

**PROPUESTA DE UN PLAN DE GESTIÓN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE
LOS RIESGOS DE LAS ZONAS DEL CENTRO DE PROCESOS E INNOVACIÓN
PARA LA INDUSTRIA SOSTENIBLE (CEPIIS)**

LUISA FERNANDA HIGUERA IMBRES

**Proyecto de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

DIRECTOR

**Yovanny Morales Hernández
INGENIERO QUÍMICO**

CODIRECTOR

**Juan Camilo Cely Garzón
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.**

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director

Firma del presidente jurado

Nombre

Firma del Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá D.C, febrero de 2024

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Guerra Prieto

Directora Departamento de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mi madre y a mi padre, que son un gran apoyo para mí y siempre estuvieron presentes con mucho amor y comprensión a lo largo de mi trayectoria académica.

A mi perrito Tommy, que ha estado conmigo en los momentos más importantes de mi vida y con su compañía me brinda calma y motivación.

A mi familia, que siempre está pendiente de lo que necesito y me brinda todo su apoyo.

A mi novio Ángel, quien siempre me escucha y cree en mí, brindandome todo su amor y apoyo para sobrellevar los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por ser luz en mi camino y por haberme dado sabiduría y fortaleza para alcanzar mis objetivos. A mis padres por su paciencia, apoyo y estímulo constante para que día a día me esforzara por cumplir con mis actividades académicas.

A Yovanny mi director de tesis, quien siempre me animó y apoyó para sacar adelante el trabajo, a los profesores Juan Camilo e Iván por su paciencia y comprensión, y demás docentes y directivos de la Fundación Universidad de América, que me brindaron sus conocimientos y aprendizajes para forjar mi camino como profesional.

A mis amigos, familia, mi novio, que de una u otra manera me ayudaron, unos compartiendo sus conocimientos, otros aclarando mis dudas y otros apoyándome e impulsándome para seguir adelante y lograr ser una Ingeniera Química.

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

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	16
1. GENERALIDADES TEÓRICAS	17
1.1. Planta Piloto	17
1.2. Riesgo	18
1.3. Gestión de riesgo	18
1.4. Análisis de Riesgos	19
1.5. Herramientas de análisis de riesgos	20
1.6. Riesgos en la planta piloto	21
1.4 Marco legal	24
2. METODOLOGÍA	25
2.1. Identificación de zonas de riesgo por equipo	25
2.1.1. Zona CEPURE	26
2.1.2. Zona CESI	37
2.1.3. Zona CETA	41
2.1.4. Zona BIOCAL	48
2.1.5. Zona CUBO	51
2.2. Identificación de los riesgos	53
2.2.1. Matriz de riesgo	54
2.2.2. Metodología What If	58
2.2.3. Metodología HAZOP	70
2.2.4. Metodología Bow-Tie	81
2.3 Estructuración del plan de gestión de riesgos de proceso	104
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	108

3.1.	Análisis de resultados metodología What If	108
3.2.	Análisis de resultados estudio HAZOP	109
3.2.1.	<i>Análisis de resultados HAZOP columna de destilación</i>	109
3.2.2.	<i>Análisis de resultados HAZOP columna de absorción</i>	110
3.2.3.	<i>Análisis de resultados HAZOP planta de extracción sólido líquido, y líquido líquido</i>	111
3.2.4.	<i>Analisis de resultados HAZOP secador de bandejas</i>	112
3.2.5.	<i>Analisis de resultados HAZOP planta termica</i>	112
3.2.6.	<i>Análisis de resultados HAZOP PTAR</i>	114
3.2.7.	<i>Análisis de resultados HAZOP banco de reactores</i>	115
3.2.8.	<i>Analisis de resultados HAZOP tren de evaporadores</i>	116
3.2.9.	<i>Análisis de resultados HAZOP biorreactor</i>	116
3.2.10.	<i>Analisis de resultados HAZOP reactor de alta presión</i>	117
3.2.11.	<i>Analisis de resultados HAZOP tanques de almacenamiento</i>	117
3.3.	Análisis de resultados metodología Bow Tie	118
3.4.	Discusión de resultados	119
4.	CONCLUSIONES	122
5.	RECOMENDACIONES	123
	BIBLIOGRAFÍA	124
	ANEXOS	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Entrada del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS).	18
Figura 2. Esquema de los objetivos de la creación y protección del valor	19
Figura 3. Representación proceso de destilación.	26
Figura 4. Columna de destilación	27
Figura 5. Diagrama P&ID columna de destilación	29
Figura 6. Montaje columna de absorción.	30
Figura 7. Diagrama P&ID columna de absorción.	32
Figura 8. Secador de bandejas.	33
Figura 9. Diagrama P&ID secador de bandejas	34
Figura 10. Extractor sólido-líquido, líquido-líquido	35
Figura 11. Diagrama P&ID extractor	36
Figura 12. Planta térmica	37
Figura 13. P&ID planta térmica	38
Figura 14. Representación de una PTAR subterránea	40
Figura 15. PTAR CEPIIS	40
Figura 16. Banco de reactores	42
Figura 17. Representación reactor CSTR	43
Figura 18. Representación Reactor PFR	44
Figura 19. Representación reactor PBR	44
Figura 20. Diagrama P&ID banco de reactores	45
Figura 21. Tren de evaporadores	46
Figura 22. Diagrama P&ID tren de evaporadores	47
Figura 23. Biorreactor	49
Figura 24. Reactor de alta presión	50
Figura 25. Zona CUBO	51
Figura 26. Tanques de almacenamiento en CUBO	52
Figura 27. Esquema metodología Bow-Tie	82
Figura 28. Secador de bandejas - Llenado del reservorio de agua	84
Figura 29. Secador de bandejas - Secar el material	85
Figura 30. Planta de Extracción - Uso de aceite térmico como fluido calefactor	86
Figura 31. Planta de Extracción - Percolar el solvente/sólido	87
Figura 32. Planta de extracción - Concentrar una sustancia	88

Figura 33. Planta de extracción - desfleamar una sustancia.	89
Figura 34. Planta térmica - Almacenamiento de salmuera	90
Figura 35. Almacenamiento de ACPM en un tanque	91
Figura 36.Planta térmica - Generación de vapor con la caldera	92
Figura 37. Flujo de agua en la torre de enfriamiento	93
Figura 38. Reactor de alta presión - Ingreso de sustancia al reactor	94
Figura 39. Biorreactor - Ingreso de un cultivo al biorreactor	95
Figura 40. Banco de reactores - Ingreso de alimento en el reactor CSTR	96
Figura 41. Banco de reactores - Mezcla de reactivos en el reactor CSTR	97
Figura 42. Banco de reactores - Ingreso de alimento en el reactor PFR	98
Figura 43. Banco de reactores - Composición química almacenada en el tanque del reactor PBR	99
Figura 44. Evaporadores - Alimentación en el evaporador de tubos verticales E-101	100
Figura 45.Evaporadores - Alimentación en el evaporador de tubos horizontales E-102	101
Figura 46. Tanques - Almacenamiento de agua de proceso en el tanque	102
Figura 47. Tanques - Almacenamiento de agua tratada en un tanque	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Herramientas de análisis de riesgos	21
Tabla 2. Matriz de consecuencias	55
Tabla 3. Matriz de probabilidad	56
Tabla 4. Clasificación del riesgo	57
Tabla 5. Matriz Probabilidad – Impacto	57
Tabla 6. Análisis What-If Zonas CEPIS	60
Tabla 7. Utilización de palabras guía	73
Tabla 8. Ejemplo HAZOP Secador de bandejas - Nodo TK-401	78
Tabla 9. Principales riesgos identificados en el CEPIS	120
Tabla 10. HAZOP Columna de destilación – nodo TK-102/TK-101	176
Tabla 11. Columna de destilación - nodo HE-101/HE-102	181
Tabla 12. Columna de destilación - nodo C-101 (Alimentación)	186
Tabla 13. HAZOP Columna de destilación - Nodo C-101 (Cima)	192
Tabla 14. HAZOP Columna de destilación - Nodo C-101 (Fondos)	196
Tabla 15. HAZOP Columna de absorción - Nodo TK-201	203
Tabla 16. HAZOP Columna de absorción - Nodo compresor y humidificador	207
Tabla 17. HAZOP Columna de absorción - Nodo TK-203	212
Tabla 18. HAZOP Secador de bandejas - Nodo TK-401	217
Tabla 19. HAZOP Secador de bandejas - Nodo DC-401	219
Tabla 20. HAZOP Secador de bandejas - Nodo AF-401	220
Tabla 21. HAZOP Planta de extracción - Nodo TK-301	222
Tabla 22. HAZOP Planta de extracción - Nodo R-301	229
Tabla 23. HAZOP Planta de extracción - Nodo TC-301	232
Tabla 24. HAZOP Planta de extracción - Nodo E-301	237
Tabla 25. Hazop Planta de extracción - Nodo TK-302/TK-303	240
Tabla 26. HAZOP Planta térmica - Nodo TK-700	243
Tabla 27. HAZOP Planta térmica - Nodo TK-701	247
Tabla 28. HAZOP Planta térmica - Nodo B-701	252
Tabla 29. HAZOP Planta térmica - Nodo F-701	256
Tabla 30. HAZOP Planta térmica - Nodo DV-701	261
Tabla 31. HAZOP Planta térmica - Nodo TK-705	264
Tabla 32. HAZOP Planta térmica - Nodo T-701	268

Tabla 33. HAZOP PTAR - Nodo tanque de almacenamiento de agua lluvia	271
Tabla 34. HAZOP PTAR - Nodo tanque de almacenamiento de agua de proceso	273
Tabla 35. HAZOP PTAR - Nodo bombas sumergibles	275
Tabla 36. HAZOP Banco de reactores - Nodo - reactores CSTR	277
Tabla 37. HAZOP Banco de reactores - Nodo reactores PFR	283
Tabla 38. HAZOP Banco de reactores - Nodo reactores PBR	289
Tabla 39. HAZOP Banco de reactores - Nodo tanques de almacenamiento	294
Tabla 40. HAZOP Banco de reactores - Nodo TK-905, TK-906	298
Tabla 41. HAZOP Tren de evaporadores - Nodo E-1001	304
Tabla 42. Hazop tren de evaporadores - Nodo E-1002	308
Tabla 43. HAZOP Tren de evaporadores - Nodo E-1003	313
Tabla 44. HAZOP Biorreactor - Nodo Biorreactor	317
Tabla 45. HAZOP Reactor de alta presión - Nodo reactor de alta presión	323
Tabla 46. HAZOP Tanques de almacenamiento CUBO	326

RESUMEN

El presente proyecto se centra en la elaboración de un plan de gestión de riesgo, en el contexto de una planta piloto de procesos químicos, el CEPIIS, cuyo objetivo fundamental es garantizar la seguridad operativa y la integridad de los procesos. El punto de partida consistió en una revisión detallada de los procesos y equipos de la planta, identificando zonas críticas susceptibles a riesgos potenciales. Con el propósito de abordar esta problemática de manera integral, se implementaron las metodologías What If, HAZOP y Bow Tie de manera conjunta.

A través de la metodología What If, se exploraron escenarios hipotéticos que pudiesen poner a prueba la capacidad del sistema para adaptarse a cambios no previstos, proponiendo medidas correctivas con base en un análisis de consecuencias. Partiendo de esta metodología se inició un análisis más detallado para cada proceso dentro de las zonas de la planta piloto CEPURE (Centro de Purificación y Refinación de Productos), CESI (Centro de Servicios Industriales), CETA (Centro de Transformación y Adecuación), BIOCAL (Centro de Procesos Biológicos) y CUBO (Cuarto de Bombas y Almacenamiento de Reactivos y Respel), desarrollando un HAZOP para identificar posibles escenarios de riesgo mediante la selección de nodos, los cuales agrupan equipos para analizar la evolución de un proceso, permitiendo determinar las causas y consecuencias de dichos escenarios.

Por último, la metodología Bow Tie proporcionó una representación gráfica detallada de los riesgos, sus causas y las barreras de control, permitiendo fortalecer la capacidad de respuesta del centro de procesos ante posibles eventos adversos, brindando información concisa sobre el riesgo principal que se puede desencadenar de cada equipo y procesos, si no se emplean de manera adecuada las barreras de prevención.

Con los resultados obtenidos se estableció un plan de gestión de riesgos con recomendaciones específicas destinadas a fortalecer la seguridad de la planta. Estas recomendaciones abarcan desde mejoras en los protocolos operativos, hasta ajustes en los sistemas de control, con el objetivo de minimizar la probabilidad de incidentes y optimizar la respuesta ante posibles emergencias para así tener una continuidad y sostenibilidad en los procesos.

Palabras clave: Herramientas de análisis, gestión de riesgos, What If., HAZOP, Bow.Tie, medidas de control.

INTRODUCCIÓN

La gestión efectiva de riesgos en la industria es de vital importancia, ya que garantiza la seguridad de los trabajadores, la preservación del medio ambiente y el funcionamiento ininterrumpido de las operaciones. Esto es necesario en la planta piloto del centro de procesos e innovación para la industria sostenible (CEPIIS), donde la investigación y desarrollo de nuevos productos y tecnologías se convierten en el núcleo de la actividad. En este contexto, la presente tesis se enfoca en el diseño y desarrollo de un plan de gestión de riesgos para esta planta piloto de procesos químicos.

El objetivo primordial de este trabajo es identificar, analizar y mitigar los riesgos fundamentales a las operaciones de la planta piloto, con un enfoque en la prevención de accidentes y la promoción de prácticas de trabajo seguras. Para alcanzar esto, se aplicarán herramientas de análisis de riesgos, entre las cuales destacan el método What-If, el Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP) y el enfoque de diagrama Bow Tie.

La aplicación de estas metodologías permitirá una evaluación exhaustiva de los posibles peligros y riesgos en la planta piloto, así como la identificación de las medidas de prevención y mitigación más efectivas. La unión de estas técnicas proporcionará una visión integral de la gestión de riesgos, asegurando que la planta piloto opere en un entorno seguro y protegido.

El presente estudio resalta la importancia de la seguridad en la industria química, destacando su relevancia en plantas piloto de procesos químicos, y resalta la necesidad de implementar estrategias efectivas de gestión de riesgos para salvaguardar a los trabajadores, la comunidad circundante y el medio ambiente.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un plan de gestión de prevención y mitigación de los riesgos de las zonas del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS).

Objetivos específicos

- Identificar el riesgo asociado a los procedimientos, actividades de mantenimiento, operación y logística del CEPIIS.
- Analizar las variables, factores de riesgo y peligros evidenciados implementando las herramientas para la construcción de causas y consecuencias asociadas a los riesgos.
- Estructurar un plan de gestión, prevención y mitigación de los riesgos del CEPIIS.

1. GENERALIDADES TEÓRICAS

1.1.Planta Piloto

Se define como una planta de proceso que contiene equipos que operan de manera conjunta con el fin de reproducir procesos industriales a menor escala, para observar sus resultados y predecir un comportamiento a una mayor escala, también sirve para realizar investigaciones y procesos con fines académicos [1].

Una planta piloto permite analizar la eficiencia de un proceso, evaluar sus variables e identificar sus mejoras, para desarrollarlo en una planta industrial [2].

Con base en:

- La investigación y desarrollo de procesos y tecnologías.
- La optimización de procesos para mejorar la eficiencia y economía.
- La identificación de riesgos y la manera de mitigarlos mediante medidas de seguridad adecuadas.
- La recuperación de datos de simulaciones de proceso.

En la Fundación Universidad de América, se realizó la construcción de una planta piloto, con el fin de desarrollar a escala semi industrial diversos procesos químicos. Tiene como objetivo la integración de la industria, de la academia y la investigación.

Figura 1.

Entrada del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS).



Nota: Imagen de la entrada de la planta piloto CEPIIS. Tomado de: CEPIIS, "CEPIIS". [En línea]. Disponible en: <https://cepiis.wordpress.com/>.

1.2. Riesgo

Según la normativa internacional ISO 31000 un riesgo es el efecto de la incertidumbre sobre el alcance de los objetivos [3]. Para efectos de este trabajo se toma una ampliación en la definición que se refiere a que el riesgo es la combinación de las consecuencias de un evento y su probabilidad [4].

La probabilidad es la posibilidad de que algún evento se produzca y se determina de manera cualitativa o cuantitativa [4]. La consecuencia es el resultado de un impacto sobre dicho evento, puede ser lesión, daño, pérdida, etc.

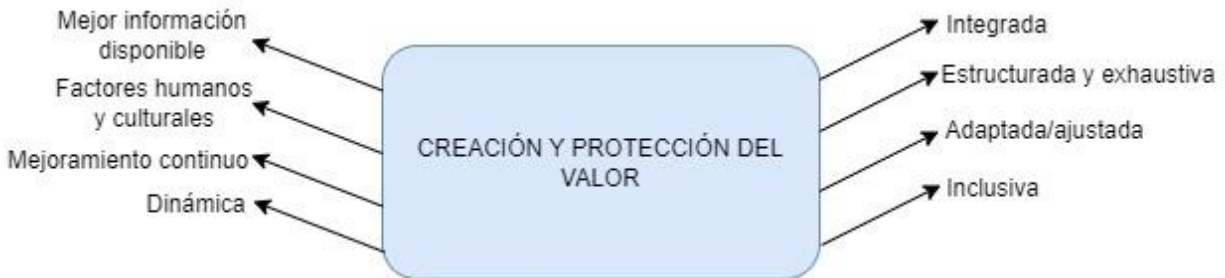
1.3. Gestión de riesgo

Hace referencia a las actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización con respecto al riesgo [3]. Se desarrolla siguiendo principalmente la metodología indicada en la norma ISO 31000.

El propósito principal de una gestión de riesgos es la creación y protección del valor, propendiendo a que la organización innove y logre sus objetivos.

Figura 2.

Esquema de los objetivos de la creación y protección del valor.



Nota: Se observan las características de la creación y protección del valor. Tomado de: ISO, "ISO 31000:2018". Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>.

La gestión del riesgo abarca varios aspectos fundamentales para su implementación efectiva en una organización:

- Identificación de los riesgos que podrían afectar a la organización.
- Análisis de los riesgos para evaluar su impacto.
- Evaluación de los riesgos con base en su importancia.
- Desarrollo de estrategias de mitigación para reducir su probabilidad de ocurrencia o impacto.
- Implementación de medidas de mitigación.
- Registros e informes sobre los resultados obtenidos con base en las medidas implementadas y planes de acción.

1.4. Análisis de Riesgos

Es el proceso mediante el cual una vez identificados los riesgos, se analizan y determinan las posibles amenazas que pueden afectar el desempeño de un proceso. Su objetivo principal es comprender el riesgo y evaluarlo mediante una combinación de las probabilidades y consecuencias estimadas, esta evaluación se puede realizar mediante métodos cualitativos, cuantitativos o semicuantitativos, principalmente por medio de una matriz de riesgo. Posterior al análisis, inicia la fase de toma de decisiones para implementar las respectivas medidas

preventivas y correctivas dentro de la organización, con la finalidad de reducir la probabilidad de ocurrencia de los riesgos y de minimizar su impacto en caso de que se materialicen [5].

El procedimiento para un análisis de riesgos con base en la norma ISO 31000 y lo explicado por [6] es:

- Determinar la efectividad y confiabilidad de los controles: Con el análisis del riesgo se debe determinar qué tipo de controles existen y si son los adecuados.
- Analizar la naturaleza y magnitud de las consecuencias: Un riesgo puede tener múltiples consecuencias que pueden afectar los objetivos de la organización, y según el propósito establecido se realiza el análisis de las consecuencias con impactos más altos.
- Analizar la probabilidad de ocurrencia: Puede ser mediante la revisión de datos históricos de incidentes, mediante un análisis predictivo con pronósticos de probabilidad, y con base en opiniones de expertos.
- Medición del riesgo: Según el enfoque de análisis decidido (cualitativo, cuantitativo o semicuantitativo) se mide el riesgo en palabras descriptivas, escalas numéricas o proporciones numéricas basadas en datos estadísticos.

1.5. Herramientas de análisis de riesgos

Son el instrumento para realizar la evaluación del riesgo, por medio de distintas metodologías y enfoques. La forma de evaluación debe ser acorde a los riesgos identificados, según la herramienta se organiza y estructura la información de una manera específica.

El objetivo de utilizar las herramientas de análisis de riesgo es comprender claramente los peligros, sus causas y las estrategias de control [7].

Las metodologías que se van a emplear para este proyecto son:

Tabla 1.

