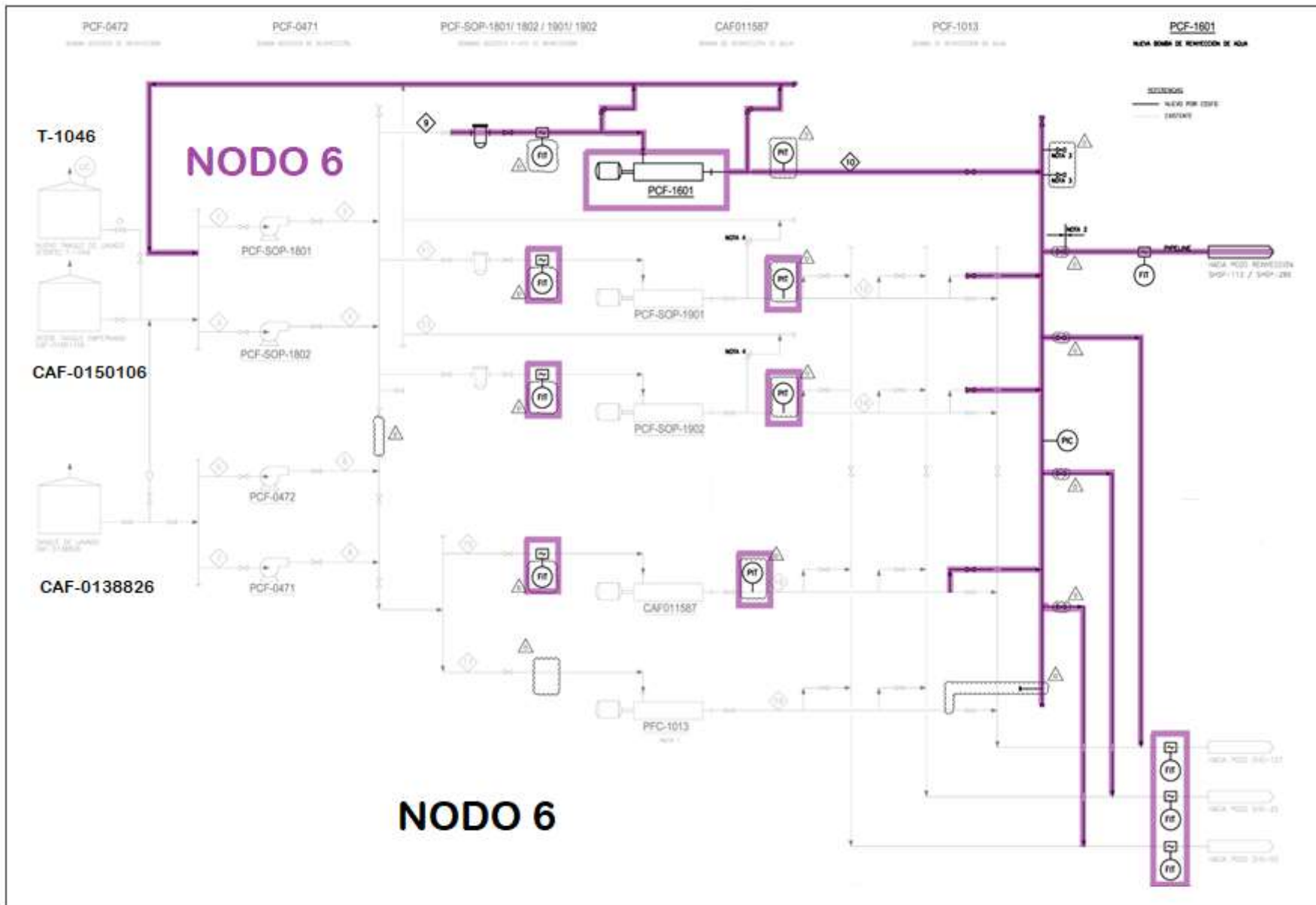
ANEXO II.9 P&ID-NODO 6- NUEVA BOMBA DE REINYECCIÓN PCF 1601



ANEXO II.10 P&ID-NODO 6- NUEVA BOMBA DE REINYECCIÓN PCF 1601



ANEXO II.10 P&ID-NODO 6- NUEVA BOMBA DE REINYECCIÓN PCF 1601



**ANEXO III: TABLAS DE DESVIACIONES IDENTIFICADAS-
CAUSAS, CONSECUENCIAS, SALVAGUARDAS**

ANEXO IV.1 NODO 1 DESVIACIÓN 2-TANQUE DE LAVADO T-1046

NODO 1 Y NODO 3-DESVIACIÓN 2: BAJO NIVEL (TANQUE DE LAVADO-T 1046)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
<p>1. Falla en el lazo de control de salida de agua LIT/LIC-SOP-0303.</p>	<p>1. Envío de crudo a tanque pulmón de agua. Posible derrame de tanque pulmón.</p>	<p>*Alarma de bajo nivel LAL-SOP-0302.</p>	10	Ocasional	III-C	<p>7. Incorporar alarma sonora redundante, independiente al lazo LIT/LICSOP- 0303, por muy bajo o muy alto nivel del tanque de lavado T-SOP-0301.</p> <p>8. Evaluar la posibilidad de instalar un switch independiente vinculado a la alarma sonora.</p> <p>9. Agregar interlock dando redundancia a la actuación del I-1 (cierre de válvula LV-SOP-301).</p> <p>10. Actualizar procedimiento operativo y capacitar al personal para la actuación ante las alarmas visual y sonora por bajo nivel en el tanque TSOP-0301.</p> <p>11. Incorporar switch de presión en el manifold de alimentación de aire de instrumentos.</p>	Empresa prestadora de servicios
<p>2. Error operativo. Apertura del bypass de la válvula de control de nivel LV-SOP-0301</p>	<p>1. Envío de crudo a tanque pulmón de agua. Posible derrame de tanque pulmón.</p>	<p>*Alarma de bajo nivel LAL-SOP-0302. *</p> <p>*Alarmas de bajo y muy bajo nivel LAL/LALL-SOP-303.</p>	10	Ocasional	IV-D	<p>7. Incorporar alarma sonora redundante, independiente al lazo LIT/LICSOP- 0303, por muy bajo o muy alto nivel del tanque de lavado T-SOP-0301.</p> <p>10. Actualizar procedimiento operativo y capacitar al personal para la actuación ante las alarmas visual y sonora por bajo nivel en el tanque T-SOP-301.</p> <p>12. Incorporar alarma por "no cierre" de válvula de bypass de la LV-SOP-0301.</p>	Empresa operadora y prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.2 NODO 1 DESVIACIÓN 3-TANQUE DE LAVADO T-1046