Herramientas de análisis de riesgos

Método de análisis	Descripción
Análisis What-If	Se realiza la identificación de desviaciones y análisis de peligros por medio de una lluvia de ideas, utilizando el cuestionamiento “¿Qué pasaría si...?”
Análisis HAZOP (peligro y estudio de operatividad)	Identifica peligros y problemas de operatividad mediante la utilización de palabras guía para incitar a los miembros del equipo a identificar desviaciones que pueden conducir a fallas.
Análisis Bow-Tie (de corbatín)	Análisis de tipo barrera, que utiliza un diagrama visual para describir y analizar las vías de riesgo de un peligro para los resultados y controles de prevención y mitigación

Nota: La tabla describe las herramientas de análisis de riesgo y su descripción. Tomado de: Lyon, Bruce K. Popov, Georgi. “Risk Management Tools for Safety Professionals - 5.7.1.2 Application.” American Society of Safety Professionals (ASSP), 2018, pp 117.

1.6. Riesgos en la planta piloto

Como el CEPIIS es una planta piloto de procesos químicos, se pueden presentar los siguientes tipos de riesgos principalmente.

-Riesgos químicos: Exposición a sustancias químicas peligrosas, como gases tóxicos, líquidos corrosivos o inflamables, que se incorporan al ambiente y pueden generar daños en el medio ambiente y la salud de las personas.

Sus características según [8], son:

- **Explosividad:** Se refiere a la capacidad de una sustancia para reaccionar rápidamente y liberar energía en forma de calor, luz y presión, con el potencial de causar daños severos.
- **Toxicidad:** Sustancias con propiedades tóxicas, que pueden causar daño al cuerpo humano o al medio ambiente al interactuar con ellos.

- **Inflamabilidad:** Se refiere a la capacidad de una sustancia para incendiarse o contribuir a la propagación del fuego. Las sustancias inflamables aumentan el riesgo de incendios y explosiones.
- **Corrosividad:** Es la capacidad de una sustancia química para dañar o destruir materiales. Los materiales corrosivos pueden oxidar el metal o pueden afectar los tejidos orgánicos por contacto.
- **Radioactividad:** Implica la emisión de partículas radiactivas por sustancias volubles atómicamente, con posibles impactos en la salud humana y el medio ambiente, incluyendo riesgos genéticos y de cáncer.

-Riesgos físicos: Se refieren a situaciones o condiciones en el entorno que pueden causar daños a la salud y afectar la seguridad de las personas en el entorno de trabajo.

Sus características según [9], son:

- **Ruido:** Exposición a niveles elevados de sonido que pueden afectar la audición y causar estrés.
- **Vibraciones:** Movimientos oscilatorios repetitivos que pueden generar fatiga y lesiones, especialmente en trabajadores expuestos a maquinaria vibrante.
- **Temperaturas extremas:** Exposición a temperaturas excesivamente altas o bajas. Pueden provocar quemaduras, desmayos y deshidratación.
- **Radiación:** Exposición a radiaciones ionizantes como rayos X, o no ionizantes como la radiación ultravioleta, puede afectar el funcionamiento de los órganos y los tejidos.
- **Iluminación inadecuada:** Condiciones de luz inapropiadas que pueden causar fatiga visual y aumentar el riesgo de accidentes.
- **Caídas:** Riesgo de tropezar o caer debido a superficies resbaladizas, desniveles, o falta de barandas y medidas de seguridad, pueden ocasionar lesiones.

-Riesgos ambientales: En este riesgo se considera el nivel de afectación que pueden ocasionar los procesos y las sustancias químicas que se van a manejar en el centro de procesos, ya que cuando se esparce y almacenan las sustancias químicas en el medio ambiente, éstas contaminan y disminuyen la calidad del entorno.

Estos riesgos con base en [10], pueden conllevar a:

- Contaminación local, afectando el agua, suelos, aire, flora y fauna, entre otros.
- Efectos globales: pérdida de la capa de ozono, efecto invernadero, impacto en los ecosistemas, pérdida de la biodiversidad, etc.
- Contaminación o daño al medio ambiente debido a la liberación de sustancias químicas peligrosas.
- Impacto en los ecosistemas locales por derrames, vertidos o emisiones no controladas.
- Generación de residuos peligrosos y la necesidad de su correcto manejo y disposición.
- Contaminación atmosférica por emisiones de gases y vapores.

-Riesgos de proceso: Son aquellos riesgos que se generan producto de la operación en la planta piloto y que conllevan a afectaciones en la infraestructura y el entorno que la rodea [7]

- Desviaciones en las condiciones de operación que puedan afectar la estabilidad y seguridad de los procesos.
- Fallos en equipos críticos, como válvulas, bombas o reactores, que pueden causar incidentes o interrupciones en la planta.
- Sobre-presión o sobre-temperatura en los sistemas de proceso, lo cual puede llevar a situaciones peligrosas.

1.4 Marco legal

ISO 31000: Es la norma internacional para la gestión del riesgo. Al proporcionar principios integrales y directivas, esta norma ayuda a las organizaciones con su análisis y evaluación de riesgos. Las recomendaciones de mejores prácticas de esta norma internacional se desarrollaron para mejorar las técnicas de gestión y garantizar la seguridad y protección en todo momento en el lugar de trabajo.

ISO 31010: Proporciona principalmente orientación sobre la selección y aplicación de técnicas para evaluar riesgos en diversos entornos, de manera que se tomen decisiones acertadas en ambientes de incertidumbre.

2. METODOLOGÍA

A continuación, se desglosa el procedimiento realizado para dar cumplimiento a los objetivos específicos del presente proyecto. Mediante la utilización de las siguientes herramientas:

- Diagramas P&ID de los equipos.
- Manuales de operación de los equipos.
- Acceso a la planta piloto y a la revisión de los equipos instalados.
- Trabajos de grado de estudiantes que hicieron y hacen parte del proyecto CEPIIS.
- Trabajos de grado que se relacionan con la gestión de riesgos en la industria.
- Artículos de investigación sobre la gestión de riesgos y la utilización de herramientas de análisis de riesgo.
- Libros de ingeniería para el entendimiento de los riesgos de proceso, la utilización de herramientas de análisis de riesgo, la valoración de los riesgos, y la estructuración de planes de gestión de riesgo enfocados a los procesos.

El cumplimiento de estos objetivos se realizó de manera consecutiva, primero fue necesario el cumplimiento del primer objetivo, que consta de identificar las zonas de riesgo y sus riesgos asociados el cual se desarrolla en los apartados 2.1 y 2.2, posterior a esto se dio cumplimiento al segundo objetivo, que consta de analizar las variables y factores de riesgo producto de la implementación de las herramientas de análisis de riesgo, el cual se desarrolla en todo el apartado 2.2; por último y dando cumplimiento al tercer objetivo, se inició la estructuración del plan de gestión de riesgos, en el apartado 2.3.

2.1. Identificación de zonas de riesgo por equipo

La planta piloto del Centro de Procesos en Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS) cuenta con varias zonas, según el tipo de procesos a desarrollar. Para realizar la identificación de los riesgos, se revisaron los manuales de operación para cada equipo, y los diagramas de tuberías e instrumentación P&ID disponibles, para así seleccionar que instrumentos y/o elementos dentro de los equipos son una potencial fuente de amenaza para el proceso debido a una mala operación y manejo. Con base en esta documentación y en un conocimiento previo de como operan los equipos,

y el tipo de procedimientos que se realizan en ellos, se estudió la probabilidad de que ocurran situaciones como fugas, derrames, cambios en la presión y temperatura, etc, que pueden desencadenar una situación de riesgo, mediante la identificación de las zonas en que se puede desencadenar un evento. Las zonas seleccionadas para este análisis son los instrumentos y/o elementos que componen a los equipos principales.

2.1.1. Zona CEPURE

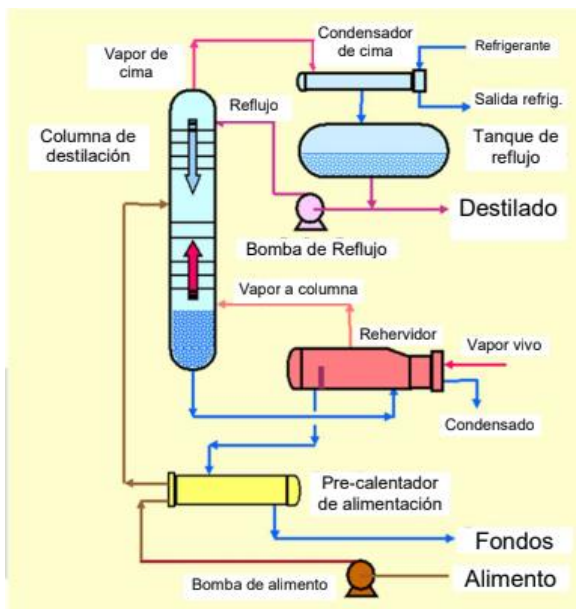
Es el centro de purificación y refinación de productos, allí se encuentra una columna de destilación, una torre de absorción, un secador de bandejas, y un extractor sólido - líquido y líquido - líquido.

Características de los equipos:

- Columna de destilación

Figura 3.

Representación proceso de destilación



Nota: Se observa como es el proceso de la destilación mediante un esquema. Tomado de: PSE, "Manual de operación Planta de destilación continua," vol. 01. 2018..

Figura 4.

Columna de destilación



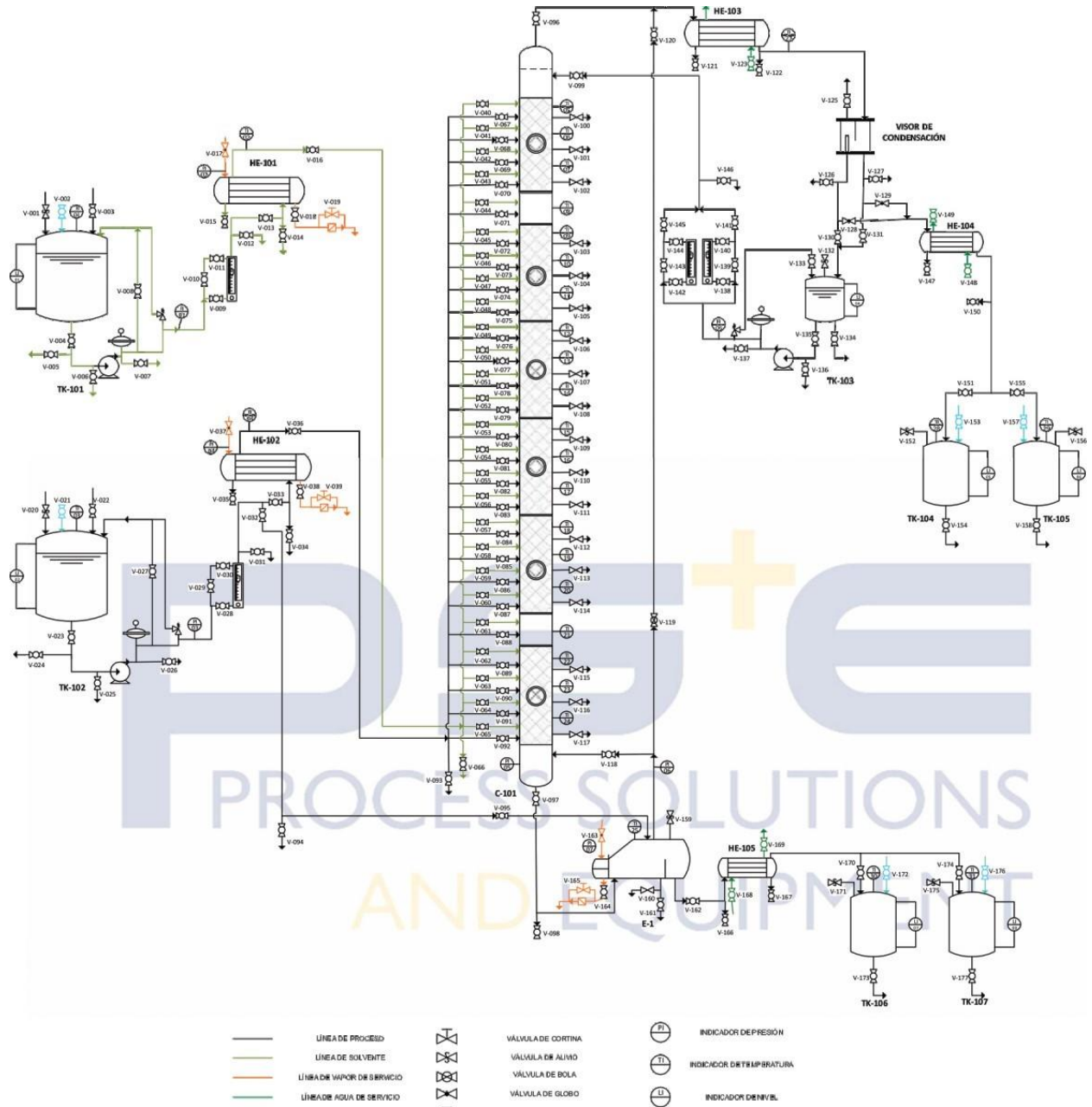
Nota: Representación de como va a quedar la columna de destilación en el CEPIIS. Tomado de: "PRODUCTOS Y SERVICIOS | PROCESS SOLUTIONS AND EQUIPMENT." <https://andreaorjuela.wixsite.com/website/productos-y-servicios>

La columna de destilación sirve para separar mezclas gracias a la diferencia de volatilidades. Se encuentra compuesta por un sistema de alimentación, la columna de destilación, un sistema de condensación y reflujo, tanques de acumulación de destilado, medidores y un tablero de control. Se puede utilizar para la destilación de mezclas ideales y no ideales, aplicando las técnicas de destilación tradicional, extractiva y azeotrópica [11].

La destilación azeotrópica implica la destilación de una mezcla de líquidos para separar componentes con propiedades químicas y físicas similares. En un azeótropo, la mezcla tiene una composición constante en fase vapor y líquida, lo que dificulta su separación mediante la destilación convencional. En la destilación azeotrópica se introduce un agente de separación (solvente) a la solución azeotrópica. Este agente suele formar una mezcla azeotrópica con solo uno de los componentes presentes en la mezcla original. Así, por medio de la destilación, se puede separar el nuevo azeótropo que tiene una volatilidad diferente a la del componente que no forma azeótropo con el solvente [11]. En la destilación extractiva también se separan azeótropos, se realiza adicionando un solvente a la mezcla azeotrópica, el cual es más afín con uno de los componentes de mezclando la volatilidad relativa de uno de los componentes, y lo extrae preferentemente hacia la fase líquida [11].

Figura 5.

Diagrama P&ID columna de destilación.



Nota: Se observa el diagrama de instrumentación y tuberías para la columna de destilación del CEPIIS.

Tomado de: PSE, "Manual de operación Planta de destilación continua," vol. 01. 2018..

Teniendo en cuenta el proceso de destilación y los elementos que conforman la columna, se realizó la verificación en el diagrama de tuberías e instrumentación P&ID presentado en el manual, cabe

aclarar que, a la fecha (enero 2024) el montaje de la columna de destilación en el CEPIIS no se ha realizado, por lo que no se realizó una verificación en campo de las zonas de riesgo identificadas para este equipo, las cuales fueron:

- Tanque para almacenamiento de mezcla
 - Tanque para almacenamiento de solvente
 - Sensores de temperatura
 - Condensador
 - Rehervidor
 - Sensor de presión
 - Enfriador
 - Columna de destilación
-
- Columna de absorción
 -

Figura 6.

Montaje columna de absorción.



Nota: Inicio del montaje de la columna de absorción en el CEPIIS.

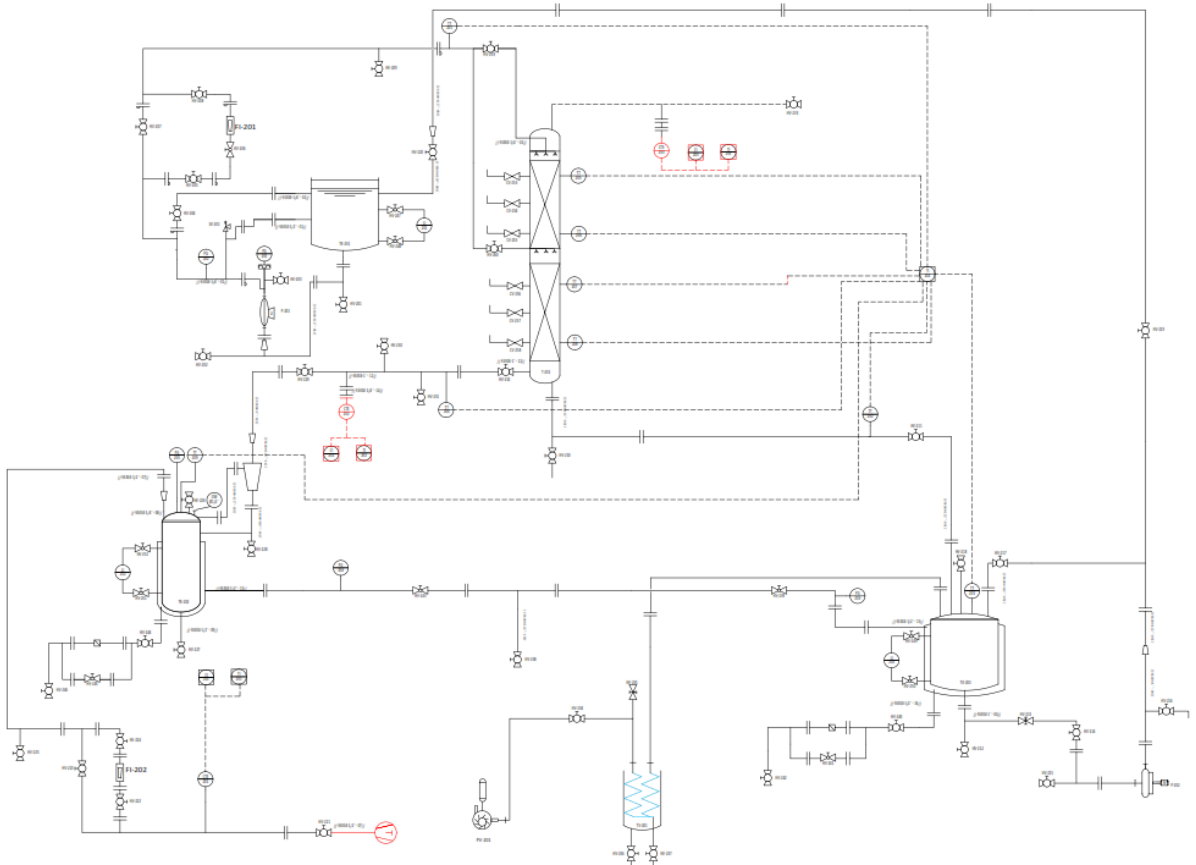
La columna de absorción sirve para eliminar uno o más componentes de una corriente de gas al ser absorbidos por un solvente. Se encuentra compuesta por un sistema de generación de aire, un sistema de humidificación, la columna de absorción, tanques de acumulación de solvente y un tablero de control [12].

En el proceso de absorción de gases, se elige un solvente de manera que uno de los componentes presentes en la fase gaseosa sea prácticamente insoluble en el líquido. Esta elección asegura una separación eficiente [12]. Además, se busca que el solvente no se volatilice, evitando así la contaminación de la fase gaseosa y la pérdida de solvente durante el proceso.

Para identificar las zonas de riesgo en la columna de absorción, se realizó la verificación de los sus elementos en el centro, aunque no está instalada en su totalidad, también se revisó el diagrama P&ID actualizado por el personal del CEPIIS.

Figura 7.

Diagrama P&ID columna de absorción.



Nota: Diagrama de tuberías e instrumentación de la columna de absorción en el CEPIIS.

Las zonas de riesgo identificadas para este equipo fueron:

- Regulador de flujo
- Humidificador
- Sensores de presión
- Columna de absorción
- Re-distribuidor de líquido
- Tanques
- Sensor de humedad
- Bombas de suministro

- Secador de bandejas

Figura 8.

Secador de bandejas

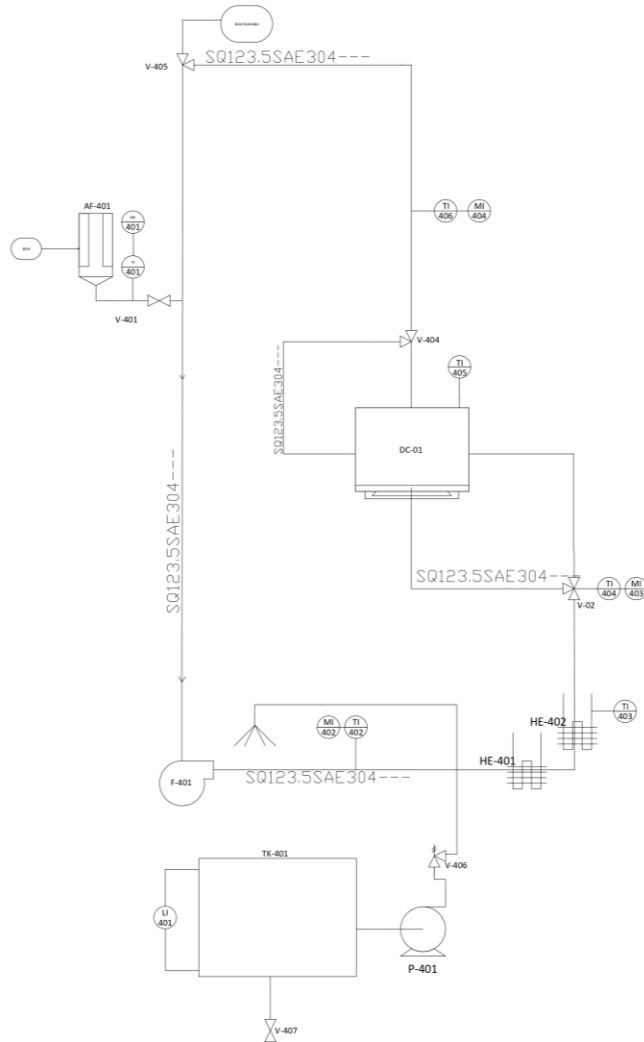


Nota: Equipo secador de bandejas ubicado en el CEPIIS.

El secador de bandejas es un equipo utilizado para remover la humedad de un material sólido, mediante la vaporización del solvente. Cada bandeja se calienta individualmente y se pasa una corriente de aire caliente a través del material para evaporar la humedad y los solventes. Se encuentra compuesto por una cámara de secado con un sistema de bandejas, un ventilador de velocidad variable, un sistema de adecuación de humedad del aire, un conjunto de resistencias para el calentamiento del aire, celdas de carga para seguimiento del peso del sólido a secar, y un sistema de ductos con recirculación para el aire [14].

Figura 9.

Diagrama P&ID secador de bandejas



Nota: Diagrama de tuberías e instrumentación para el secador de bandejas del CEPIIS.

Se identificaron las zonas de riesgo para el secador de bandejas, observando lo descrito en los manuales, observando el diagrama P&ID, y revisando el equipo en el CEPIIS, puesto que este equipo si se encuentra instalado en su totalidad.

Las zonas de riesgo identificadas para este equipo fueron:

- Reservorio de agua
 - Bomba
 - Resistencias ubicadas a la salida del ventilador
 - Regulador de potencia
 - Sensor de temperatura
 - Filtro de aire
- Extractor sólido-líquido y líquido-líquido

Figura 10.

Extractor sólido-líquido, líquido-líquido



Nota: Equipo de extracción ubicado en el CEPIIS.

La extracción sólido - líquido se utiliza para extraer los componentes solubles de un sólido mediante la inmersión en un solvente líquido adecuado. Este proceso se utiliza para obtener soluciones concentradas o extractos de los componentes deseables de los sólidos. El procedimiento puede llevarse a cabo bajo condiciones habituales, mediante percolación, o en condiciones de temperaturas y presiones elevadas utilizando un solvente en estado supercrítico (extracción supercrítica), o incluso con la ayuda de radiación de microondas. En términos generales, en la

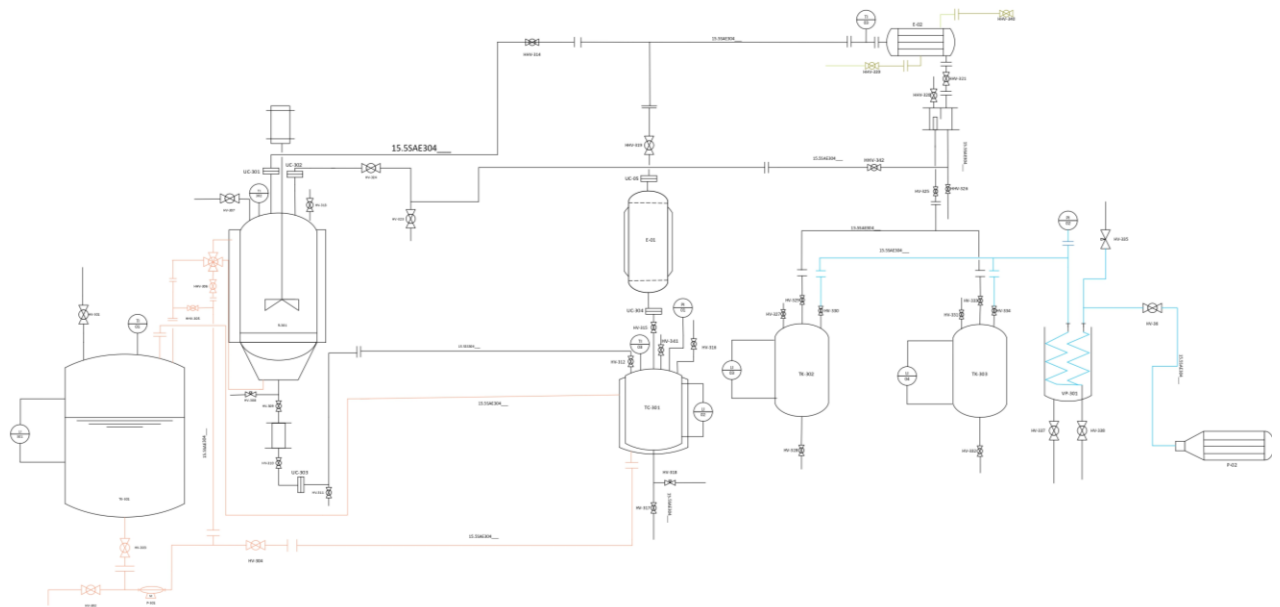
escala industrial se favorece la extracción a condiciones normales debido a sus costos inferiores y la facilidad de implementación [15].

La extracción líquido - líquido sirve para separar componentes de una mezcla por medio del uso de un líquido inmiscible como solvente, el proceso se basa en la diferencia de solubilidad de los componentes entre las dos fases líquidas inmiscibles [15].

El extractor está compuesto por un sistema de calentamiento, un sistema de extracción, un condensador, el sistema de concentración del extracto, los tanques colectores de solvente, el sistema de vacío, y el tablero de control.

Figura 11.

Diagrama P&ID extractor



Nota: Diagrama de tuberías e instrumentación de la planta de extracción en el CEPIIS.

Revisando el manual de operación, el diagrama P&ID y realizando la verificación en el centro, teniendo el equipo instalado en su totalidad, las zonas de riesgo identificadas para este equipo fueron:

-Tanque de fluido calefactor: aceite térmico

- Bombas
- Condensador
- Tanques colectores de solvente
- Trampa de vacío: líquido frío (Agua)
- Controlador de temperatura

2.1.2. Zona CESI

Es el centro de servicios industriales, allí se encuentra la planta térmica y PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.).

Características de los equipos:

- Planta térmica

Figura 12.

Planta térmica



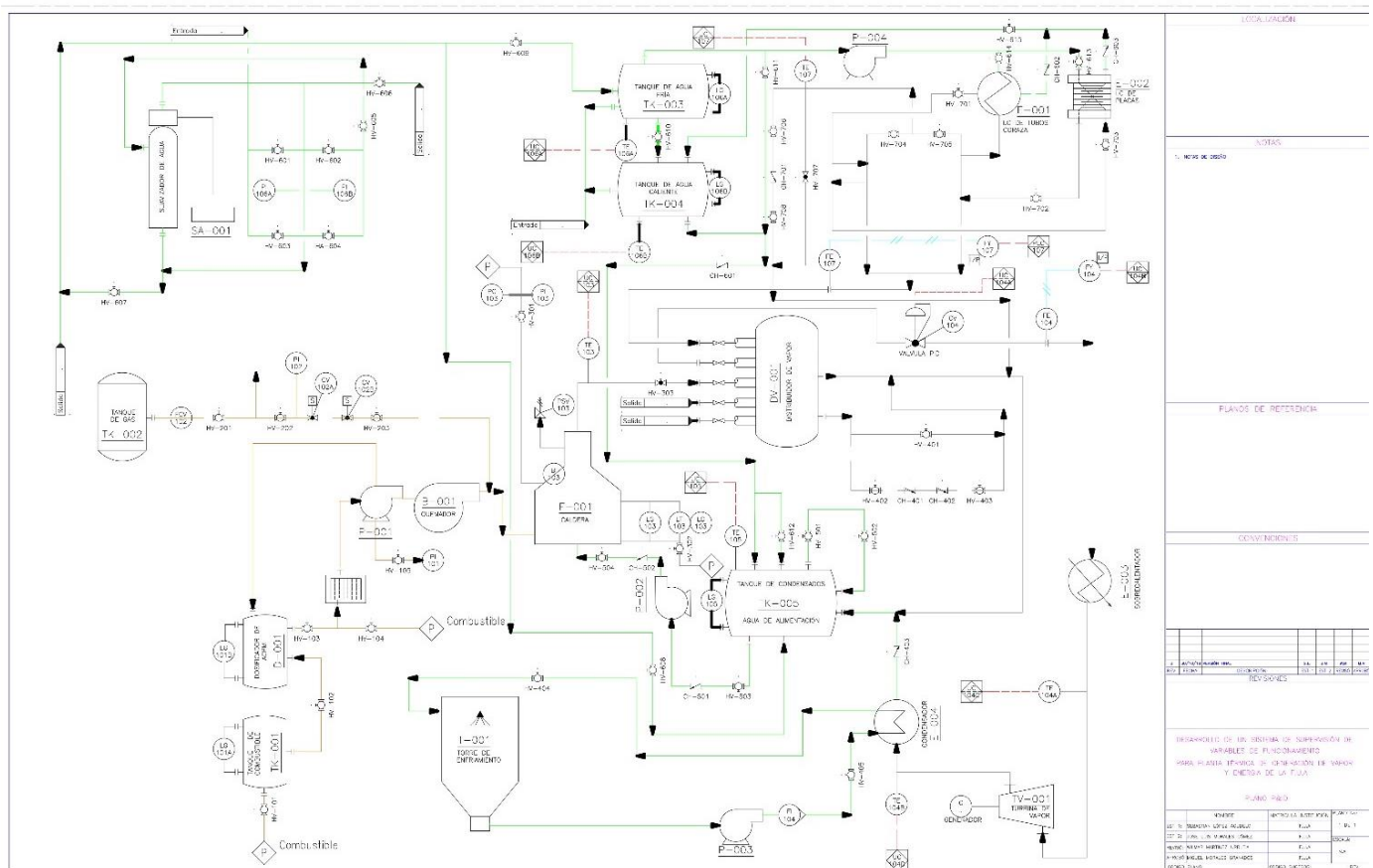
Nota: Planta térmica ubicada en el CEPIIS.

Una planta térmica es un equipo que convierte la energía térmica en energía eléctrica. Utiliza combustibles fosiles (en la planta piloto el combustible a utilizar es ACPM) para calentar agua y generar vapor; el vapor generado hace girar una turbina, que está conectada a un generador eléctrico, la rotación de la turbina convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Se espera que la electricidad generada se transmita desde la central a través de una red de distribución de energía [16].

La energía eléctrica generada por la planta térmica podría ser utilizada para alimentar los demás equipos de la planta piloto. El equipo cuenta con sistemas de seguridad y monitorización que permiten realizar diferentes lecturas de variables durante la ejecución de la práctica.

Figura 13.

P&ID planta térmica



Nota: Diagrama de tuberías e instrumentación de la planta térmica ubicada en el CEPIIS. Tomado de: Muñoz Caicedo, D., & Trujillo Hidalgo, M. J. "Propuesta de lineamientos y protocolos para la validación de los equipos industriales y unidades de procesos ubicados en el centro de servicios industriales (CESI) del centro de procesos e innovación para la industria sostenible de la Universidad de América", 2023.

Revisando el manual de operación, el diagrama P&ID y realizando la verificación en el centro, teniendo el equipo instalado en su totalidad. Las zonas de riesgo identificadas para este equipo fueron:

- Tanque de ACPM
- Dosificador de ACPM
- Suavizador de agua
- Caldera
- Tanque de condensados
- Bomba Tanque de condensados
- Distribuidor de Vapor
- Tanques de agua
- Bomba Intercambiadores
- Sensor de temperatura
- Intercambiadores de calor (placas y coraza tubos)
- Condensador
- Torre de enfriamiento
- Bomba torre de enfriamiento

- PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales)

Figura 14.

Representación de una PTAR subterránea



*Nota: Se observa un ejemplo de como es el funcionamiento de una PTAR subterránea.
Tomado de: "Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Compacta", Proagua
Ingenieros S.A.C.*

Figura 15.

PTAR CEPIIS



Nota: PTAR instalada en el CEPIIS.

Tomado de: "CEPIIS", CEPIIS. [En línea]. Disponible en: <https://cepiis.wordpress.com/>.

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales es una instalación diseñada para recibir, tratar y eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales, en el CEPIIS se va a realizar la limpieza de aguas de proceso y aguas lluvia, para que puedan ser reincorporadas en algún proceso dentro de la planta piloto o servir de suministro para necesidades de la universidad como la descarga de sanitarios. A estas aguas se les pretende realizar primero un filtrado para eliminar impurezas, luego un tratamiento DAF (sistema de flotación por aire disuelto), posterior al tratamiento pasan a un tanque en el que se va a dosificar peróxido de hidrógeno (H_2O_2) para eliminar impurezas, después pasan a otro proceso de filtrado con carbón activado y finaliza con un proceso de oxidación con UV [17].

Con base en los protocolos de validación para la PTAR en el CEPIIS, y observando la estructura diseñada para el tratamiento, las zonas de riesgo identificadas fueron:

- Tanque de almacenamiento agua lluvia (2000L)
- Tanque de almacenamiento agua de proceso (2000L)
- Bombas sumergibles

2.1.3. Zona CETA

Es el Centro de Adecuación y Transformación donde se realizan procesos de transformación de compuestos, contiene un banco de reactores y un tren de evaporadores

Características de los equipos:

- Banco de Reactores

Figura 16.

Banco de reactores



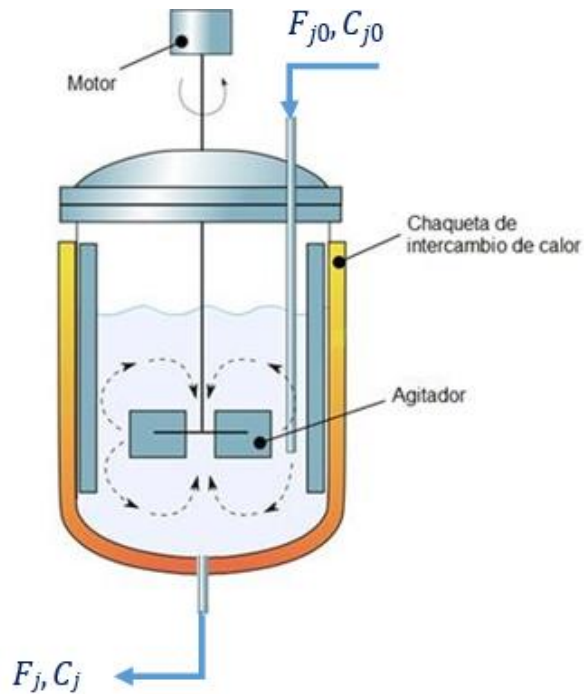
Nota: Equipo de banco de reactores en el CEPIIS.

Comprende un conjunto de reactores en los cuales se llevan a cabo reacciones químicas, también se presentan fenómenos de transferencia de calor y masa, difusión y fricción. Según las condiciones de operación y la reacción requerida, se tienen ciertos tipos de reactores que son:

-CSTR: Opera en estado estacionario, se asume que tiene un mezclado perfecto, se considera que todas las variables son iguales en todos los puntos dentro del reactor. Contiene un flujo de entrada de reactivos y un flujo de salida de productos y de reactivos sin reaccionar [18].

Figura 17.

Representación reactor CSTR



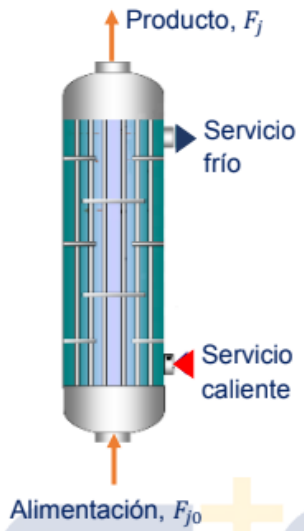
Nota: Representación de un reactor CSTR y sus componentes.

Tomado de: PSE, "Manual de operación banco de reactores" 2018.

-PFR: Se emplean con mayor frecuencia en la industria para reacciones en fase gaseosa. Los materiales reaccionan de manera continua a medida que fluyen por el reactor, la concentración cambia continuamente. El equipo puede ser similar al intercambiador de coraza y tubos, la reacción tiene lugar en los tubos y por la coraza fluye servicio de calentamiento o de enfriamiento según el tipo de reacción que se lleva a cabo [18].

Figura 18.

Representación Reactor PFR



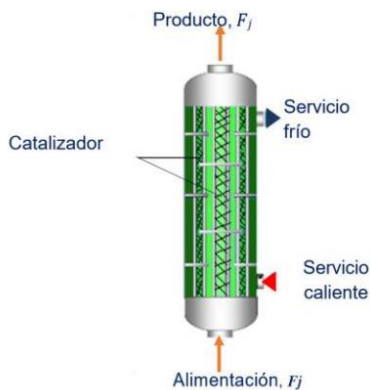
Nota: Representación de un reactor PFR

y sus componentes. Tomado de: PSE, "Manual de operación banco de reactores" 2018.

-PBR: Se emplean para reacciones heterogéneas catalíticas donde el catalizador se encuentra empacado dentro del reactor. Se puede determinar la velocidad de reacción. El equipo puede ser similar al intercambiador de coraza y tubos, con catalizador sólido empacado en los tubos y fluido de enfriamiento o calentamiento por la coraza [18].

Figura 19.

Representación reactor PBR

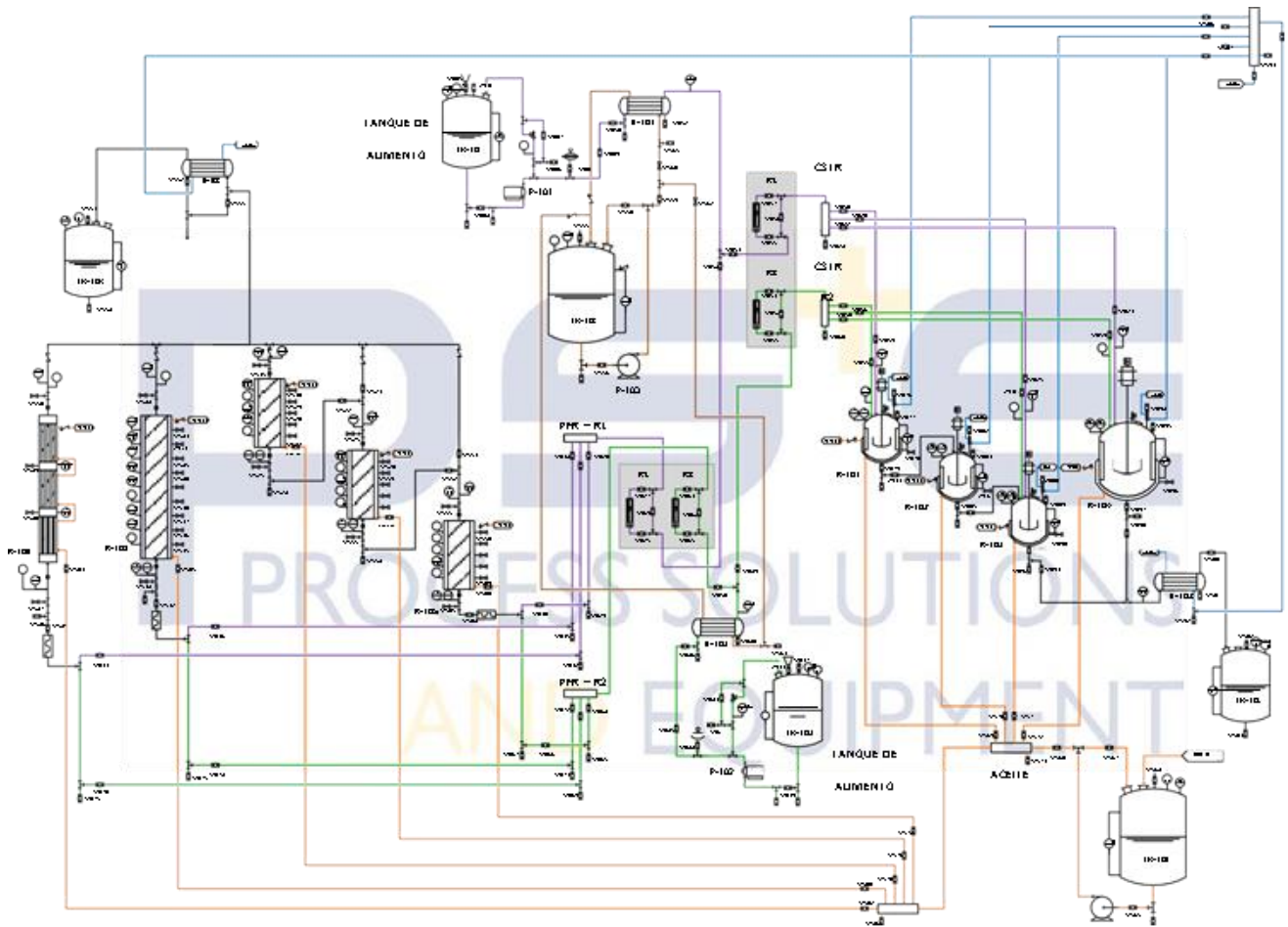


Nota: Representación de un reactor PBR y sus componentes.