NODO 1 Y NODO 3-DESVIACIÓN 3: ALTO NIVEL DE INTERFASE (TANQUE DE LAVADO-T 1046)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Falla en el lazo de control de salida de agua LIT/LIC-SOP-303.	1. Crudo fuera de especificación con necesidad de reposo.	*Indicación de alto nivel LIT-SOP-302B.	1	Ocasional	I-A	13. Configurar alarma de alto nivel de interfase en el LIT-SOP-0302B.	Empresa prestadora de servicios
2. Error operativo-cierre de válvula en línea de salida de agua 12" WP-980306-AA1.	1. Crudo fuera de especificación con necesidad de reposo.	*Indicación de alto nivel LIT-SOP-302B. *Alarma de alto y muy alto nivel de interfase LAH/LAHH-SOP-303.	1	Ocasional	I-A	13. Configurar alarma de alto nivel de interfase en el LIT-SOP-0302B.	Empresa prestadora de servicios
3. Alto nivel en tanque de descarga de agua (nivel hidrostático adverso)	1. Crudo fuera de especificación con necesidad de reposo.	*Indicación de alto nivel LIT-SOP-302B. *Alarma de alto y muy alto nivel de interfase LAH/LAHH-SOP-303.	1	Ocasional	I-A	13. Configurar alarma de alto nivel de interfase en el LIT-SOP-0302B.	Empresa prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.3 DESVIACIÓN 4-BOMBAS (PCF-SOP-1901/1902 CAF011587)

NODO 1 y NODO 3-DESVIACIÓN 4: BAJO NIVEL DE INTERFASE (TANQUE DE LAVADO-T 1046)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Falla en el lazo de control de salida de agua LIT/LIC-SOP-303	1. Envío de crudo a tanque pulmón de agua. Pérdida de crudo.	*Indicación de alto nivel LIT-SOP-302B.	5	Ocasional	II-B	14. Configurar alarma de bajo nivel de interfase en el LIT-SOP-0302B	Empresa prestadora de servicios
2. Error operativo. Apertura del bypass de la válvula de control de nivel LV-SOP-0301.	1. Envío de crudo a tanque pulmón de agua. Pérdida de crudo.	*Alarmas de bajo y muy bajo nivel LAL/LALL-SOP-303.	5	Ocasional	II-B	14. Configurar alarma de bajo nivel de interfase en el LIT-SOP-0302B	Empresa prestadora de servicios

DESVIACIÓN 5,6. ALTA Y BAJA PRESIÓN

* Se analizó la desviación y se asegura que cumple con las normas API-650 (tanque), por lo que no se detectaron posibles causas que las provoquen.

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.4 NODO 2 DESVIACIÓN 1-TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

NODO 2-DESVIACIÓN 1: ALTO NIVEL (TANQUE EMPERNADO CAF-0150106)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Falla en el lazo de control de salida de agua LIT/LIC	1.- Rebalse de Agua del tanque	*Rebalse de emergencia de 14". *Alarmas de alto y muy alto nivel. *Alarma de alto nivel. *Cubeto de contención.	5	Infrecuente	II-B	1. Agregar candado abierto (LO) a la válvula del rebalse de emergencia 12". 15. Revisar la altura de salida normal de agua del tanque y la altura seteada a los switches de alto y muy alto nivel. 4. Enfatizar en el procedimiento operativo que las válvulas de descarga del cubeto deben estar normalmente cerradas. 16. Revisar procedimiento operativo del tanque en caso de rebosado del fluido contenido. 17. Revisar procedimiento operativo manual de las bombas en caso de rebosado del fluido contenido.	Empresa prestadora de servicios
	2.- Rebalse de crudo del tanque	*Rebalse de emergencia de 14"-OP-980311-AA1. *Alarmas de alto y muy alto nivel LAH/LAHH-SOP-0301. *Alarma de alto nivel LAH-SOP-0302. *Cubeto de contención.	5	Infrecuente	II-B	1. Agregar candado abierto (LO) a la válvula del rebalse de emergencia 12"-AA1-2R-T. 2. Revisar la altura de salida normal de crudo del tanque T-SOP-0301 y la altura seteada a los switches de alto y muy alto nivel LAH/LAHH-SOP-0301. 3. Programar alarma de alto nivel de interfase en transmisor LIT-SOP-0302. 4. Enfatizar en el procedimiento operativo que las válvulas de descarga del cubeto deben estar normalmente cerradas. 5. Revisar procedimiento operativo del tanque de destino de crudo CAF0148343 y acciones a tomar en relación a la operación del tanque T-SOP-0301.	Empresa operadora y prestadora de servicios

Continuación de la tabla:

<p>2. Error operativo. Cierre de válvula en línea de salida de agua</p>	<p>1.- Rebalse de Agua del tanque</p>	<p>*Rebalse de emergencia de 14". *Alarmas de alto y muy alto nivel. *Alarma de alto nivel. *Cubeto de contención.</p>	5	Infrecuente	II-B	<p>1. Agregar candado abierto (LO) a la válvula del rebalse de emergencia 12". 16. Revisar la altura de salida normal de agua del tanque y la altura seteada a los switches de alto y muy alto nivel. 4. Enfatizar en el procedimiento operativo que las válvulas de descarga del cubeto deben estar normalmente cerradas. 16. Revisar procedimiento operativo del tanque en caso de rebosado del fluido contenido. 17. Revisar procedimiento operativo manual, de las bombas en caso de rebosado del fluido contenido.</p>	<p>Empresa operadora y prestadora de servicios</p>
	<p>2.- Rebalse de crudo del tanque</p>	<p>*Rebalse de emergencia de 14"-OP-980311-AA1. *Alarmas de alto y muy alto nivel LAH/LAHH-SOP-0301. *Alarma de alto nivel LAH-SOP-0302. *Cubeto de contención.</p>	20	Ocasional	IV-D	<p>1. Agregar candado abierto (LO) a la válvula del rebalse de emergencia 12"-AA1-2R-T. 2. Revisar la altura de salida normal de crudo del tanque T-SOP-0301 y la altura seteada a los switches de alto y muy alto nivel LAH/LAHH-SOP-0301. 3. Programar alarma de alto nivel de interfase en transmisor LIT-SOP-0302. 4. Enfatizar en el procedimiento operativo que las válvulas de descarga del cubeto deben estar normalmente cerradas. 5. Revisar procedimiento operativo del tanque de destino de crudo CAF0148343 y acciones a tomar en relación a la operación del tanque T-SOP-0301.</p>	<p>Empresa operadora y prestadora de servicios</p>
<p>3. Alto nivel de agua en tanque de almacenamiento de agua.</p>	<p>1. Rebalse de agua.</p>	<p>*Rebalse de emergencia de por línea de descarga para. *Alarmas de alto y muy alto nivel. *Alarmas de alto y muy alto nivel. *Alarma de alto nivel. *Cubeto de contención.</p>	5	Remota	I-A	<p>18. Revisar diseño hidráulico del tanque y operaciones para rebosados de tanque. 17. Revisar procedimiento operativo manual de las bombas en caso de rebosado del fluido contenido.</p>	<p>Empresa prestadora de servicios</p>

ANEXO IV.5 NODO 2 DESVIACIÓN 2-TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

NODO 2-DESVIACIÓN 2: BAJO NIVEL (TANQUE EMPERNADO CAF-0150106)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Falla en el lazo de control de salida de agua LIT/LIC-SOP-0303.	1. Envío de agua tanque pulmón de agua. Posible derrame de tanque pulmón.	*Alarma de bajo nivel LAL-SOP-0302.	10	Ocasional	III-C	<p>19. Incorporar alarma sonora redundante, independiente al lazo LIT/LICSOP- 0303, por muy bajo o muy alto nivel del tanque de almacenamiento de agua.</p> <p>8. Evaluar la posibilidad de instalar un switch independiente vinculado a la alarma sonora.</p> <p>20. Agregar interlock dando redundancia a la actuación del I-1 (cierre de válvula).</p> <p>21. Actualizar procedimiento operativo y capacitar al personal para la actuación por bajo nivel en el tanque emperrado.</p> <p>12. Incorporar switch de presión en el manifold de alimentación de aire de instrumentos.</p> <p>22. Revisar procedimiento operativo manual de las bombas en caso de nivel bajo de fluido.</p>	Empresa prestadora de servicios
2. Error operativo. Apertura del bypass de la válvula de control de nivel LV-SOP-0301	1. Envío de agua a tanque pulmón de agua. Posible derrame de tanque pulmón.	*Alarma de bajo nivel LAL-SOP-0302. * *Alarmas de bajo y muy bajo nivel LAL/LALL-SOP-303.	10	Ocasional	III-C	<p>18. Incorporar alarma sonora redundante, independiente al lazo LIT/LICSOP- 0303, por muy bajo o muy alto nivel del tanque de almacenamiento de agua.</p> <p>20. Actualizar procedimiento operativo y capacitar al personal para la actuación por bajo nivel en el tanque emperrado.</p> <p>11. Incorporar alarma por "no cierre" de válvula de bypass de la LV-SOP-0301.</p> <p>22. Revisar procedimiento operativo manual de las bombas en caso de nivel bajo de fluido.</p>	Empresa prestadora de servicios

DESVIACIÓN 5,6. ALTA Y BAJA PRESIÓN

* Se analizó la desviación y se asegura que cumple con las normas API-650 (tanque), por lo que no se detectaron posibles causas que las provoquen.

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.6 NODO 4 DESVIACIÓN 1-BOMBAS BOOSTER EXISTENTES

NODO 4-DESVIACIÓN 1: NO FLUJO EN UNA DE LAS BOMBAS OPERATIVAS (BOMBAS BOOSTER PCF-1801/PCF-1802/PCF-0472/PCF-0471)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	S	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1.- Bloqueo de válvulas manuales de admisión por error operativo.	1. Deterioro mecánico de la bomba PCF-1801/1802/0472/0471	*Switch de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción de paro. *Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD.	5	Infrecuente	II-B	<p>23. Actualizar los P&IDs del estudio de acuerdo a la definición de tags enviada por la empresa operadora.</p> <p>24. Corregir la acción del switch de muy baja presión PSL-xxxx directamente sobre el mando eléctrico de la bomba.</p> <p>25. Revisar la simbología del mando eléctrico de las bombas booster para incluir el VSD.</p>	Empresa operadora y prestadora de servicios
2. Bloqueo de válvulas manuales de descarga por error operativo.	1. Deterioro mecánico de la bomba PCF-1801/1802/0472/0471	*Switch de alta presión en la succión de la bomba respectiva con acción de paro. *Transmisor de presión con alarma de muy alta presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD.	5	Infrecuente	II-B	<p>26. Revisar los valores de sets de las alarmas de presión a la descarga de las bombas booster una vez sean adjudicadas las mismas.</p>	Empresa operadora y prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana

Continuación de la tabla:

<p>3. Bloqueo de válvulas manuales de admisión por error operativo.</p>	<p>1. Problemas operativos con las bombas de alta presión PCF-1901/1901/-CAF011587</p>	<p>*Switch de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción de paro. *Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. *Bomba booster de emergencia.</p>	<p>5</p>	<p>Infrecuente</p>	<p>II-B</p>	<p>24. Corregir la acción del switch de muy baja presión PSSL-xxxx directamente sobre el mando eléctrico de la bomba. 25. Revisar la simbología del mando eléctrico de las bombas booster para incluir el VSD.</p>	<p>Empresa operadora y prestadora de servicios</p>
<p>4. Bloqueo de válvulas manuales de descarga por error operativo.</p>	<p>1. Problemas operativos con las bombas de alta presión PCF-1901/1901/-CAF011587</p>	<p>* Switch de alta presión en la descarga de la bomba respectiva con alarma. *Transmisor de presión con alarma de muy alta presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. *Bomba booster de emergencia</p>	<p>5</p>	<p>Infrecuente</p>	<p>II-B</p>	<p>26. Revisar los valores de sets de las alarmas de presión a la descarga de las bombas booster una vez sean adjudicadas las mismas.</p>	<p>Empresa operadora y prestadora de servicios</p>
<p>5. Bloqueo de válvulas manuales de admisión por error operativo.</p>	<p>1. Aumento de nivel de interfase en el tanque de lavado T1046/ACAF-138826.</p>	<p>*Switch de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción de paro. *Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. *Bomba booster de emergencia.</p>	<p>10</p>	<p>Infrecuente</p>	<p>II-B</p>	<p>27. Revisar la instrumentación y alarmas de los tanques de lavado para esta consecuencia de aumento de nivel de interfase.</p>	<p>Empresa prestadora de servicios</p>

Continuación de la tabla:

6. Bloqueo de válvulas manuales de descarga por error operativo.	1. Aumento de nivel de interfase en el tanque de lavado T1046/ACAF-138826.	* Switch de alta presión en la descarga de la bomba respectiva con alarma. *Transmisor de presión con alarma de muy alta presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. *Bomba booster de emergencia	10	Infrecuente	II-B	27. Revisar la instrumentación y alarmas de los tanques de lavado para esta consecuencia de aumento de nivel de interfase.	Empresa prestadora de servicios
7. Taponamiento del filtro en la admisión de la bomba.	1. Deterioro mecánico de la bomba PCF-1801/1802/0472/0471	*Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD.	5	Remota	I-A	28. Ninguna	
	2. Problemas operativos con las bombas de alta presión PCF-1901/1901/-CAF011587	*Switch de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción de paro.	5	Remota	I-A	28. Ninguna	
	3. Aumento de nivel de interfase en el tanque de lavado T1046/ACAF-138826.	*Transmisor de presión con alarma de muy alta presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. *Bomba booster de emergencia *Bypass del filtro de succión.	5	Infrecuente	II-B	19. Incorporar alarma sonora redundante, independiente al lazo de control, por muy bajo o muy alto nivel del tanque de almacenamiento de agua.	Empresa operadora y prestadora de servicios
8. Falla electromecánica de la bomba.	1. Problemas operativos con las bombas de alta presión PCF-1901/1901/-CAF011587	*Bomba booster de emergencia	5	Infrecuente	II-B	29. Cerciorarse la inclusión de las nuevas bombas que se instalen en el transcurso del tiempo, dentro del plan anual de mantenimiento de las bombas.	Empresa operadora y prestadora de servicios
	2. Aumento de nivel de interfase en el tanque de lavado T1046/ACAF-138826.	*Bomba booster de emergencia	5	Infrecuente	II-B	30. Revisar la existencia de un sistema de inyección de químicos aguas arriba de las bombas booster (línea de descarga de los tanques de lavado).	Empresa prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.7 NODO 4 DESVIACIÓN 2-BOMBAS BOOSTER EXISTENTES

NODO 4-DESVIACIÓN 2: CONTAMINACION POR EMULSION DE INTERFASE AGUA-PETROLEO (BOMBAS BOOSTER PCF-1801/PCF-1802/PCF-0472/PCF-0471)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Bajo nivel de interfase en tanque de lavado T-0041	1. Pérdida de producción por inyección de emulsión en pozos. Ensuciamiento de todo el sistema (bombas booster, líneas de inyección, pozo, etc.).	*Monitoreo diario de calidad de agua.	10	Infrecuente	II-B	31. Revisar la instrumentación y alarmas de los tanques de lavado para niveles bajos de interfase.	Empresa prestadora de servicios
	2. El área de este sistema no acepta bombeo de hidrocarburos.	*Mirillas de inspección visual de nivel de interfase en tanque de lavado.	10	Infrecuente	II-B	31. Revisar la instrumentación y alarmas de los tanques de lavado para niveles bajos de interfase.	Empresa prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.8 NODO 5 DESVIACIÓN 1-BOMBAS DE REINYECCIÓN EXISTENTES

NODO 5-DESVIACIÓN 1: NO FLUJO EN UNA DE LAS BOMBAS DE REINYECCIÓN EXISTENTES (PCF-1901/PCF-1902/CAF011587)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Bloqueo de válvulas manuales de admisión por error operativo	1. Deterioro mecánico de las bombas PCF-1901/1902/CAF 011587	*Switch de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción de paro. *Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. *Bomba booster de emergencia.	10	Infrecuente	II-B	32. Incorporar alarma por muy bajo caudal a los Caudalímetros en la succión de las bombas de reinyección.	Empresa operadora y prestadora de servicios
2. Taponamiento del filtro en la admisión de la bomba.	1. Deterioro mecánico de las bombas PCF-1901/1902/CAF 011587	*Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva. *Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. *Bomba booster de emergencia. *Transmisor de diferencial de presión con alarma de alta en el filtro de succión.	10	Remota	I-A	28. Ninguna	

Continuación de la tabla:

3. Falla electromecánica de la bomba.	1. Pérdida de capacidad de reinyección.	*Caudalímetro en la succión de las bombas de reinyección. *Bomba de respaldo.	1	Infrecuente	I-A	32. Incorporar alarma por muy bajo caudal a los Caudalímetros en la succión de las bombas de reinyección.	Empresa prestadora de servicios
4. Bloqueo de válvulas manuales de descarga por error operativo.	1. Posible rotura mecánica de la línea de descarga de las bombas.	*Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva. *Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. *Bomba booster de emergencia. *Transmisor de diferencial de presión con alarma de alta en el filtro de succión.	10	Infrecuente	II-B	33. Instalar válvulas de seguridad en la descarga de las bombas.	Empresa prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.9 NODO 5 DESVIACIÓN 2-BOMBAS DE REINYECCIÓN EXISTENTES

NODO 5-DESVIACIÓN 2: AUTO CAUDAL EN LAS BOMBAS DE REINYECCION EXISTENTES (PCF-1901/PCF-1902/CAF011587)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Rotura accidental catastrófica de la línea de descarga.	1. Derrame de agua a alta presión con impacto ambiental y humano.	*Transmisor de presión con alarmas por baja y muy baja presión en colector de descarga de las bombas de reinyección.	10	Infrecuente	II-B	34. Incluir este tipo de eventos al plan de emergencia de la estación, en este sistema de estudio. 35. Incorporar un enclavamiento con paro de todas las bombas por muy baja presión en el colector de descarga de las bombas de reinyección.	Empresa prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.10 NODO 5 DESVIACIÓN 3-BOMBAS DE REINYECCIÓN EXISTENTES

NODO 5-DESVIACIÓN 3: FLUJO INVERSO (BOMBAS DE REINYECCION EXISTENTES PCF-1901/PCF-1902/CAF011587)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Falla de la válvula check ante un paro (programado o no) de la bomba de reinyección.	1. Posible rotura mecánica de la línea de descarga de las bombas.	*Válvula de seguridad de succión de las bombas de reinyección.	10	Infrecuente	II-B	36. Incluir las válvulas check a plan de revisión periódico. 37. Incorporar alarma por muy alta presión al transmisor de presión en la succión de las bombas de reinyección (seteo al mismo valor que la válvula de seguridad de la succión).	Empresa operadora y prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.11 NODO 5 DESVIACIÓN 4-BOMBAS DE REINYECCIÓN EXISTENTES

NODO 5-DESVIACIÓN 4: VIBRACIÓN (BOMBAS DE REINYECCION EXISTENTES PCF-1901/PCF-1902/CAF011587)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Desbalanceo, rotura de sello, anclajes, falla de rodamientos del motor, etc.	1. Rotura mecánica del rotor de la bomba.	*Controles propios del paquete que comprende la bomba.	10	Infrecuente	II-B	38. Recopilar y si es posible actualizar los P&Ids para mejor comprensión.	Empresa prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.12 NODO 6 DESVIACIÓN 1-NUEVA BOMBA DE REINYECCIÓN PCF-1601

NODO 6-DESVIACION 1: ALTO FLUJO (BOMBA NUEVA-REINYECCIÓN)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Bloqueo manual succión	1. Deterioro Mecanico de la Bomba	* Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. PALL-SOP-1903/ PALL-SOP-YYY * Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905, *Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva. * Bomba de respaldo	10	Infrecuente	II-B	39. Capacitar al personal en el procedimiento operativo de puesta en línea de la bomba PCF-1601. 40. Incluir en el programa de mantenimiento las protecciones la bomba PCF-1601.	Empresa prestadora de servicios
	2. Pérdida de capacidad de inyección/reinyección de agua/ *Pérdida de producción de petróleo por alto nivel de la interfase en el tanque de lavado T-1046	*Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905 * Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva. LAHH-SOP-0303 (tanque T-1046)	1	Ocasional	I-A	Ninguna	Empresa operadora
2. taponamiento del filtro F-0243	1.Disminución en la presión de succión, y deterioro mecánico de la bomba PCF-1601	*Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD.	10	Infrecuente	II-B	41. Instalar doble filtro en la línea de succión de las bombas booster PCF-SOP-1801/1802 en el tanque definitivo de lavado.	Empresa prestadora de servicios
	2.Pérdida de capacidad de inyección/reinyección de agua/ Pérdida de producción de petróleo por alto nivel de la interfase en el tanque de lavado T-1046	* Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. PALL-SOP-1903/ PALL-SOP-YYY * Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905, *Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva. *Transmisor de diferencial de presión con alarma de alta en el filtro de succión. * Bomba de respaldo	10	Ocasional	III-C	19. Incorporar alarma sonora redundante, independiente al lazo LIT/LICSOP- 0303, por muy bajo o muy alto nivel del tanque de almacenamiento de agua. 20. Agregar interlock dando redundancia a la actuación del I-1 (cierre de válvula). 21. Actualizar procedimiento operativo y capacitar al personal para la actuación por alto nivel de interfase en el tanque de lavado.	Empresa prestadora de servicios

Continuación de la tabla:

3. Falla del lazo de control de presión/override nivel tanque lavado PIC-SOP-1901/XY-SOP-1905	1. Pérdida de capacidad de reinyección de agua	Alarma de muy bajo flujo.-SOP-1905	5	Ocasional	IIB	42. Asegurar la configuración N+1 de la operación de todas las bombas. Plantear en la filosofía de control todas las alternativas operativas posibles.	Empresa prestadora de servicios
	2. Daño mecánico de la bomba, por operación debajo del caudal mínimo.	* Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. PALL-SOP-1903/ PALL-SOP-YYY * Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905, * Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva. * Bomba de respaldo * Sensor de temperatura al cuerpo de la bomba PCF-1601 (a instalar).	10	Infrecuente	IIB	43. Implementar un plan de gestión de alarmas en el manual de operaciones. 6. Instalar una alarma general visual (luces estroboscópicas) y audible (sirena).	Empresa prestadora de servicios
	3. Pérdida de capacidad de inyección/reinyección de agua/ Pérdida de producción de petróleo por alto nivel de la interfase en el tanque de lavado T-016	* Alarma de muy bajo flujo. FALL-SOP-1905 * Alarma de muy alto nivel de tanque de lavado.LAHH-SOP-0303 (tanque T-1046)	10	Ocasional	IIIC	19. Incorporar alarma sonora redundante, independiente al lazo LIT/LICSOP- 0303, por muy bajo o muy alto nivel del tanque de almacenamiento de agua.	
4. Taponamiento de la tubería por sólidos e incrustaciones	1. Pérdida de capacidad de reinyección de agua	* Alarma de muy bajo flujo. FALL-SOP-1905	5	Ocasional	IIB	44. Incorporar la facilidad de tres puntos para inyección de químicos en la succión de las bombas booster.	Empresa prestadora de servicios
	2. Daño mecánico de la bomba, por operación debajo del caudal mínimo.	* Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. PALL-SOP-1903/ PALL-SOP-YYY * Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905, * Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva. * Bomba de respaldo * Sensor de temperatura al cuerpo de la bomba PCF-1601 (a instalar).	10	Remota	IA	Ninguna	

Continuación de la tabla:

<p>5. Falla de las bombas booster</p>	<p>1. Deterioro mecánico de la bomba PCF-1601</p>	<p>* Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. PALL-SOP-1903/ PALL-SOP-YYY * Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905, *Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva. * Bomba de respaldo *Sensor de temperatura al cuerpo de la bomba PCF-1601 (a instalar).</p>	<p>10</p>	<p>Remota</p>	<p>IA</p>	<p>45. Incorporar las alarmas de estado de las bombas booster al PLC.</p>	<p>Empresa prestadora de servicios</p>
<p>6. Descarga bloqueada de la bomba PCF-1601</p>	<p>1. Ruptura de accesorios en la descarga por incremento de presión.</p>	<p>* Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. PALL-SOP-1903/ PALL-SOP-YYY * Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905, *Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva. * Bomba de respaldo</p>	<p>5</p>	<p>Infrecuente</p>	<p>IIB</p>	<p>46. Modificar el set de las PSVS o PIT/PAHH de manera tal que las válvulas actúen como última capa de protección del sistema.</p>	<p>Empresa prestadora de servicios</p>
	<p>2. Deterioro mecánico de la bomba PCF-1601</p>	<p>PSV-SOP-1305 *Alarma de muy alta presión. PAHH-SOP-1901 con paro de equipo *PAHH-SOP-YYY con paro de equipo (paquete) *PSHH-SOP-YYY con paro de equipo (paquete)</p>	<p>10</p>	<p>Remota</p>	<p>IA</p>	<p>Ninguna</p>	

Continuación de la tabla:

<p>7. Falla electromecánica de la bomba PCF-1601</p>	<p>1. Pérdida de capacidad de reinyección de agua</p>	<p>*Caudalímetro en la succión de las bombas de reinyección. *Bomba respaldo</p>	<p>5</p>	<p>Ocasional</p>	<p>IIB</p>	<p>47. El PLC debe reflejar todas las alarmas de estado de las bombas. 42. Asegurar la configuración N+1 de la operación de todas las bombas. Plantear en la filosofía de control todas las alternativas operativas posibles.</p>	<p>Empresa prestadora de servicios</p>
<p>8. Error operativo en puesta en marcha (operación sin fluido del equipo)</p>	<p>1. Deterioro mecánico de la bomba PCF-1601</p>	<p>* Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. PALL-SOP-1903/ PALL-SOP-YYY * Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905, *Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva. * Bomba de respaldo *Sensor de temperatura al cuerpo de la bomba PCF-1601 (a instalar).</p>	<p>10</p>	<p>Remota</p>	<p>IA</p>	<p>Ninguna</p>	

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.13 NODO 6 DESVIACIÓN 2-NUEVA BOMBA DE REINYECCIÓN PCF-1601

NODO 6-DESVIACIÓN 2: ALTO CAUDAL							
(BOMBA NUEVA-REINYECCIÓN)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	S	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Falla del lazo de control de presión PIC-SOP-1901	1. Daño mecánico de la bomba, por operación a caudales encima del máximo.	* Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. PALL-SOP-1903/ PALL-SOP-YYY * Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905, *Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva.	10	Remota	IA	48. Configurar alarmas por sobre velocidad en los variadores de las bombas.	Empresa prestadora de servicios
2. Rotura de línea de descarga	1. Daño mecánico de la bomba, por operación a caudales encima del máximo.	* Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. PALL-SOP-1903/ PALL-SOP-YYY * Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905, *Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva.	10	Infrecuente	IIB	48. Configurar alarmas por sobre velocidad en los variadores de las bombas.	Empresa prestadora de servicios
3. Apertura indebida de PSV	1. Pérdida de capacidad de reinyección de agua.	Ninguna	5	Ocasional	IIB	48. Configurar alarmas por sobre velocidad en los variadores de las bombas. 49. Analizar incorporar un disco de ruptura con manómetro previo a la PSV-SOP-1305 o un switch de flujo.	Empresa prestadora de servicios
4. Falla del lazo de control nivel LIC-SOP-0303 (tanque T-1046)	1. Daño mecánico de la bomba, por operación a caudales encima del máximo.	* Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. PALL-SOP-1903/ PALL-SOP-YYY * Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905, *Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva.	10	Ocasional	IIIC	50. Emitir la filosofía de operación y control como parte de la ingeniería de básica. Evaluar la afectación de flujo hacia la PIA (Análisis Hidráulico).	Empresa prestadora de servicios