Tomado de: PSE, "Manual de operación banco de reactores" 2018.

Figura 20.

Diagrama P&ID banco de reactores



Nota: Diagrama de tuberías e instrumentación del banco de reactores del CEPIIS. Tomado de: PSE, "Manual de operación banco de reactores" 2018..

Revisando el manual de operación, el diagrama P&ID y realizando la verificación de los equipos en el centro que ya están instalados en su totalidad, las zonas de riesgo identificadas para el banco de reactores fueron:

- Reactor CSTR
- Reactor de flujo pistón - PFR
- Reactor multitubular de lecho empacado - PBR
- Tanques de alimento
- Bombas dosificadoras
- Intercambiadores de calor

- Tanque de fluido calefactor: aceite térmico
- Tren de Evaporadores

Figura 21.

Tren de evaporadores



Nota: Equipo de tren de evaporadores en el CEPIIS.

:

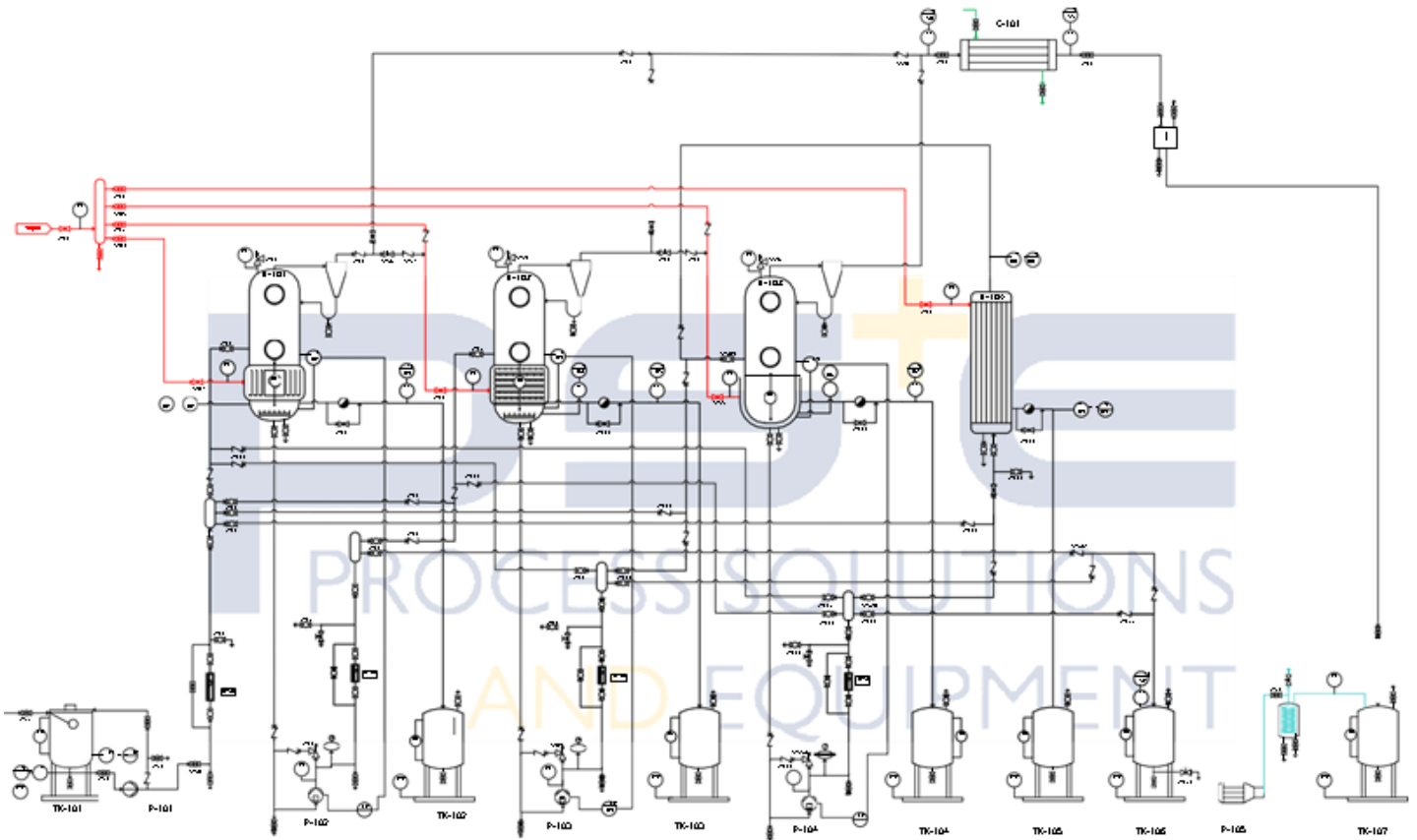
El tren de evaporadores, mediante la evaporación tiene como finalidad aumentar la concentración de una disolución que contiene un soluto no volátil, generalmente un sólido, y un solvente volátil. En la mayoría de los procesos de evaporación industrial, el disolvente utilizado es agua, y la solución se concentra para facilitar la cristalización del sólido disuelto en una etapa posterior.

En la mayoría de los evaporadores, se utiliza vapor de agua como fuente de calor, condensándose sobre tubos metálicos. Frecuentemente, el líquido que hierve se encuentra en un estado de vacío moderado para disminuir su temperatura de ebullición. Esta operación contribuye a incrementar la diferencia de temperatura entre el vapor que se condensa y el líquido que está en proceso de ebullición, lo cual mejora la eficiencia en la transferencia de calor dentro del evaporador. Se cuenta

con un evaporador de tubos verticales, un evaporador de tubos horizontales, y un evaporador de chaqueta [13].

La unidad de tren de evaporadores está compuesta por el sistema de almacenamiento del alimento a concentrar, así como de los tanques para la recolección de condensado y de producto concentrado.

Figura 22. Diagrama P&ID tren de evaporadores



Nota: Diagrama de tuberías e instrumentación del tren de evaporadores. Tomado de: PSE, “Manual de operación tren de evaporación” 2018.

Con base en el diagrama P&ID, los manuales de operación y la identificación de los elementos del tren de evaporadores en la planta piloto que ya se encuentran instalados en su totalidad, las zonas de riesgo identificadas para este equipo fueron:

- Condensador
- Tanque de condensados

- Sensor de temperatura
- Sensor de presión
- Bombas
- Tanques de almacenamiento
- Evaporador de tubos verticales
- Evaporador de tubos horizontales
- Evaporador de chaqueta

2.1.4. Zona BIOCAL

Es el Centro de Calidad y Procesos Biológicos, un laboratorio especializado para realizar procesos químicos junto con el desarrollo y observación de procesos biológicos.

Aquí se pueden realizar procedimientos que sean sensibles a la luz, la humedad, tales como la gravimetría o caracterizaciones de diferentes productos que puedan ser obtenidos dentro del CEPIIS, de igual manera reacciones biológicas y químicas. Por otro lado, se puede poner en práctica la teoría de asignaturas como; catálisis, cinética, microbiología, bioprocesos, diseño de procesos.

Características de los equipos:

- Biorreactor

Figura 23.

Biorreactor



Nota: Biorreactor ubicado en BIOCAL.

El biorreactor es un equipo en el cual se pueden llevar a cabo procesos biotecnológicos, por medio del cultivo de células, las cuales crecen en un entorno específico a través de parámetros de control como lo son la temperatura, el pH y la cantidad de oxígeno disuelto. El biorreactor cuenta con un sistema de agitación y mezcla que asegura una distribución homogénea de los nutrientes y el oxígeno en el medio de cultivo [20].

Se pueden llevar a cabo diversos procesos como:

- Cultivo de microorganismos como bacterias y hongos para producir biomasa, enzimas o metabolitos.
- Fermentación microbiana, utilizada para producir diversos productos químicos y biomoléculas.
- Producción de biocombustibles, mediante el cultivo de microorganismos o algas que los producen como parte de su metabolismo.
- Producción de enzimas industriales para emplearlas según las necesidades de diversas industrias como la de alimentos y textil [21].

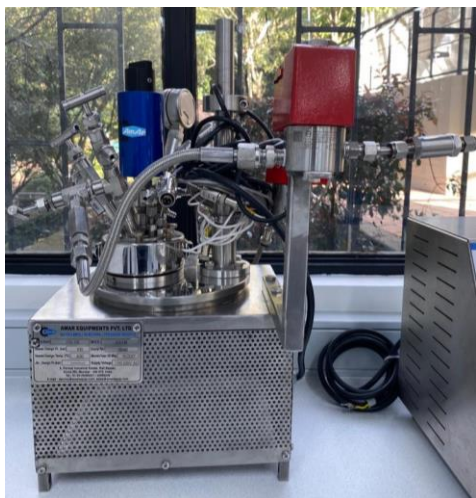
Al ser una unidad pequeña se analiza el riesgo para el equipo en conjunto, teniendo en cuenta el sistema de flujo, sistema de suministro de gases, el nivel, la temperatura y la presión.

Las zonas de riesgo identificadas en el equipo con base a los procesos que puede desempeñar son:

- Tablero control
 - Línea de suministro de alimento
 - Línea de suministro de gases
 - Sistemas de calentamiento y enfriamiento
-
- Reactor de alta presión

Figura 24.

Reactor de alta presión



Nota: Reactor de alta presión ubicado en BIOCAL

El reactor de alta presión permite llevar a cabo reacciones químicas que requieren condiciones de presión elevadas, Este tipo de reactor permite manipular y controlar la presión de manera específica durante una reacción, lo que puede resultar en beneficios como el aumento de la velocidad de reacción, la mejora de la selectividad de productos y la simulación de condiciones realistas encontradas en entornos industriales, permitiendo realizar procesos de polimerización, síntesis orgánica, estudios de catálisis, estudios de la cinética de las reacciones, entre otros [22].

Este equipo alcanza una presión máxima de 100 bar y una temperatura máxima de 300°C, cuenta con un tablero de control para la temperatura, presión, velocidad, sistemas de calentamiento y enfriamiento, y cuenta con un montaje interno de autoclave.

Al ser una unidad pequeña se analiza el riesgo para el equipo en conjunto, teniendo en cuenta los parámetros de la temperatura, presión y nivel.

2.1.5. Zona CUBO

Figura 25.

Zona CUBO



Nota: Imagen de los cuartos donde se van a almacenar las bombas, los reactivos químicos y RESPEL de la zona CUBO.

Figura 26.

Tanques de almacenamiento en CUBO



Nota: Ubicación de los tanques en el segundo nivel de CUBO. Tomado de: "CEPIIS", CEPIIS. [En línea]. Disponible en: <https://cepiis.wordpress.com/>.

Es el cuarto de bombas y almacenamiento de reactivos y respel, donde se van a ubicar las bombas, los reactivos químicos y los residuos respel, y los tanques de almacenamiento de agua. Todavía no se encuentran instaladas las bombas ni su sistema de suministro, tampoco se cuenta con los reactivos químicos para almacenar y por ende no se han generado residuos RESPEL, esto debido a que la planta piloto no ha iniciado su puesta en marcha y no se ha desarrollado el diagnóstico de los equipos. Sin embargo, según el Diseño Del Sistema Hidráulico Para Las Redes De Tuberías Del CEPIIS [23], el tipo de bombas que se pueden instalar son:

- Bomba de flujo pistón, para transmitir potencia por medio de fluidos, con una capacidad de presión máxima de 5000 psi.
- Bomba de paletas, para transmitir potencia por medio de fluidos, con una capacidad de presión de 2000 a 4000 psi.
- Bomba de tornillo, bombea fluidos mediante desplazamiento positivo, con una capacidad de presión máxima de 3000 psi.
- Bombas de cavidad progresiva, produce un flujo suave y se utiliza para suministrar fluidos de proceso, con capacidad de presión máxima de 900 psi.

- Bombas sumergibles, funcionan de tal manera que el motor de accionamiento y el aparato de succión y descarga puedan sumergirse en el fluido a bombear, La succión de la bomba se genera en la parte inferior, donde el agua fluye hacia el ojo del impulsor.
- Bombas centrífugas, se usan para sistemas donde se encuentra la presencia de líquidos con alto contenido de sólidos. Utilizan la energía cinética generada por la rotación del impulsor para aumentar la velocidad del fluido y convertir esa energía en energía de presión

Por lo anterior, el análisis de riesgo se va a realizar para los tanques de agua ubicados en el segundo nivel.

Las zonas de riesgo identificadas para cada equipo, se tuvieron en cuenta para el riesgo de proceso que puede presentar cada uno, que a su vez desencadena riesgos de tipo físico, químico, y ambiental, siendo riesgos que en conjunto generan un impacto económico en los procesos de la planta.

2.2. Identificación de los riesgos

Es el proceso de encontrar, reconocer y describir riesgos. Con las zonas de riesgo establecidas, y al ser una planta de escala semi-industrial, los riesgos a analizar son los de proceso, producto de las labores desarrolladas en la planta piloto.

Al revisar los manuales de los equipos se observó que, de no tener personal capacitado para manejarlos y mitigarlos, se puede ocasionar una catástrofe. Con apoyo del personal del CEPIIS, se estableció que cada equipo está compuesto de otros instrumentos que le permiten operar. Según las zonas de riesgo identificadas, se parte de la creación de escenarios hipotéticos mediante el cuestionamiento *what-if..¿ qué pasaría si?* Estableciendo las posibles consecuencias con las que se estudia el riesgo.

Hay que tener en cuenta que la planta todavía no está en marcha y no se ha realizado el diagnóstico de los equipos, es por esto que el presente análisis se elaboró por medio de suposiciones lógicas y de la utilización de herramientas de análisis de riesgo que han sido empleadas en procesos similares a los que se van a desarrollar en esta planta piloto.

Mediante el uso de las herramientas de análisis de riesgo, se van a determinar las causas, consecuencias y medidas de mitigación para cada amenaza.

2.2.1. Matriz de riesgo

Es una herramienta que permite visualizar y clasificar los riesgos identificados en función de su probabilidad de ocurrencia y su impacto. En el contexto de una planta piloto, los riesgos pueden estar relacionados con diversos aspectos, como la manipulación de sustancias químicas peligrosas, la operación de equipos, la interacción entre distintos componentes del proceso, entre otros. Esta matriz ayuda a identificar aquellos riesgos críticos que podrían tener un impacto significativo en la seguridad, la salud, la economía y el medio ambiente [24].

Para construir una matriz de riesgos, se establecen escalas de probabilidad e impacto (determinado por las consecuencias) que sean relevantes para la planta piloto. La escala de probabilidad puede ir desde muy poco probable hasta casi seguro, reflejando la posibilidad de que ocurra un evento o incidente asociado al riesgo. La escala de impacto puede ser desde insignificante hasta catastrófico, representando las consecuencias potenciales de ese evento o incidente.

En la matriz se representa el impacto potencial de un evento no deseado frente a la probabilidad de que ocurra el evento.

Las siguientes matrices se elaboraron con base en lo estipulado en el libro *Fundamentals of Risk Management for Process Industry Engineers* [24], del cual se tomaron conceptos y criterios de evaluación adecuados para el ejercicio de ingeniería que conlleva evaluar los riesgos de proceso en el CEPIIS.

Tabla 2.*Matriz de consecuencias*

Consecuencias					
Categoría	Personas	Economía	Infraestructura	Medio Ambiente	Impacto
5	Múltiples fatalidades y/o exposición irreversible significativa a un riesgo para la salud que afecta a más de diez personas.	Costo de remediación mayor a \$3.999,966M	Pérdida total de los equipos	Afectación ambiental irreparable, posible pérdida de licencia para operar y procesamiento de la empresa y sus directores	Catastrófico
4	Única fatalidad, lesión incapacitante permanente o exposición a un riesgo para la salud que reduce la esperanza de vida.	Costo de remediación mayor a \$999,966M y menor o igual a \$3.999,966M	Pérdida parcial en la operatividad de los equipos y sobrecostos por reparaciones no planificadas	Afectación ambiental grave, posible enjuiciamiento personal y comercial	Mayor
3	Lesión/exposición grave que requiere hospitalización con efectos permanentes moderados.	Costo de remediación mayor a \$499,966M y menor o igual a \$999,966M	Afectaciones en los equipos e instalaciones que requieran detener el proceso	Contaminación con efectos moderados, puede requerir limpieza exhaustiva	Moderado
2	Lesión importante. Requiere tratamiento médico del cual su recuperación es segura.	Costo de remediación mayor a \$99,966M y menor o igual a \$499,966M	Daños menores en equipos e instalaciones que no requieran de detener el proceso	Contaminación con efectos menores	Menor
1	Lesiones menores que no requieren tratamiento médico	Costo de remediación menor a \$99,966M	Daños leves en los equipos e instalaciones	Baja contaminación, ningún efecto observable en el medio ambiente	Insignificante

Nota: Se elaboró la matriz de consecuencias, con base en los criterios de afectación seleccionados (salud, economía, infraestructura y medio ambiente) para determinar el impacto según su categoría. Tomado de: Hassall, Maureen Lant, Paul. "Fundamentals of Risk Management for Process Industry Engineers - 5.3.2 Risk Analysis." Elsevier, 2023, pp. 95.. Retrieved from: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01391M9B/fundamentals-risk-management/risk-analysis>.

El costo por pérdidas económicas se tomó a partir de la matriz del plan de gestión de riesgos elaborado anteriormente [25], ajustándolo al valor del CEPCI 2023 más actual a la fecha que es al mes de septiembre de 2023. Este valor disminuyó en un 3,4% con base en el valor CEPCI correspondiente a septiembre de 2022 [26].

Esta categoría de consecuencias se clasifica de 1 a 5, siendo 1 una consecuencia que genera un impacto insignificante, es decir que no tiene ninguna afectación relevante para los diversos parámetros en la planta piloto, 2 es una consecuencia con un impacto menor, donde hay daños menores pero que no afectan los procesos de la planta, 3 es una consecuencia con un impacto moderado, donde sí se evidencia una afectación en el proceso y los diversos parámetros, pudiendo generar lesiones permanentes en las personas y daños en equipos, cuya consecuencia puede ser la detención del proceso productivo y pérdidas económicas, 4 es una consecuencia con un impacto mayor donde para cada parámetro se desencadenan eventos negativos y es obligatoria la detención del proceso, 5 es una consecuencia con un impacto catastrófico que genera la pérdida total de los equipos y por ende una afectación económica enorme, esto implicaría detener el proceso por un largo periodo de tiempo, pérdida de los trabajos investigativos o proyectos de producción elaborados por estudiantes y/o empresas contratantes, gran contaminación y daño ecológico, generando un riesgo en la salud pública debido a que un evento catastrófico presenta un radio de afectación grande.

Tabla 3.

Matriz de probabilidad

Probabilidad	Criterio
1 Muy poco probable	El evento puede ocurrir bajo circunstancias excepcionales
2 Poco probable	El evento podría ocurrir alguna vez
3 Moderado	El evento debería ocurrir en algún momento
4 Probable	El evento probablemente ocurra en la mayoría de circunstancias
5 Casi seguro	Se espera que el evento ocurra en la mayoría de circunstancias

Nota: La matriz muestra la probabilidad de ocurrencia de un evento y su criterio. Tomado de: Hassall, Maureen Lant, Paul. "Fundamentals of Risk Management for Process Industry Engineers - 5.3.2 Risk Analysis." Elsevier, 2023, pp. 95.. Retrieved from: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01391M9B/fundamentals-risk-management/risk-analysis>.

Tabla 4.*Clasificación del riesgo*

Clasificación	Criterio
A Muy bajo	Aceptable, hacer revisiones periódicas.
B Bajo	Generalmente aceptable, gestionar con seguimiento y revisiones periódicas.
C Medio	Tolerable si se actúa con las debidas medidas de control. Se debe actuar monitorear y revisar.
D Alto	Tolerable si se aplica con alta prioridad y se identifican, monitorean medidas de control de riesgo reconocidas por la industria.
E Muy alto	Inaceptable, las operaciones no continúan hasta que se reduzca el riesgo.

Nota: Se presenta como se clasifica el riesgo con base en un criterio de aceptación. Tomado de: Hassall, Maureen Lant, Paul. "Fundamentals of Risk Management for Process Industry Engineers - 5.3.2 Risk Analysis." Elsevier, 2023, pp. 95.. Retrieved from: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01391M9B/fundamentals-risk-management/risk-analysis>.

Con base en las consideraciones anteriores se elaboró la matriz de probabilidad - impacto, para así definir el peligro, partiendo de un peligro muy bajo a uno muy alto.

Tabla 5.*Matriz Probabilidad - Impacto*

			Impacto				
			Insignificante	Menor	Moderado	Mayor	Catastrófico
			A (1)	B (2)	C (3)	D (4)	E (5)
Probabilidad	Casi seguro	5	Medio (5)	Alto (10)	Alto (15)	Muy alto (20)	Muy alto (25)
	Probable	4	Medio (4)	Medio (8)	Alto (12)	Muy alto (16)	Muy alto (20)
	Moderado	3	Bajo (3)	Medio (6)	Medio (9)	Alto (12)	Alto (15)
	Poco probable	2	Muy bajo (2)	Bajo (4)	Medio (6)	Medio (8)	Alto (10)
	Muy poco probable	1	Muy bajo (1)	Muy bajo (2)	Bajo (3)	Medio (4)	Medio (5)

Nota: La matriz permite hacer la evaluación de un riesgo teniendo en cuenta su probabilidad de ocurrencia y el impacto que genera en los parámetros establecidos.

Para evaluar por medio de esta matriz se tiene en cuenta la probabilidad de que el riesgo suceda y el impacto de su consecuencia. Por ejemplo, si es poco probable que el riesgo suceda, y el impacto de este es moderado, se multiplican los números que los representan, siendo en poco probable: 2

y en moderado: 3, se multiplica: $3 \times 2 = 6$ y se le asigna la letra que lo acompaña, que es la clasificación del riesgo, en este caso el riesgo tendría una valoración de 6C y está clasificado como riesgo medio.

2.2.2. Metodología What If

La herramienta de análisis What If, permite identificar los peligros de una operación, mediante un análisis cualitativo. Por medio del cuestionamiento, es un método inductivo que, mediante información específica de los procesos y la identificación de zonas de riesgo, permite formular preguntas bajo la suposición de “¿qué pasaría si...?” para establecer las causas y consecuencias de un riesgo. Se recomienda hacer este análisis con un grupo de expertos para discutir de manera más precisa las causas, consecuencias; para proponer recomendaciones que mitiguen el riesgo de manera adecuada [27].

El propósito del método comprende tres aspectos:

- Identificación de las condiciones y situaciones peligrosas que se pueden generar a partir de una mala implementación y un mal manejo de barreras preventivas.
- Identificar los eventos que pueden provocar accidentes.
- Generar recomendaciones para reducir el riesgo dentro del sistema [28].

Para iniciar las preguntas de “¿qué pasaría si...?” en el análisis de riesgos de los procesos de la planta piloto, primero se realizó una lectura de los manuales de operación proporcionados para cada equipo, se realizó una identificación de los componentes de los equipos, formulando posibles escenarios de riesgo para tal caso en que algún procedimiento generado en los componentes (llenado, transporte, calentamiento, etc) genere dificultades.

Por ejemplo: Para iniciar con el análisis What If para la columna de destilación, con base en las zonas de riesgo identificadas anteriormente para el equipo. Se pensó en qué escenarios se pueden presentar según un fallo en los parámetros con los que se opera en dicha zona, que depende de un equipo que la compone. En este caso se cuenta con componentes como: tanque de almacenamiento, intercambiador de calor, sensores de temperatura, bombas.

Teniendo identificados los componentes, que son un posible escenario de riesgo para el proceso, se inicia con los cuestionamientos:

En el caso del tanque, teniendo en cuenta que es un instrumento de nivel y va a haber almacenamiento de fluidos o reactivos [28], la pregunta fue:

- ¿Qué pasaría si hay una fuga en el tanque de almacenamiento?

Hecha la pregunta, se analizan posibles consecuencias dado que se genere la fuga, las consecuencias con base en el proceso, pueden ser:

- Pérdida de fluido.
- Disminución en la eficiencia del proceso.
- Sobrecalentamiento del sistema.
- Generación de vapores tóxicos, explosión o incendio, por el contacto con otras sustancias.

Teniendo estas consecuencias, se proponen unas medidas de prevención, para evitar que se presente el riesgo. Para el caso del tanque fueron:

- Hacer revisiones periódicas del tanque.
- Implementar un sistema de detección de fugas.
- Inspección y mantenimiento de las líneas de suministro.

2.2.2.a Análisis What If para cada zona y equipo del CEPIIS. A continuación, se presenta el análisis what if (¿qué pasaría si...?) realizado para cada zona de riesgo identificada en los equipos del CEPIIS.

Tabla 6.

Análisis What-If Zonas CEPIIS

Zona del CEPIIS	¿Qué pasaría si...	Consecuencias	Prevención
Columna de destilación	hay una fuga en el tanque de almacenamiento?	Pérdida de líquido Generación de vapores debido a la interacción con otras sustancias Riesgo de incendio o explosión debido a la interacción entre sustancias Sobrecalentamiento del sistema	Hacer revisiones periódicas del tanque Inspección y mantenimiento de las líneas de suministro Implementar un sistema para detectar fugas
	falla el intercambiador de calor?	Fugas en la valvula de alimentación Sobrecalentamiento Menor eficiencia Mal manejo de la cantidad de combustible	Mantenimiento del intercambiador Monitoreo de la temperatura y presión Implementar sistemas de alarma Implementar sistemas de respaldo
	hay un mal funcionamiento del sensor de temperatura?	Mal funcionamiento del condensador por mala lectura de puntos de ebullición Pérdida de control sobre las temperaturas del proceso Sobrecalentamiento o enfriamiento	Realizar calibraciones Implementar sistemas de alarma Monitorear la temperatura durante el proceso
	se presentan fugas en los tubos del condensador?	Pérdida de refrigerante Disminución de la eficiencia de condensación Derrames	Inspección y mantenimiento de los tubos Implementar sistema de detección de fugas
	se sobrecalienta el rehervidor ?	Riesgo de sobrepresurización, daños en la torre de destilación,	Realizar monitoreos de la temperatura Tener un sistema de enfriamiento de emergencia Hacer mantenimientos regulares en el equipo

Zona del CEPIIS	¿Qué pasaría si...	Consecuencias	Prevención
	falla la bomba?	Interrupcion del paso del flujo, sobrepresurizacion de la torre,	Mantenimiento de la bomba Tener sistemas de monitoreo y control de flujo
	Falla el sensor de presión?	Riesgo de tener sobrepresurizacion o baja presión, daños en la torre, Fluctuaciones en el caudal de entrada o salida de la torre	Calibracion de los sensores de presión Implementar sistemas de alarma, Realizar un mantenimiento periodico del regulador Revisar que este calibrado
Planta de absorción	se presentan fallas en el regulador de flujo?	Menor rendimiento de la operación Pérdida de calidad del producto Malas condiciones de humedad requerida en la torre	Revisar que opere según los límites establecidos Hacer pruebas de funcionamiento Mantenimiento periódico del humidificador
	el humidificador no distribuye de manera adecuada el líquido humidificante?	Desequilibrio entre los componentes gaseosos y líquidos Pérdidas de eficiencia y calidad en la obtención del producto	Monitoreos de la humedad en la torre de absorción Revisar las condiciones de operación del humidificador
	falla el sensor de presión?	Perdida del control de presión en la torre, puede haber sobrepresurizacion o baja presión Desequilibrio del proceso Problemas de eficiencia	Mantenimiento de los sensores de presión Realizar calibraciones Tener sensores de alarma
	falla el re-distribuidor de líquido?	Distribución desigual del líquido a lo largo de la columna Absorción deficiente de los productos deseados Disminucion en la eficiencia del proceso Acumulación del liquido en el fondo de la columna	Realizar mantenimiento periódico Tener sistemas de monitoreo para verificar la distribución del líquido en la columna Tener sensores de nivel para detectar irregularidades
	falla el sensor de temperatura?	Mala lectura en los cambios de temperatura dentro de la torre Desequilibrio en el proceso, se pueden generar reacciones químicas secundarias no deseadas	Realizar calibraciones periodicas Tener sensores de temperatura de respaldo por si falla el sensor principal

Zona del CEPIIS	¿Qué pasaría si...	Consecuencias	Prevención
		Riesgo de sobrecalentamiento o enfriamiento	Tener personal que realice inspecciones manuales, para observar signos de falla
		Mala eficiencia del proceso y baja calidad en el producto deseado	Tener sistema de alarma para detectar lecturas raras en la temperatura
Secador de bandejas	falla el reservorio de agua?	Interrupcion del suministro de agua al secador Retrasos en la operación de secado Riego de agua en las bandejas que las podría dañar	Mantenimiento regular del reservorio Tener un sensor de nivel que mida los rangos de capacidad del agua Inspeccionar el reservorio para detectar posibles fugas
	falla la bomba de agua?	Falta de circulación de agua en el sistema de enfriamiento Secado ineficiente, que causa disminución de la eficiencia del proceso Inundación de las bandejas que las puede dañar Falta de calor en las bandejas	Inspecciones en la bomba para detallar fallas Implementar sistemas de alarma Implementar un sistema de respaldo para la circulación de agua
	se presentan fallas en las resistencias ubicadas a la salida del ventilador?	Mayor retencion de humedad que puede generar la proliferacion de microorganismos Sobrecalentamiento en el secador de bandejas	Realizar un mantenimiento periódico, verificando conexiones eléctricas Tener un sistema de control de temperatura, puede ser a través de alarmas
	falla el regulador de potencia?	Fallo en el control de calor del secador, se pueden ocasionar quemaduras en las bandejas y los productos Perdida de eficiencia energetica	Mantenimientos periodicos Implementar sistemas de control y monitoreo de la potencia
Extractor	se presentan fugas en el tanque con aceite térmico?	Derrame de sustancias peligrosas Riesgo de incendio y contaminación ambiental Exposicion del personal a sustancias toxicas	Mantenimiento regular para detectar posibles fugas Tener un sistema de contención para evitar la propagación de la sustancia

Zona del CEPIIS	¿Qué pasaría si...	Consecuencias	Prevención
	falla la bomba centrífuga?	Interrupción del proceso de extracción Baja presión Pérdida de eficiencia del proceso	Realizar inspecciones en la bomba Tener sistemas de monitoreo, principalmente para detectar cambios en la presión y temperatura
	se presenta un fallo en la bomba de vacío?	Reduccion de la capacidad para remover gases Reduccion en la eficiencia del proceso	Realizar mantenimientos a la bomba de limpieza y revision de sellos Tener sistemas de monitoreo
	se presentan fugas en los tanques colectores?	Pérdida de los productos extraídos Riesgos de seguridad y contaminación ambiental	Inspección periódica a los tanques Implementar sistemas de monitoreo de nivel en los tanques Implementar sistemas de contencion y drenaje
	hay problemas en la trampa de vacío?	Acumulación de líquidos no deseados Disminución en la eficiencia del proceso	Mantenimiento de la trampa de vacío, correcta limpieza Implementar sistemas de monitoreo
	falla el sensor de temperatura?	Fallo en el monitoreo de las condiciones del extractor Pérdida de calidad del producto Disminución en la eficiencia del proceso	Calibraciones y pruebas regulares del sensor Implementar sistemas de monitoreo
planta térmica	falla el tanque de ACPM?	Fuga o derrame Contaminación del suelo y agua Riesgos en la salud de los trabajadores	Inspecciones periodicas para detectar fugas o daños Tener sistemas de contencion Tener medidas de seguridad en caso de derrames Mantenimiento regular del dosificador
	no funciona bien el dosificador de ACPM?	bloqueo del dosificador: sobredosificación o subdosificación Mala combustión Disminución en la eficiencia del proceso	Implementar sistemas de monitoreo Verificar la presión del dosificador

Zona del CEPIIS	¿Qué pasaría si...	Consecuencias	Prevención
	falla el suavizador de agua?	Acumulación de impurezas en el agua Corrosión	Mantenimiento regular del suavizador Monitoreo de la calidad del agua Pruebas de laboratorio para ver si el agua cumple con los estándares requeridos
	falla la caldera?	Sobrepresión que puede generar explosiones Falta de agua, que genera pérdida en la eficiencia del proceso	Mantenimiento y revisión general de la caldera Tener sistemas de seguridad y controles automáticos para monitorear la presión y el nivel de agua Capacitación de personal para el correcto manejo de la caldera
	falla la bomba tanque de condensados?	Acumulación de condensados en el sistema Desbordamiento del tanque Disminución en la eficiencia del proceso	Mantenimiento regular de la bomba Implementar sistemas de monitoreo y alarmas
	falla el intercambiador de calor?	Disminución de la eficiencia del proceso Sobrecalentamiento Disminución de la temperatura del sistema	Mantenimiento regular y limpieza de los intercambiadores Implementar sistemas de monitoreo de temperatura y flujo
PTAR	hay una fuga en el tanque de almacenamiento de agua lluvia?	Contaminación del suelo y agua subterránea Propagación de contaminantes a los alrededores de la planta	Realizar inspecciones del tanque para detectar posibles fugas o daños Implementar sistemas de monitoreo de nivel y alarmas que alerten en caso de un nivel de agua muy alto.
	se contamina el agua de proceso?	Pérdida en la calidad del tratamiento de aguas residuales Pérdida de la eficiencia de la PTAR Pérdida de calidad del agua tratada Generación de sanciones	Implementar protocolos de manejo y almacenamiento de agua de proceso Implementar sistemas de filtración y purificación para prevenir la entrada de contaminantes al tanque Realizar análisis del agua almacenada

Zona del CEPIIS	¿Qué pasaría si...	Consecuencias	Prevención
	hay una fuga en el tanque de almacenamiento de agua de proceso?	Contaminación del agua tratada Contaminación del suelo Liberación de contaminantes al ambiente	Realizar inspecciones del tanque para detectar posibles fugas o daños Implementar sistemas de monitoreo de nivel y alarmas que alerten en caso de un nivel de agua muy alto.
Banco de reactores	se presentan fallas en los reactores CSTR?	Sobrecalentamiento del reactor Reacciones no deseadas Daños en el equipo Liberación de productos químicos peligrosos Variación en la velocidad de reacción debido a fallos en el sistema de agitación	Implementar sistemas de control de temperatura Monitorear regularmente la temperatura en el proceso Implementar sistemas de control de flujo
	se presenta un error en la alimentación de los reactores	Cambios en la concentración de reactivos dentro del reactor Reacciones ineficientes	Implementar sistemas de alarma y control de dosificación Realizar verificaciones de la dosificación
	se presentan fallas en los reactores PFR?	Sobrecalentamiento del reactor Reacciones no deseadas Daños en el equipo Liberación de productos químicos peligrosos Acumulación de presión	Implementar sistemas de monitoreo y control para ajustar los parámetros de operación Realizar análisis de los componentes que se alimentan al reactor Establecer límites de temperatura y presión por medio de la implementación de alarmas
	se presentan fallas en los reactores PBR?	Acumulación de partículas que generan una reducción en la eficiencia de la reacción Variaciones en la temperatura Cambios en la velocidad de reacción Contaminación del catalizador	Mantenimiento regular del reactor junto con limpieza o cambio pertinente del catalizador Implementar sistemas de filtración Implementar sistemas de control de temperatura

Zona del CEPIIS	¿Qué pasaría si...	Consecuencias	Prevención
	se contaminan los reactivos en los tanques de alimento?	<p>Perdida de pureza de los reactivos</p> <p>Formación de productos no deseados</p> <p>Pérdida de eficiencia en la reacción</p>	<p>Realizar limpieza y mantenimiento regular de los tanques</p> <p>Realizar análisis de los componentes que se alimentan al reactor</p>
	hay una fuga en el tanque de aceite térmico?	<p>Pérdida de suministro de calor a los reactores</p> <p>Riesgo de daño en los equipos</p> <p>Riesgo de incendio o explosión</p>	<p>Realizar mantenimiento preventivo para detectar fallos</p> <p>Implementar sistemas de contención</p> <p>Tener equipos de control de incendios</p>
	se presenta fallo en las bombas?	<p>Interrupción de la alimentación a los reactores</p> <p>Pérdida de tiempo de producción</p> <p>Pérdida de producto</p> <p>Acumulación de reactivos</p>	<p>Realizar mantenimiento regular a las bombas</p> <p>Implementar sistemas de monitoreo</p> <p>Tener sistemas de respaldo</p>
Tren de evaporadores	falla el condensador?	<p>Sobrecalentamiento de los vapores</p> <p>Disminución en la eficiencia de evaporación</p> <p>Aumento en la presión del sistema por acumulación de vapores sin condensar</p>	<p>Realizar mantenimiento regular al condensador</p> <p>Implementar sistemas de alarma para detectar cambios en la temperatura y presión</p>
	hay sobrecarga en el tanque de condensados?	<p>Desbordamiento del tanque</p> <p>Derrame de líquido</p>	<p>Implementar sistemas de alarma de nivel</p> <p>Implementar procedimientos de manejo de derrames</p>

Zona del CEPIIS	¿Qué pasaría si...	Consecuencias	Prevención
	falla el sensor de temperatura?	<p>perdida de control del proceso de evaporación</p> <p>riesgo de sobrecalentamiento</p> <p>reacciones ineficientes</p>	<p>Realizar mantenimiento del sensor</p> <p>Implementar sistemas de alarma para detectar cambios anormales en la temperatura</p>
	falla el sensor de presión?	<p>Pérdida de control de presión</p> <p>Riesgo de sobrepresión o presión baja</p> <p>Reacciones ineficientes</p>	<p>realizar mantenimiento del sensor</p> <p>Implementar sistemas de alarma para detectar cambios anormales en la presión</p>
	fallan las bombas?	<p>Interrupción del flujo de líquido</p> <p>Detención del proceso de evaporación por falta de líquido</p> <p>Daños en el equipo</p>	<p>realizar mantenimiento de las bombas</p> <p>tener sistemas de respaldo</p> <p>implementar sistemas de monitoreo de las bombas para detectar fallas temprano</p>
	fallan los evaporadores?	<p>Detención del proceso de evaporación</p> <p>Reducción en la capacidad de producción</p> <p>Interrupción del suministro de alimento a los evaporadores</p>	<p>realizar mantenimiento regular de los evaporadores</p> <p>implementar un plan de contingencia</p> <p>implementar sistemas de alarma</p>
Reactor de alta presión	falla el sistema de control de presión?	<p>riesgo de sobrepresión</p> <p>daños en el equipo</p> <p>detención del proceso que genera pérdida de datos</p>	<p>realizar mantenimiento y calibración del sistema de control de presión</p> <p>implementar un sistema de alarma</p>

Zona del CEPIIS	¿Qué pasaría si...	Consecuencias	Prevención
	se producen fugas en el sistema?	pérdida de presión pérdida de productos fuga de sustancias nocivas para la salud y el medio ambiente	realizar inspecciones regulares a las conexiones del reactor utilizar sustancias compatibles con las condiciones de alta presión tener un sistema de ventilación adecuado implementar protocolos de control de fugas
Biorreactor	se contamina el biorreactor?	pérdida de la actividad microbiana pérdida de datos experimentales reducción de la productividad contaminación cruzada	establecer protocolos de limpieza para cada uso utilizar medidas de bioseguridad implementar un protocolo de emergencia para controlar la contaminación
	falla el sistema de control de temperatura?	afectación en las reacciones biológicas pérdida de datos experimentales reducción de la productividad	realizar mantenimiento del sistema de control de temperatura implementar sistemas de alarma
	se presenta un derrame del cultivo biológico?	contaminación del entorno pérdida de material y recursos para la investigación	implementar un sistema de contención en caso de derrame implementar procedimientos de manipulación segura
Tanques de almacenamiento zona CUBO	hay fugas o derrames en algún tanque?	Pérdida de agua que afecta el suministro necesario para los diversos procesos de la planta Riesgo de inundación	Realizar inspecciones regulares en los tanques para detectar daños Implementar sistemas de alarma que detecten niveles altos en los tanques Implementar sistemas de contención para controlar las fugas

Zona del CEPIIS	¿Qué pasaría si...	Consecuencias	Prevención
	se contamina el agua almacenada por la entrada indeseada de sustancias extrañas?	Afectación en las operaciones del proceso Pérdida de calidad de los productos obtenidos en la planta debido al uso de esta agua contaminada en procesos que no son aptos	Realizar análisis del agua en el laboratorio para observar si cumple con lo requerido en los procesos de la planta Implementar protocolos de seguridad para el suministro de agua en los tanques
	se presenta un daño estructural en los tanques?	Riesgo de corrosión y debilidad en la estructura Ruptura del tanque que puede generar pérdida total del agua Riesgo de inundación Deficiencia en la disponibilidad de agua para los procesos de la planta	Realizar inspecciones en los tanques para detectar daños Implementar sistemas de contención en caso de ruptura Implementar sistemas de alarma para detectar anomalías en el nivel de agua de los tanques

2.2.3. Metodología HAZOP

La metodología HAZOP (Hazard and Operability Study) es una herramienta fundamental en la gestión de riesgos de procesos químicos para la planta piloto. Su aplicación implica un análisis detallado y sistemático de cada etapa de un proceso, identificando posibles desviaciones o situaciones que puedan conducir a riesgos. Durante el HAZOP, se examinan tanto aspectos de seguridad como operativos, lo que permite detectar posibles mejoras en la eficiencia del proceso [29]. Este enfoque integral facilita la identificación temprana de peligros, minimizando así los riesgos asociados a los procedimientos químicos en la planta piloto. La implementación de la metodología HAZOP en el plan de gestión de riesgos se convierte en una herramienta esencial para garantizar la seguridad y la confiabilidad de las operaciones, al mismo tiempo que contribuye a optimizar la producción y la calidad del producto final.