ANEXO IV.14 NODO 6 DESVIACIÓN 3- NUEVA BOMBA DE REINYECCIÓN PCF-1601

NODO 5-DESVIACIÓN 3: FLUJO INVERSO (BOMBA NUEVA-REINYECCIÓN)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Falla de la válvula de retención con la bomba PCF-1601 en stand by	1. Rotura de sellos de la bomba PCF-1601.	* Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905, *Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva.	5	Ocasional	IIB	51. Revisar el procedimiento operativo para verificar que se cierren las válvulas de succión y descarga cuando la PCF-1601 se retira de servicio.	Empresa operadora y prestadora de servicios
	2. Ruptura de accesorios y línea de succión de la bomba	* Transmisor de presión con alarma de muy baja presión en la succión de la bomba respectiva con acción sobre el VSD. PALL-SOP-1903/ PALL-SOP-YYY * Alarma de flujo bajo-bajo FALL-SOP-1905, *Switch de baja presión con alarma en la succión de la bomba respectiva.	5	Infrecuente	IIB	52. Confirmar que los internos de la válvula de retención sean de acero inoxidable. 53. Analizar incorporar un disco de ruptura con manómetro previo a la PSV-SOP-1304. Analizar incorporar un switch de flujo en la descarga de la PSV-SOP-1304	Empresa prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.15 NODO 6 DESVIACIÓN 4- NUEVA BOMBA DE REINYECCIÓN PCF-1601

NODO 6-DESVIACIÓN 4: Bajo Caudal (BOMBA EXISTENTES)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Falla del lazo de control de presión PIC-SOP-XXX (PCF-SOP-1901/1902 CAF011587)	1. Pérdida de capacidad de reinyección de agua	*Alarma de flujo muy alto-SOP-1906/1907/1908 (PCF-SOP-1901/1902 CAF011587)	5	Ocasional	IIB	4. Asegurar la configuración N+1 de la operación de todas las bombas.	Empresa operadora y prestadora de servicios
	2. Daño mecánico de la bomba, por operación debajo del caudal mínimo.	*Alarma de flujo muy alto-SOP-1906/1907/1908 (PCF-SOP-1901/1902 CAF011587) *PSL-SOP-XXX con paro de equipo(existentes de las bombas)	10	Infrecuente	IIB	54. Incorporar las alarmas de estado del variador de las bombas existentes al PLC. 55. Verificar la existencia del switch por baja presión en las bombas existentes.	Empresa operadora y prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV.15 NODO 6 DESVIACIÓN 5- NUEVA BOMBA DE REINYECCIÓN PCF-1601

NODO6-DESVIACIÓN 5: Alto Caudal (BOMBA EXISTENTES)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Falla transmisor de presión PIT-SOP-XXX (PCF-SOP-1901/1902 CAF011587)	1. Daño mecánico de la bomba, por operación a caudales encima del máximo.	Alarma de flujo muy alto-1906/1907/1908 (PCF-SOP-1901/1902 CAF011587) *PSH-SOP-YYY con paro de equipo(paquete)	10	Infrecuente	IA	56. Incorporar alarma de activación del control override en el PLC. 20. Verificar que la filosofía del control override quede descrita claramente en la memoria correspondiente. 57. Individualizar los controles de presión de descarga de cada bomba.	Empresa operadora y prestadora de servicios
2. Paro de una bomba con pozos con baja presión de admisión	1. Daño mecánico de la bomba, por operación a caudales encima del máximo.	*Alarma de flujo muy alto-1906/1907/1908 (PCF-SOP-1901/1902 CAF011587)	10	Infrecuente	IIB	58. Incorporar límite de velocidad máxima en el variador de velocidad de las bombas PCF-SOP-1901/1902 y CAF011587. 54. Incorporar las alarmas de estado del variador de las bombas existentes al PLC	La empresa operadora, porcionara la información disponible.

ANEXO IV.15 NODO 6 DESVIACIÓN 6- NUEVA BOMBA DE REINYECCIÓN PCF-1601

NODO 6-DESVIACIÓN 6: Flujo Inverso (BOMBA EXISTENTES)							
CAUSA	CONSECUENCIA	SALVAGUARDAS	C	PO	N	RECOEMENDACIONES	RESPONSABILIDADES
1. Falla de la válvula de retención con la bomba (PCF-SOP-1901/1902 CAF011587) en stand by	1. Rotura de sellos de la bomba (PCF-SOP-1901/1902 CAF011587)	Ninguna	5	Frecuente	IIIC	59. Revisar el procedimiento operativo para verificar que se cierren las válvulas de succión y descarga cuando las (PCF-SOP-1901/1902 CAF011587) se retiran de servicio.	Empresa operadora y prestadora de servicios
	2. Ruptura de accesorios y línea de succión de la bomba	Ninguna	10	Infrecuente	IIA	59. Revisar el procedimiento operativo para verificar que se cierren las válvulas de succión y descarga cuando las (PCF-SOP-1901/1902 CAF011587) se retiran de servicio.	Empresa operadora y prestadora de servicios

Elaborado por: Álvaro Pillana

ANEXO IV: RECOMENDACIONES PARA CADA DESVIACIÓN

No	Riesgo	Nivel de Riesgo
1	Agregar candado abierto (LO) a la válvula del rebalse de emergencia 12"-AA1-2R-T.	II-B
2	Revisar la altura de salida normal de crudo del tanque T-SOP-0301 y la altura seteada a los switches de alto y muy alto nivel LAH/LAHH-SOP-0301.	II-B
3	Programar alarma de alto nivel de interfase en transmisor LIT-SOP-0302.	II-B
4	Enfatizar en el procedimiento operativo que las válvulas de descarga del cubeto deben estar normalmente cerradas.	II-B
5	Revisar procedimiento operativo del tanque de destino de crudo CAF0148343 y acciones a tomar en relación a la operación del tanque T-SOP-0301.	II-B
6	Revisar diseño hidráulico del tanque T-SOP-0301.	I-A
7	Incorporar alarma sonora redundante, independiente al lazo LIT/LICSOP- 0303, por muy bajo o muy alto nivel del tanque de lavado T-SOP-0301.	III-C
		IV-D
8	Evaluar la posibilidad de instalar un switch independiente vinculado a la alarma sonora.	III-C
9	Agregar interlock dando redundancia a la actuación del I-1 (cierre de válvula LV-SOP-301).	III-C
10	Actualizar procedimiento operativo y capacitar al personal para la actuación ante las alarmas visual y sonora por bajo nivel en el tanque TSOP-0301.	III-C
		IV-D
11	Incorporar switch de presión en el manifold de alimentación de aire de instrumentos.	III-C
12	Incorporar alarma por "no cierre" de válvula de bypass de la LV-SOP-0301.	IV-D
13	Configurar alarma de alto nivel de interfase en el LIT-SOP-0302B.	I-A

14	Configurar alarma de bajo nivel de interfase en el LIT-SOP-0302B.	II-A
15	Revisar la altura de salida normal de agua del tanque y la altura seteada a los switches de alto y muy alto nivel.	II-A
16	Revisar procedimiento operativo del tanque en caso de rebosado del fluido contenido.	II-A
17	Revisar procedimiento operativo manual de las bombas en caso de rebosado del fluido contenido.	II-A
		I-A
18	Revisar diseño hidráulico del tanque y operaciones para rebosados de tanque.	I-A
		III-C
19	Incorporar alarma sonora redundante, independiente al lazo LIT/LICSOP- 0303, por muy bajo o muy alto nivel del tanque de almacenamiento de agua.	III-C
20	Agregar interlock dando redundancia a la actuación del I-1 (cierre de válvula).	III-C
21	Actualizar procedimiento operativo y capacitar al personal para la actuación por bajo nivel en el tanque empernado.	III-C
22	Revisar procedimiento operativo manual de las bombas en caso de nivel bajo de fluido.	III-C
23	Actualizar los P&IDs del estudio de acuerdo a la definición de tags enviada por la empresa operadora.	II-B
24	Corregir la acción del switch de muy baja presión PSSL-xxxx directamente sobre el mando eléctrico de la bomba.	II-B
25	Revisar la simbología del mando eléctrico de las bombas booster para incluir el VSD.	II-B
26	Revisar los valores de sets de las alarmas de presión a la descarga de las bombas boosters una vez sean adjudicadas las mismas.	II-B

27	Revisar la instrumentación y alarmas de los tanques de lavado para esta consecuencia de aumento de nivel de interfase.	II-B
28	Ninguna	II-B
		I-A
29	Cerciorarse la inclusión de las nuevas bombas que se instalen en el transcurso del tiempo, dentro del plan anual de mantenimiento de las bombas.	II-B
30	Revisar la existencia de un sistema de inyección de químicos aguas arriba de las bombas booster (línea de descarga de los tanques de lavado).	II-B
31	Revisar la instrumentación y alarmas de los tanques de lavado para niveles bajos de interfase.	II-B
32	Incorporar alarma por muy bajo caudal a los caudalímetros en la succión de las bombas de reinyección.	II-B
		I-A
33	Instalar válvulas de seguridad en la descarga de las bombas.	II-B
34	Incluir este tipo de eventos al plan de emergencia de la estación, en este sistema de estudio.	II-B
35	Incorporar un enclavamiento con paro de todas las bombas por muy baja presión en el colector de descarga de las bombas de reinyección.	II-B
36	Incluir las válvulas check a plan de revisión periódico.	II-B
37	Incorporar alarma por muy alta presión al transmisor de presión en la succión de las bombas de reinyección (seteo al mismo valor que la válvula de seguridad de la succión).	II-B
38	Recopilar y si es posible actualizar los P&Ids para mejor comprensión.	II-B
39	Capacitar al personal en el procedimiento operativo de puesta en línea de la bomba PCF-1601.	II-B

40	Incluir en el programa de mantenimiento las protecciones la bomba PCF-1601.	II-B
41	Instalar doble filtro en la línea de succión de las bombas booster PCF-SOP-1801/1802 en el tanque definitivo de lavado.	II-B
42	Asegurar la configuración N+1 de la operación de todas las bombas. Plantear en la filosofía de control todas las alternativas operativas posibles.	II-B
43	Implementar un plan de gestión de alarmas en el manual de operaciones. 6. Instalar una alarma general visual (luces estroboscópicas) y audible (sirena).	II-B
44	Incorporar la facilidad de tres puntos para inyección de químicos en la succión de las bombas booster.	II-B
45	Incorporar las alarmas de estado de las bombas booster al PLC.	I-A
46	Modificar el set de las PSVS o PIT/PAHH de manera tal que las válvulas actúen como última capa de protección del sistema.	II-B
47	El PLC debe reflejar todas las alarmas de estado de las bombas.	II-B
48	Configurar alarmas por sobre velocidad en los variadores de las bombas.	II-B I-A
49	Analizar incorporar un disco de ruptura con manómetro previo a la PSV-SOP-1305 o un switch de flujo.	II-B
50	Emitir la filosofía de operación y control como parte de la ingeniería de básica. Evaluar la afectación de flujo hacia la PIA (Análisis Hidráulico).	III-C
51	Revisar el procedimiento operativo para verificar que se cierren las válvulas de succión y descarga cuando la PCF-1601 se retira de servicio.	II-B
52	Confirmar que los internos de la válvula de retención sean de acero inoxidable.	II-B
53	Analizar incorporar un disco de ruptura con manómetro previo a la PSV-SOP-1304. Analizar incorporar un switch de flujo en la descarga de la PSV-SOP-1304.	II-B

54	Incorporar las alarmas de estado del variador de las bombas existentes al PLC.	II-B
55	Verificar la existencia del switch por baja presión en las bombas existentes.	II-B
56	Incorporar alarma de activación del control override en el PLC. Verificar que la filosofía del control override quede descrita claramente en la memoria correspondiente	I-A
57	Individualizar los controles de presión de descarga de cada bomba.	II-B
58	Incorporar límite de velocidad máxima en el variador de velocidad de las bombas PCF-SOP-1901/1902 y CAF011587.	III-C
59	Revisar el procedimiento operativo para verificar que se cierren las válvulas de succión y descarga cuando las (PCF-SOP-1901/1902 CAF011587) se retiran de servicio.	II-B
		III-C

Elaborado por: Álvaro Pillana