Para realizar el análisis HAZOP se tuvo en cuenta lo estipulado en la guía de aplicación para estudios HAZOP de la norma internacional IEC 61882 [29].

Los objetivos del análisis HAZOP son:

- Identificar los riesgos asociados a la operación y mantenimiento del sistema, considerando los peligros y otras fuentes de riesgo involucrados.
- Identificar posibles inconvenientes en el funcionamiento del sistema, centrándose especialmente en identificar las causas de interrupciones operativas y desviaciones en la producción que puedan resultar en la obtención de productos que no cumplen con los estándares establecidos.

2.2.3.a. *Alcance del estudio.* El alcance de este análisis HAZOP se centra en la evaluación de los peligros y actividades operativas asociadas con los equipos de la planta piloto, antes de la puesta en marcha. Se va a llevar a cabo una revisión de los procesos teniendo en cuenta lo especificado en los manuales de operación de los equipos. Con este análisis se pueden identificar los posibles riesgos y mejorar la operatividad para la fase inicial previa al funcionamiento, garantizando así un arranque seguro y eficiente de las operaciones.

Como no se han realizado pruebas diagnosticas para verificar el correcto funcionamiento de los equipos, el análisis HAZOP se va a realizar de manera individual para cada equipo, sin considerar que se tiene un proceso continuo, además, como son equipos de una planta piloto, las sustancias químicas involucradas pueden variar según el proceso requerido, es por esto que para este analisis no se tuvo en cuenta un proceso con sustancias especificas para cada equipo, sino que se realizo de manera general con base en lo estipulado en los manuales de operación y de las sustancias ya presentes en los equipos que se encuentran instalados en la planta.

2.2.3.b. *Descripción del método.* Para iniciar un análisis HAZOP se requiere de una documentación mínima:

- Hojas de datos de seguridad de los productos químicos manejados en el proceso.
- Diagramas P&ID y planos PFD.
- Documento descriptivo del proceso y de la filosofía de control y bloqueo y los manuales de operación de las unidades facilitados por el proveedor.
- Estudios HAZOP conocidos para sistemas similares.

Se deben emplear unas palabras guía, (NO, MAS, MENOS, etc.) que aplicadas a los parámetros de proceso (CAUDAL, PRESIÓN, TEMPERATURA, etc.) dan lugar a desviaciones (MAS CAUDAL, MENOS PRESIÓN, etc.) de la intención o condición normal de proceso. Una vez determinadas las desviaciones de las variables de proceso, se determina la lista de posibles causas que las provocan, el escenario que se puede derivar y sus consecuencias [30].

2.2.3.c. Definición de nodos. En la metodología HAZOP, el proceso se divide en partes más pequeñas denominados “Nodos”, para que el análisis se pueda generar de manera más detallada y sistemática. La finalidad del nodo es evaluar un parámetro de operación como: presión, temperatura, flujo, etc. El nodo puede ser un equipo principal, un conjunto de equipos, o el conjunto de equipos junto con sus tramos de tubería que funcionan enlazados [30].

Los nodos seleccionados para hacer el análisis en la planta piloto, fueron seleccionados observando los diagramas de tuberías e instrumentación P&ID y corresponden a una ubicación específica dentro de los equipos que esta asociada con algún parámetro de operación para identificar las desviaciones.

La selección de nodos para cada equipo se encuentra en la realización del estudio HAZOP a detalle.

2.2.3.d. Definición de la intención. A cada nodo se le asigna una intención que es una descripción de la operación segura que se espera del nodo, indicando los rangos operativos normales de los parámetros, para comprender cómo debería operar el nodo en dichas condiciones normales [30].

Para el caso del CEPIIS, debido a que la planta no ha iniciado su puesta en marcha, para algunos nodos la intención se definió con base en lo estipulado en el manual para todos los procesos de manera general, teniendo en cuenta la capacidad de diseño, para otros nodos es necesario conocer las condiciones de operación de un proceso en específico, y como no se han establecido, la intención del nodo se define como: limitado a las condiciones del proceso.

2.2.3.e. Selección de los parámetros de proceso. La persona encargada del estudio debe proponer los parámetros que se van a considerar en cada nodo del estudio para posteriormente decidir los que se van a aplicar. Se distinguen dos tipos de parámetros:

- Parámetros específicos. Se trata de variables que se pueden medir o detectar y que describen ciertos aspectos físicos del proceso.

-Parámetros generales. Se refiere al conjunto de situaciones que, al momento de ser rechazadas o modificadas de manera cualitativa, pueden generar una condición de peligro para el proceso [30].

Luego de determinar los parámetros, deben ser analizados en un estudio HAZOP siempre y cuando sean de aplicación.

2.2.3.f. Utilización de palabras guía y selección de parámetros. Para realizar el estudio HAZOP se seleccionaron unos parámetros de proceso, de carácter específico, es decir, variables que pueden ser medidas y/o detectadas, que describen ciertos aspectos físicos del proceso [30]. Para el análisis HAZOP del CEPIIS, se analizaron los parámetros de: presión, temperatura, nivel, flujo y composición, porque son los que intervienen en la operación de cada nodo seleccionado.

Con los parámetros de proceso seleccionados, se pueden identificar las desviaciones del proceso, mediante el uso de un conjunto de palabras guía. Se emplea un conjunto reducido de palabras guía estandarizadas, las cuales tienen un significado específico en relación a la desviación que pueden provocar en un parámetro, y su interpretación se encuentra detallada en la siguiente tabla:

Tabla 7.

Utilización de palabras guía

Palabra guía	Significado
NO	Negación de la intención de diseño
MÁS	Incremento cuantitativo en un parámetro de proceso

MENOS	Disminución cuantitativa en un parámetro de proceso
OTRO	Situación o modificación alternativa en el parámetro analizado
INVERSO	Opuesto a la dirección de proceso prevista

Nota: En la tabla se describen las palabras guía que se van a utilizar para el análisis HAZOP Tomado de: IEC, "IEC-61882, Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide", 2016.

2.2.3.g. *Planteamiento de las desviaciones.* Las desviaciones se generan combinando las palabras guía con los parámetros de proceso:

Palabra guía + Parámetro = Desviación (1)

Las desviaciones generadas deben ser coherentes y estar adecuadas al estudio a realizar, se debe tener en cuenta la compatibilidad entre el parámetro y la palabra guía seleccionada [30].

Por ejemplo, para el parámetro presión, se pueden utilizar palabras guía como MÁS y MENOS. Teniendo así la desviación de un análisis cuando hay más presión y menos presión en el nodo.

2.2.3.h. *Planteamiento de causas y consecuencias.* Una vez seleccionadas las desviaciones para cada nodo, se deben determinar sus causas, para poder abordarlas de manera efectiva. Las causas se pueden originar por un fallo en los equipos o instrumentos, fallos humanos y por eventos externos.

Las causas se priorizan según la probabilidad de ocurrencia y el impacto que generan para el proceso, centrandose en abordar las que presentan mayores riesgos. Cada causa puede dar lugar a diversas consecuencias, según los eventos que ocurran [29].

Las consecuencias se identifican según la afectación que esta genere a la salud de los trabajadores, a la infraestructura de la planta, a la economía y al medioambiente.

Por ejemplo, si en un tanque de almacenamiento se presenta un derrame como consecuencia de una mala apertura de la válvula, un mal control del nivel del tanque, falta de mantenimiento, etc. Ese derrame puede generar interacción con alguna otra sustancia que se encuentre en la planta, si las sustancias resultan ser líquidos inflamables, la consecuencia va a ser la creación de un incendio, dicho incendio va a generar un efecto dominó, afectando las estructuras que tenga a su alrededor, afectando la salud de las personas que se encuentren en la planta, va a emitir contaminantes que afecten al medio ambiente y como consecuencia se va a ver afectada la economía para las operaciones del CEPIIS.

2.2.3.i. Análisis de las salvaguardas. Para cada desviación y consecuencias identificadas, se debe determinar que salvaguardas se encuentran existentes en los equipos de la planta piloto. Las salvaguardas son medidas o dispositivos diseñados para prevenir, mitigar o controlar los riesgos asociados con las desviaciones identificadas durante el análisis [30]. Su implementación busca reducir la probabilidad de que ocurran eventos peligrosos y minimizar el impacto en caso de que ocurran.

Las salvaguardas identificadas para el HAZOP de la planta piloto, son dispositivos que ya se encuentran instalados en los equipos, como sensores de temperatura, sensores de presión e indicadores de nivel.

2.2.3.j. Evaluación del riesgo. La valoración del riesgo implica analizar detalladamente los peligros presentes en el proceso, considerando tanto su probabilidad de ocurrencia como las posibles consecuencias que podrían surgir. Esto ayuda a establecer una comprensión clara de los riesgos involucrados y permite tomar decisiones informadas sobre cómo abordarlos y gestionarlos de manera efectiva [30], siendo de gran importancia para priorizar los riesgos más significativos y anticiparse a estos, con el fin de evitar impactos negativos en la salud de los trabajadores, la economía, la infraestructura y el medio ambiente en los procedimientos llevados a cabo en el CEPIIS.

La evaluación de los riesgos identificados para el HAZOP, se realizó utilizando la matriz de riesgos elaborada (ver Tabla 5.). La valoración de cada riesgo se obtuvo empleando la siguiente operación: $\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Impacto}$ (2).

2.2.3.k. Recomendaciones. Las recomendaciones son las acciones propuestas con el objetivo de reducir los riesgos y mitigar las consecuencias identificadas durante el estudio HAZOP.

Es importante que las recomendaciones generadas sean claras para que otras personas puedan implementarlas correctamente, y se establecen con base en los escenarios de afectación [29]. Las principales recomendaciones implementadas para el análisis HAZOP, son sobre la instalación de nuevas herramientas en los equipos, como sistemas de control, para garantizar la una eficiencia en el proceso operativo y así no desencadenar un posible riesgo, también contar con personal capacitado para monitorear los procesos que van a ocurrir en la planta piloto.

2.2.3.l. Elaboración de los HAZOP. El HAZOP realizado es una actualización y complemento al plan de gestión de riesgos que se realizó en el año 2022 [25].

En el cuerpo del formato se eliminó un ítem llamado “paso/etapa” que se encontraba en este HAZOP anterior, debido a que ese ítem se considera para el HAZOP de procedimiento, y en este plan de gestión de riesgos, los HAZOP elaborados para cada equipo son de proceso, en donde se tiene en cuenta un parámetro, que puede ser de presión, temperatura, flujo, nivel, concentración, composición, entre otros, según lo estipulado en la guía para la realización de estudios HAZOP [30].

Posterior al análisis What If, el cual permitió realiza una identificación previa de los riesgos y sus posibles causas, se realizó el análisis HAZOP, para las zonas:

CEPURE: Planta de extracción sólido-líquido, líquido-líquido, secador de bandejas.

CESI: Planta térmica, PTAR.

CETA: Banco de reactores, tren de evaporadores.

BIOCAL: Biorreactor, reactor de alta presión.

CUBO: Tanques de almacenamiento

Para la zona CEPURE, en los equipos de torre de destilación y torre de absorción, se realizó la modificación del HAZOP, acorde al formato empleado en este documento y a nuevos riesgos identificados, pero se dejó el análisis realizado para el plan de gestión de riesgos anterior [25] debido a que ambos equipos no están montados en su totalidad en el CEPIIS, y no se observaron modificaciones en los diagramas P&ID.

A continuación, se presenta un ejemplo y aplicación metodológica de uno de los HAZOP realizados para los equipos del CEPIIS. Todos los HAZOP se pueden encontrar en el ANEXO 2.

2.2.3.m.. Ejemplo y aplicación metodológica para el Análisis HAZOP por nodos de proceso, para el Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS)

Tabla 8.

Ejemplo HAZOP Secador de bandejas - Nodo TK-401

Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	P	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
Proyecto Secador de bandejas SB500 Nodo AF-401 Descripción del nodo Filtro de aire Intención del nodo Límite a las condiciones del proceso P&ID Figura 7 Fecha 23/08/2023								
NO	Flujo	- Válvula cerrada HV-401	- Acumulación de humedad	Sistema de control de flujo	2	2	4B	-Implementar alarmas de monitoreo del flujo de aire - Realizar mantenimiento preventivo para el sistema de filtrado y extracción de aire.
		-Obstrucción en el conducto de salida	-Afectación en la calidad del producto -Más consumo de energía - Reducción en la eficiencia del proceso					
MÁS		-Válvula abierta incorrectamente HV-401	- El proceso de secado no se llevará a cabo adecuadamente		2	3	6C	-Ajuste de las válvulas de entrada

		<ul style="list-style-type: none"> - Fallas en los sistemas de control 	<ul style="list-style-type: none"> -Desgaste rápido de equipos como el secador y el ventilador -Más consumo de energía 				<ul style="list-style-type: none"> - Ajustar el flujo de aire cada que cambian las condiciones del proceso - Implementar sistemas de alarma -Revisión y calibración de los sistemas de medición
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Válvula parcialmente cerrada. HV-401 - Fallo en el ventilador - Fuga en las tuberías de suministro 	<ul style="list-style-type: none"> - El proceso de secado no será eficiente -Mayor tiempo de secado - Deshidratación incompleta del product -Reducción de la eficiencia del proceso 	2	2	4B	<ul style="list-style-type: none"> -Ajuste de las válvulas de entrada - Ajustar el flujo de aire cada que cambian las condiciones del proceso - Implementar sistemas de alarma -Revisión y calibración de los sistemas de medición

Aquí se realizó el análisis HAZOP para el equipo del secador de bandejas y el nodo seleccionado fue el filtro de aire, porque es un elemento importante dentro del equipo principal (secador de bandejas) y sus fallos pueden afectar todo el proceso en general.

Como se observó en la metodología se hizo uso de unas palabras guía que en este caso fueron NO, MÁS, MENOS, para el parámetro de FLUJO. Obteniendo las desviaciones: NO FLUJO (no hay flujo de aire en el nodo), MÁS FLUJO (se presenta más flujo de aire que el requerido en el nodo), MENOS FLUJO (hay deficiencia de aire en el nodo).

Con base en las desviaciones, se establecieron las causas que pueden ocasionar que se presente esa desviación. Para la desviación NO FLUJO, las causas determinadas fueron: Válvula que da paso al flujo de aire cerrada, obstrucción en los conductos de salida y fallas en el ventilador; estas causas se establecieron observando el proceso en el diagrama P&ID, ejemplos propuestos en las guías de estudio HAZOP [29], [30], y revisando otros estudios HAZOP de proceso [31], [32].

Las consecuencias son el resultado de las causas de las fallas en el proceso, por ejemplo, al haber un fallo en el ventilador, sus consecuencias son que se va a requerir de un mayor tiempo de secado y la deshidratación del producto se va a dar de manera incompleta.

Como medida de salvaguardas, que es aquello que ya está implementado en el equipo, se tiene un sistema de control de flujo, en caso de faltar, se va a presentar la desviación.

Con las consecuencias ya establecidas, se procede a asignar la valoración del riesgo, siguiendo la metodología para la matriz elaborada (Tabla 5.). La valoración se da teniendo en cuenta las consecuencias que tienen mayor peso para el proceso, en el caso de la desviación MÁS FLUJO, se determinó que la probabilidad de que ocurra es poca (valor de 2), el impacto según las consecuencias establecidas se estableció como moderado (valor de 3) porque en caso de que ocurran esos riesgos, se pueden generar afectaciones en el proceso que incluso requieran de detener la operación por un momento, para ajustar las condiciones nuevamente. Multiplicando la probabilidad por el impacto, se obtiene según la matriz una valoración de riesgo de 6C (nivel medio).

Posterior a la valoración del riesgo, se establecen unas recomendaciones, para evitar y mitigar la posible generación del riesgo. Para evitar que haya más flujo y se generen alteraciones en el proceso, se recomendó, revisar la apertura de las válvulas antes de iniciar la operación, monitorear el flujo e implementar un sistema de alarma que indique si se presentan anomalías.

La anterior metodología se empleo para todos los análisis HAZOP se los equipos del CEPIIS, los cuales se pueden encontrar en el ANEXO 2.

2.2.4. Metodología Bow-Tie

La metodología Bow-Tie (lazo de corbata) permite representar un escenario de riesgo y la relación entre un peligro y sus causas, mediante la implementación de barreras de prevención y barreras de mitigación, con la finalidad de controlar un evento no deseado [33]. Este análisis se realiza mediante la combinación de dos técnicas diferentes: un árbol de fallas, mediante el cual se analizan las causas de un evento, y un árbol de eventos en el que se analizan las consecuencias. El enfoque de este análisis está en las barreras existentes entre las causas y el riesgo (preventivas) y las barreras existentes entre riesgo y consecuencias (mitigantes) [33].

El procedimiento para realizar este análisis es:

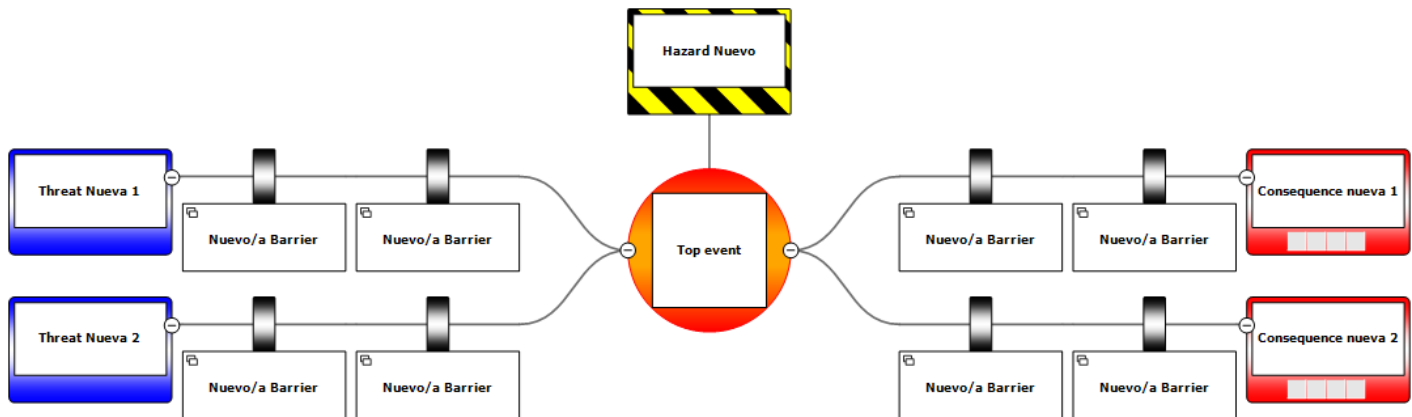
- Identificar el peligro y las amenazas que pueden provocar un evento no deseado. El peligro (hazard) es una situación que puede desencadenar un incidente, el cual se conoce como top event. Este peligro se describe de forma controlada y no como si fuese un escenario dañino [34]. Un ejemplo de peligro puede ser: “tanque de almacenamiento de ácido clorhídrico”.
- Identificar las causas o amenazas potenciales que pueden conducir a que se genere el evento no deseado (Top Event). Estas amenazas ya se identificaron mediante el analisis HAZOP. Un ejemplo de amenazas es:
 - Sobrepresión
 - Sobrellenado
 - Fallos en los equipos

- Identificar las barreras preventivas. Son aquellas medidas de control que existen y están implementadas en el equipo para evitar que ocurra el peligro. Cada causa tiene su respectiva barrera preventiva, con el fin de no desencadenar el evento principal [35].
- Identificar las consecuencias. En caso de que las barreras preventivas fallen, se va a desencadenar el evento principal, proporcionando unas consecuencias negativas en el sistema.
- Implementar barreras de mitigación. Se generan una vez se produjo el riesgo y sus consecuencias negativas, disminuyendo el impacto del evento.

Teniendo identificados dichos parámetros, se genera el diagrama Bow-Tie de causa-consecuencia. Donde las amenazas (threats) y barreras preventivas (barriers) se posicionan en la parte izquierda del diagrama, en el centro se posiciona el evento principal (top event), arriba del evento se posiciona el peligro (hazard), y al lado derecho se posicionan las consecuencias (consequences) junto con sus barreras de mitigación (barriers), como se puede observar en el siguiente esquema:

Figura 27.

Esquema metodología Bow-Tie



Nota: Se observa la estructura para desarrollar la metodología del análisis Bow-Tie

El análisis Bow Tie, se construyó sobre la base del análisis HAZOP, permitiendo comprender y gestionar los riesgos en el CEPIIS de manera más específica y consisa. Primero, el análisis HAZOP identifica posibles problemas en un proceso. Luego, el análisis Bow Tie se enfoca en el peor escenario, conocido como el "Top Event". Aquí es donde se desglosa todo en un diagrama que muestra cómo prevenir y responder a la ocurrencia de estos eventos.

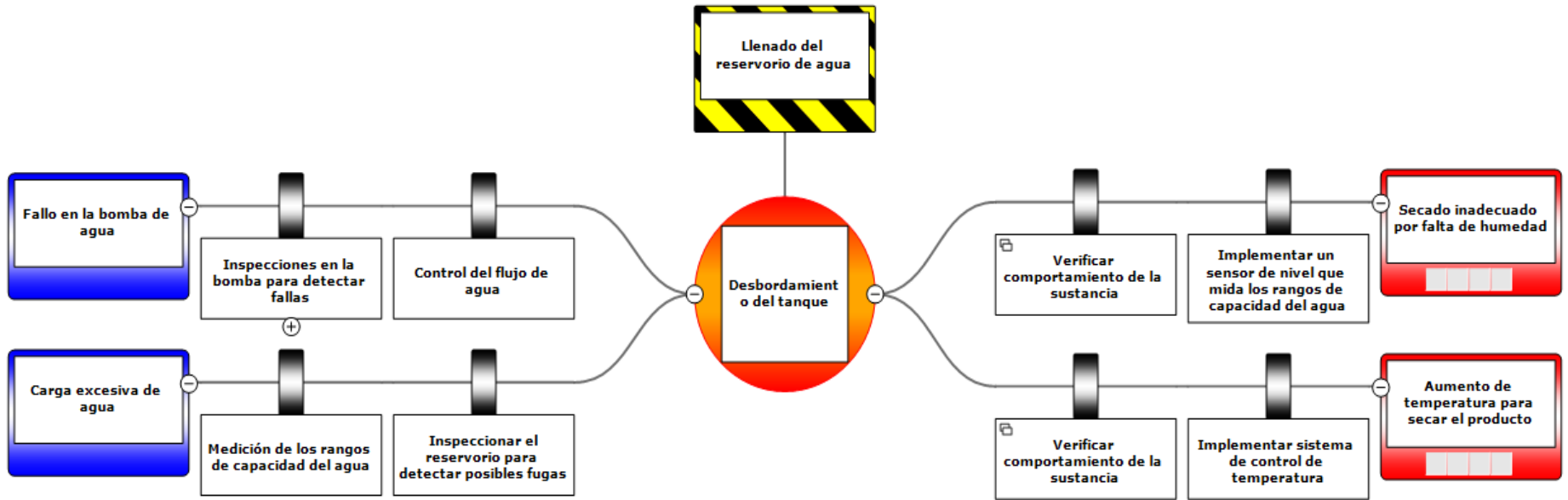
A continuación, se presenta el diagrama Bow Tie elaborado para cada equipo con base en los resultados obtenidos del estudio HAZOP.

2.2.4.a. Diagramas Bow Tie para cada equipo

Secador de bandejas

Figura 28.

Secador de bandejas - Llenado del reservorio de agua

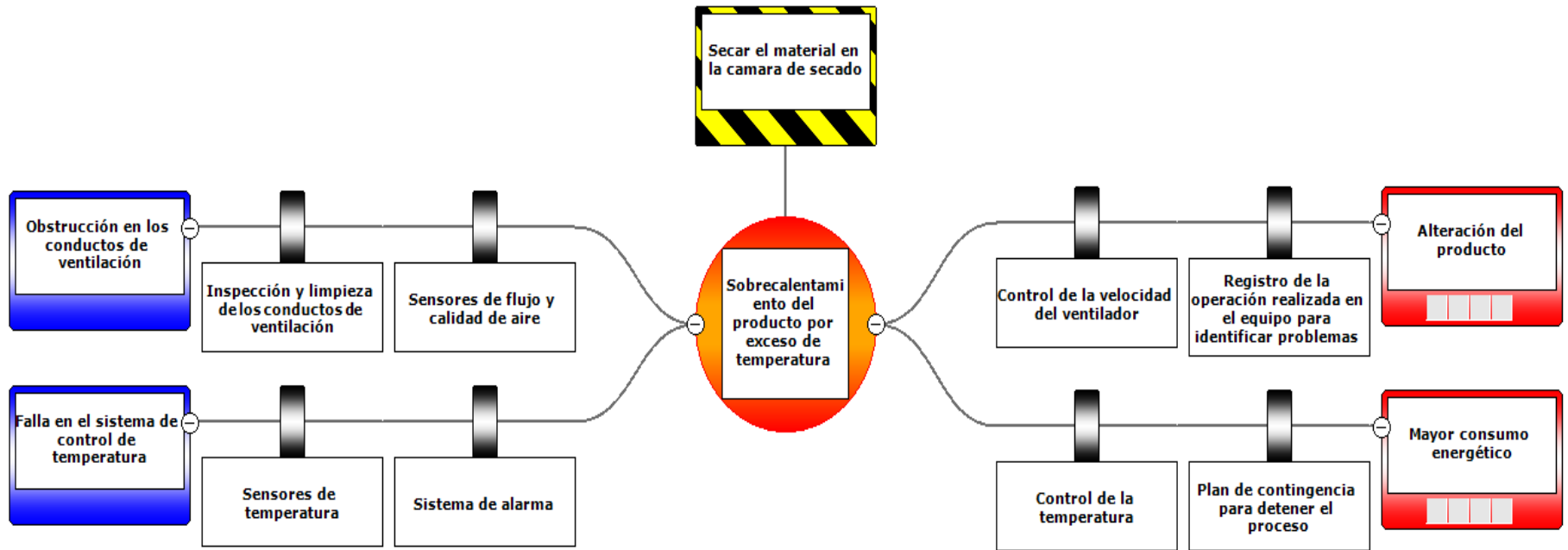


Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de llenado del reservorio de agua del secador de bandejas.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el llenado del tanque de reservorio de agua, los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es el desbordamiento del tanque, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Figura 29.

Secador de bandejas - Secar el material



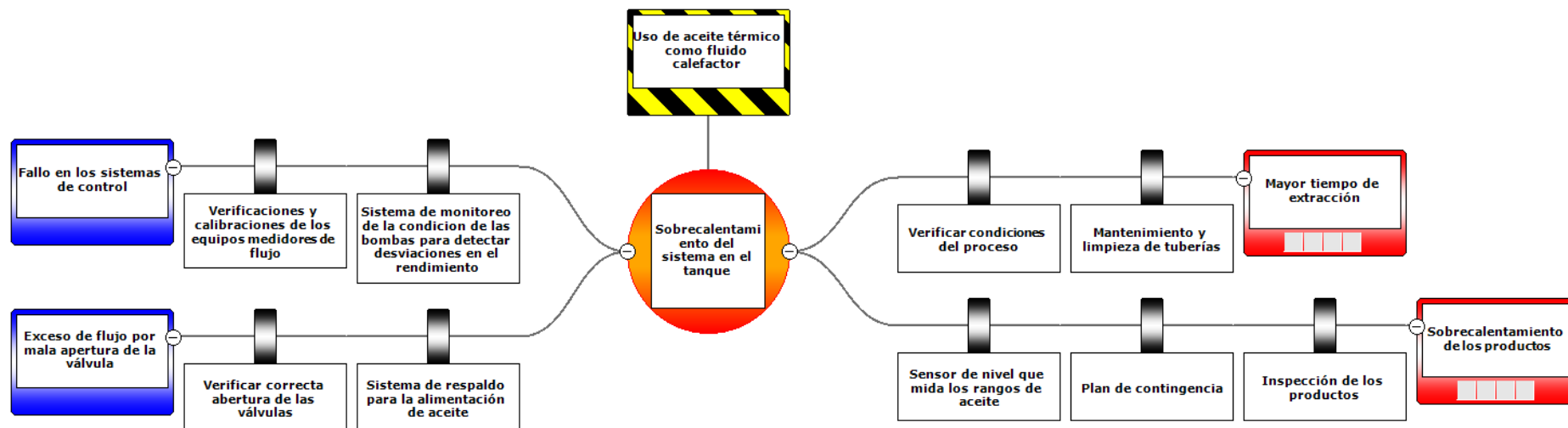
Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de llenado de secado de material del secador de bandejas.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el secado del material en la cámara de secado. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es el sobrecalentamiento del producto por exceso de temperatura, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Planta de Extracción Sólido - Líquido, Líquido – Líquido

Figura 30.

Planta de Extracción - Uso de aceite térmico como fluido calefactor

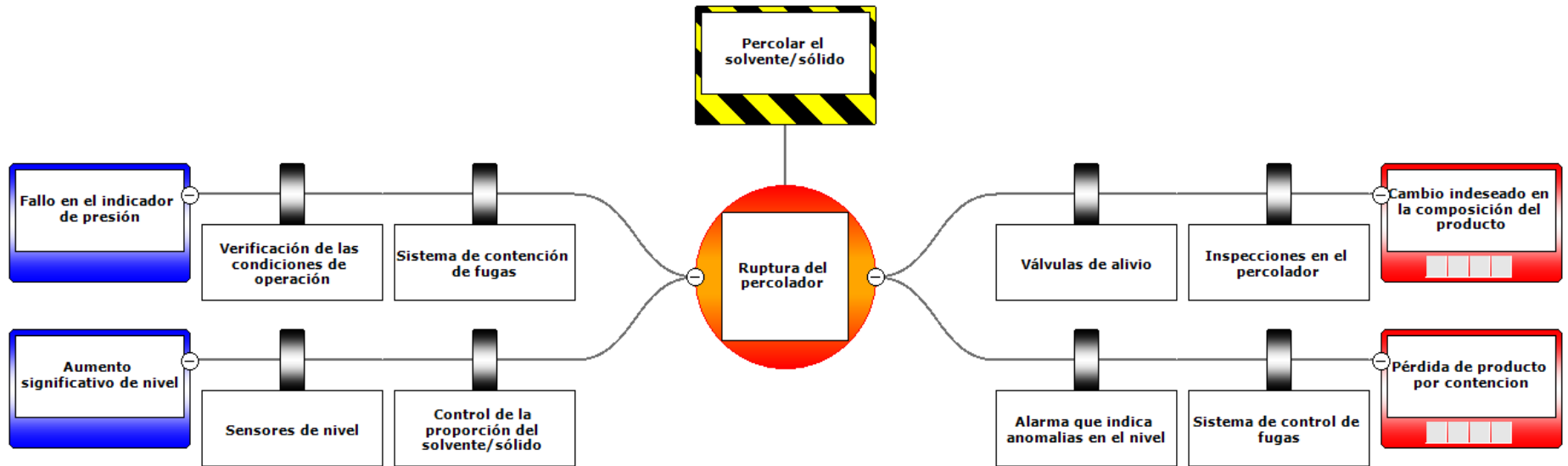


Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de calentamiento en la planta de extracción utilizando aceite térmico.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el uso de aceite térmico como fluido calefactor en la planta de extracción. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es el sobrecalentamiento del sistema en el tanque, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Figura 31.

Planta de Extracción - Percolar el solvente/sólido

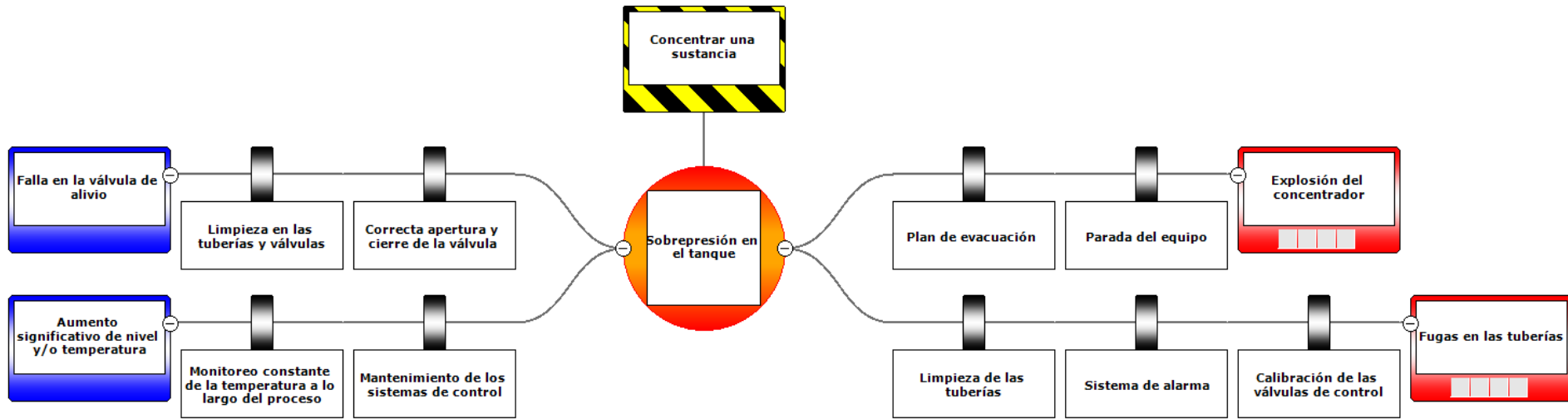


Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de percolar en la planta de extracción.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de percolar el solvente dentro del percolador en la planta de extracción. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es la rotura del percolador, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Figura 32.

Planta de extracción - Concentrar una sustancia

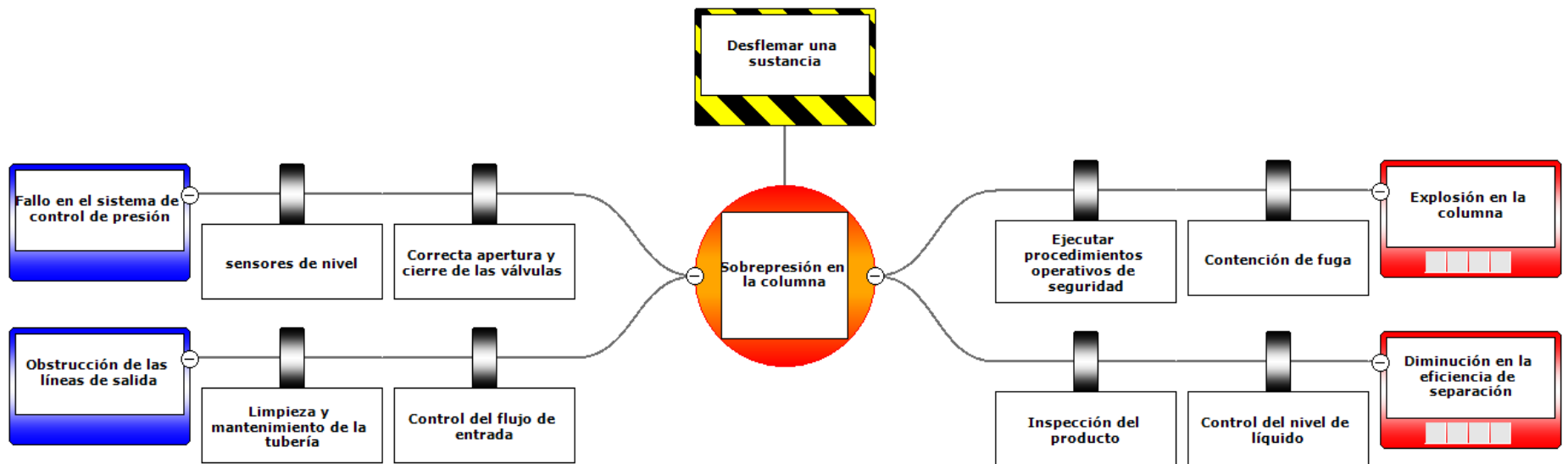


Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de concentrar una sustancia en la planta de extracción.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de concentrar una sustancia en la planta de extracción. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es una sobrepresión en el tanque, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Figura 33.

Planta de extracción - desflear una sustancia



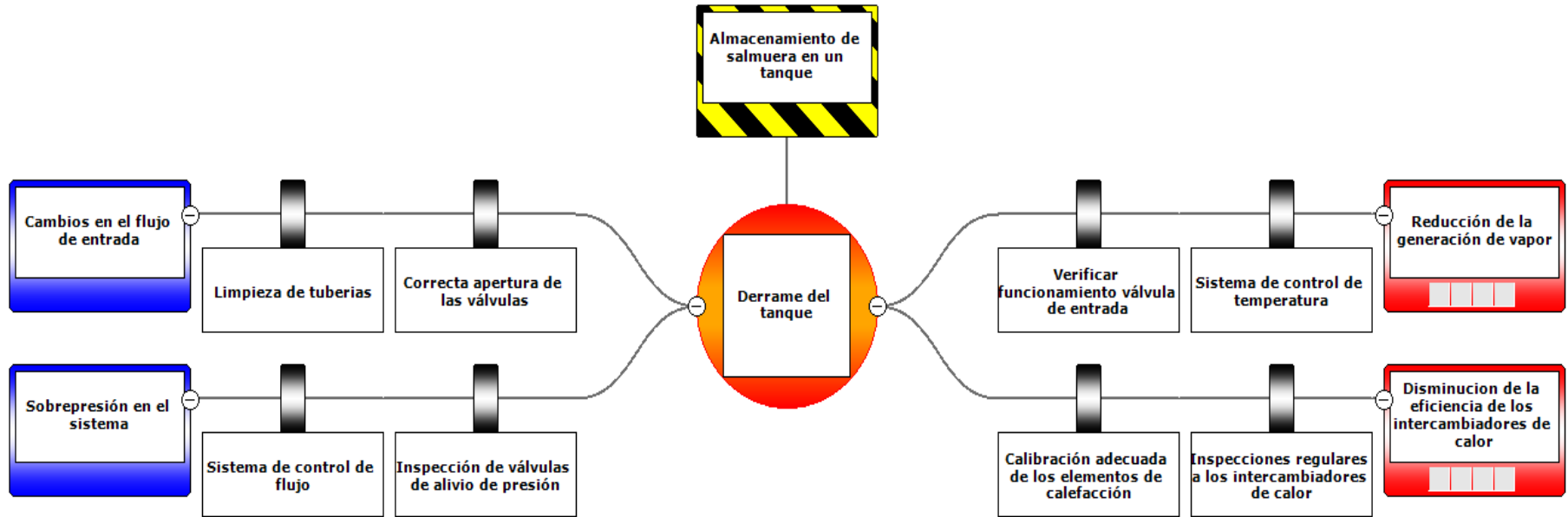
Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de desflear una sustancia en la planta de extracción.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de desflear una sustancia en la planta de extracción. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es una sobrepresión en la columna, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Planta Térmica

Figura 34.

Planta térmica - Almacenamiento de salmuera

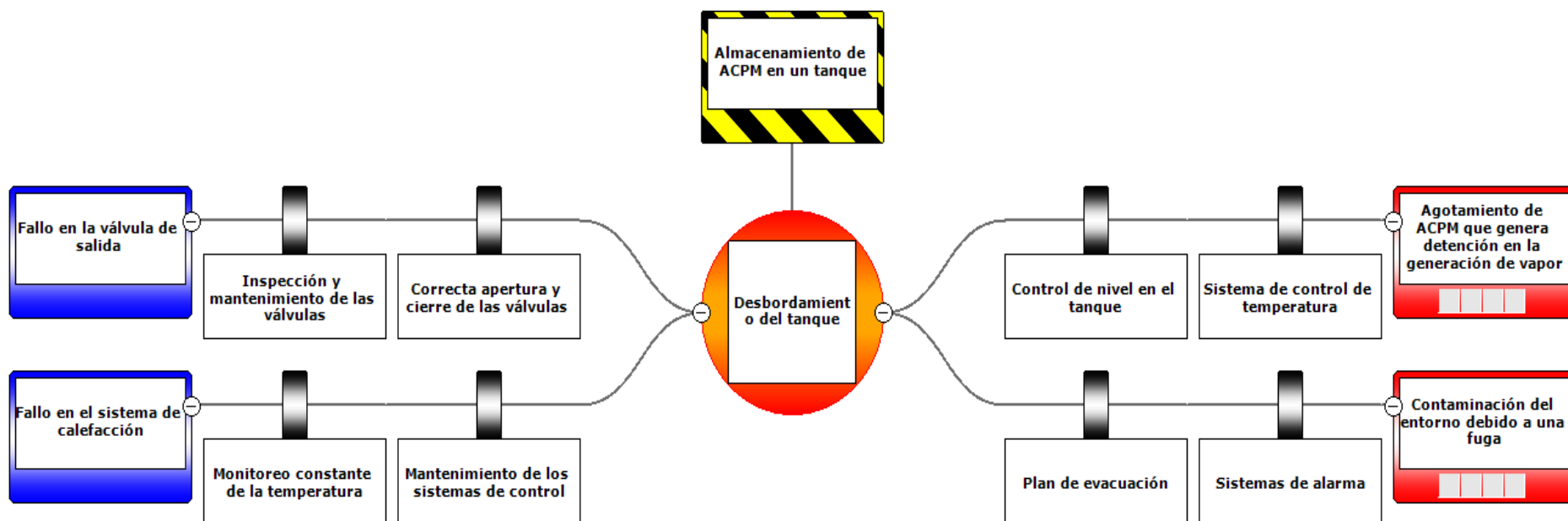


Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de almacenamiento de salmuera en un tanque de la planta térmica.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de almacenar salmuera en un tanque de la planta térmica. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es el derrame del tanque, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Figura 35.

Planta térmica - Almacenamiento de ACPM en un tanque

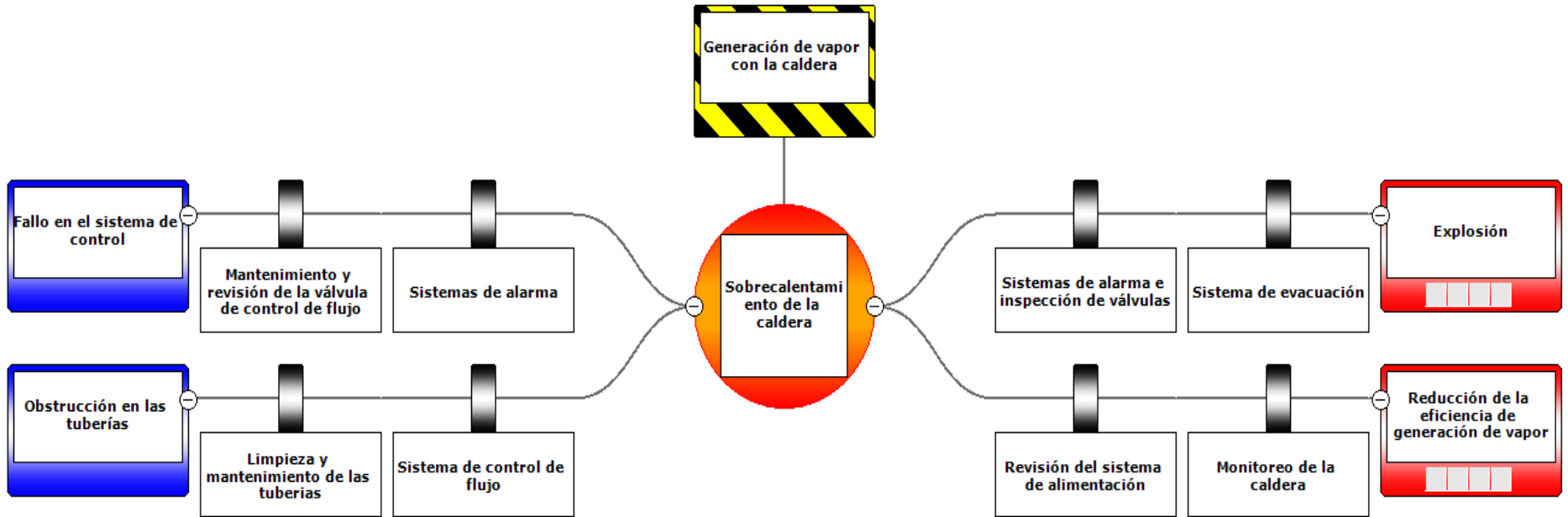


Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de almacenar ACPM en un tanque en la planta térmica.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de almacenar ACPM en la planta térmica. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es un desbordamiento del tanque, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Figura 36.

Planta térmica - Generación de vapor con la caldera

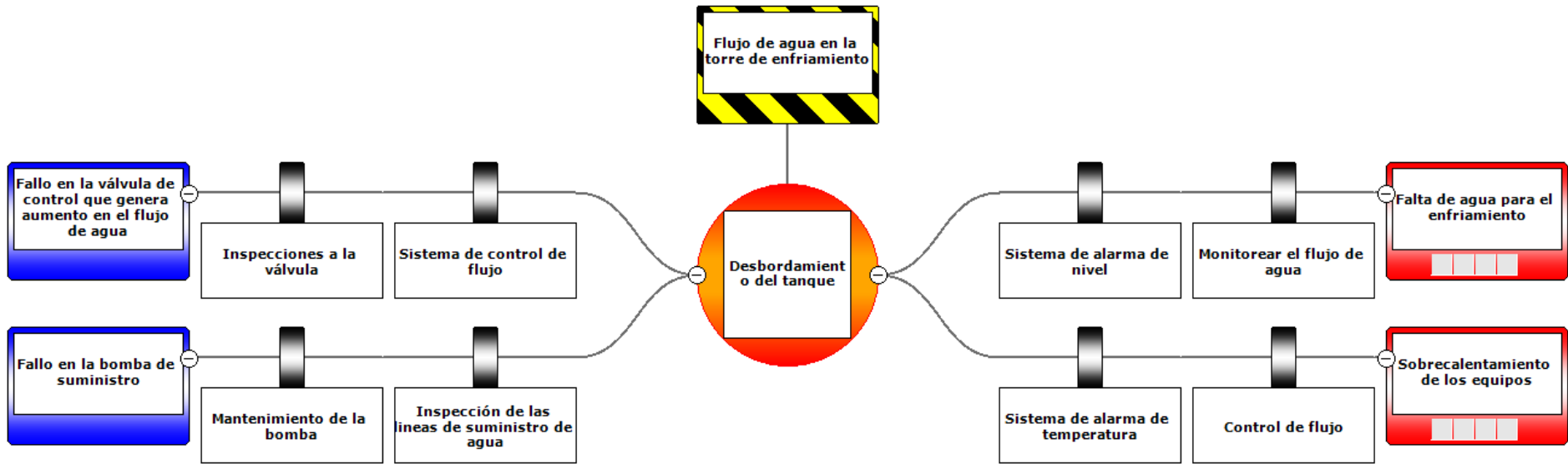


Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de generar vapor con la caldera en la planta térmica.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de generar vapor en la caldera de la planta térmica. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es el sobrecalentamiento de la caldera, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Figura 37.

Flujo de agua en la torre de enfriamiento



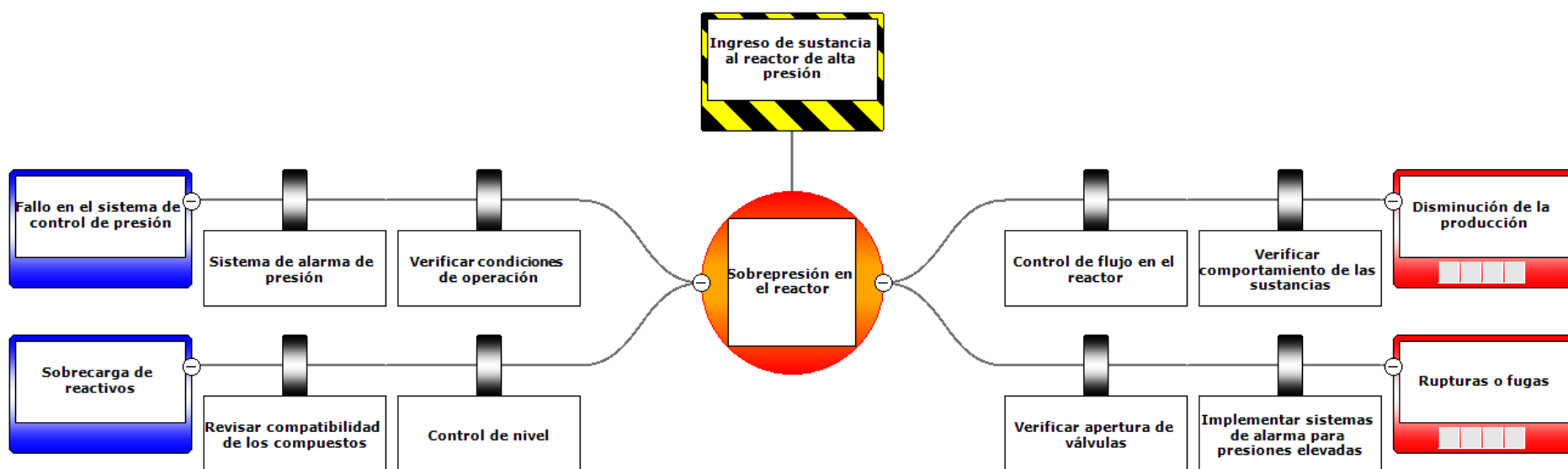
Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento que genera flujo de agua en la torre de enfriamiento de la planta térmica.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de transportar agua en la torre de enfriamiento. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es un desbordamiento del tanque, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Reactor de Alta Presión

Figura 38.

Reactor de alta presión - Ingreso de sustancia al reactor



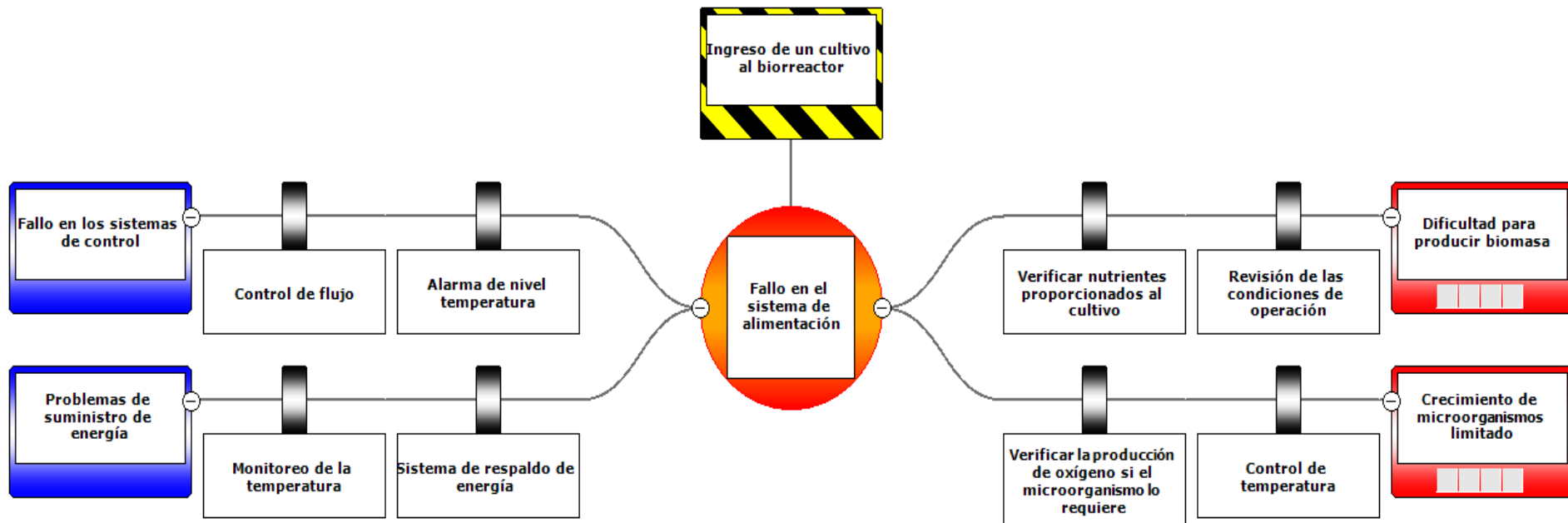
Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de ingresar una sustancia en el reactor de alta presión.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de ingresar la sustancia al reactor. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es una sobrepresión en el reactor, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Biorreactor

Figura 39.

Biorreactor - Ingreso de un cultivo al biorreactor



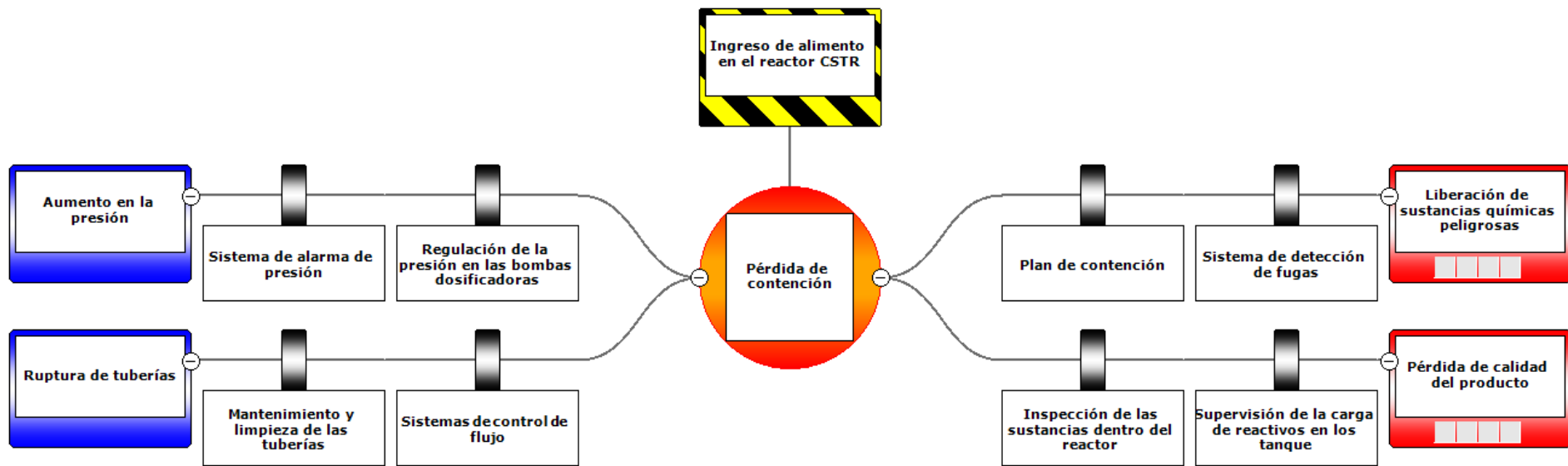
Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de colocar un cultivo en el biorreactor.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de colocar un cultivo en el biorreactor. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es un fallo en el sistema de alimentación el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Banco de reactores

Figura 40.

Banco de reactores - Ingreso de alimento en el reactor CSTR

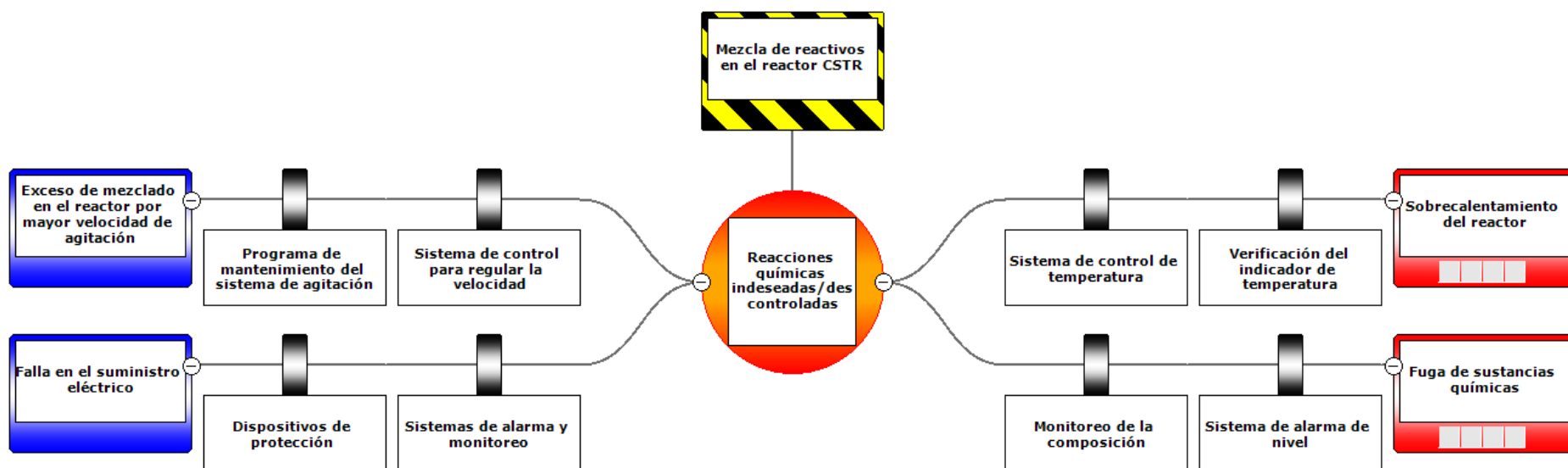


Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de ingresar alimento al reactor CSTR.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de ingresar alimento al reactor. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es una pérdida de contención, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Figura 41.

Banco de reactores - Mezcla de reactivos en el reactor CSTR

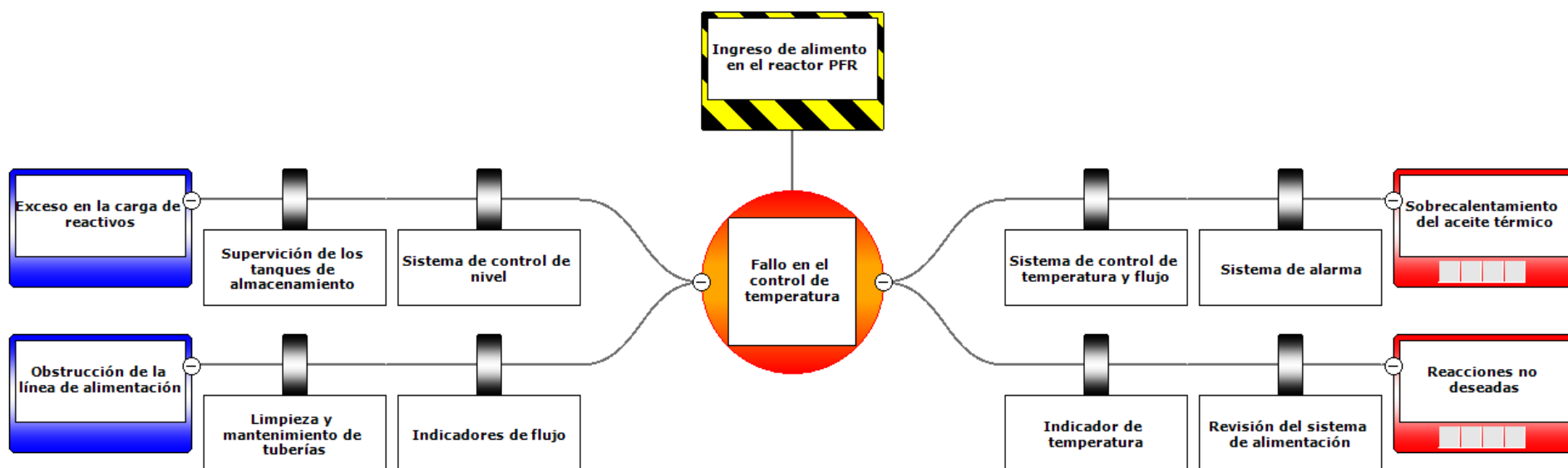


Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de mezclado en el reactor CSTR.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de mezclar los reactivos en el reactor. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es la generación de reacciones químicas indeseadas, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Figura 42.

Banco de reactores - Ingreso de alimento en el reactor PFR

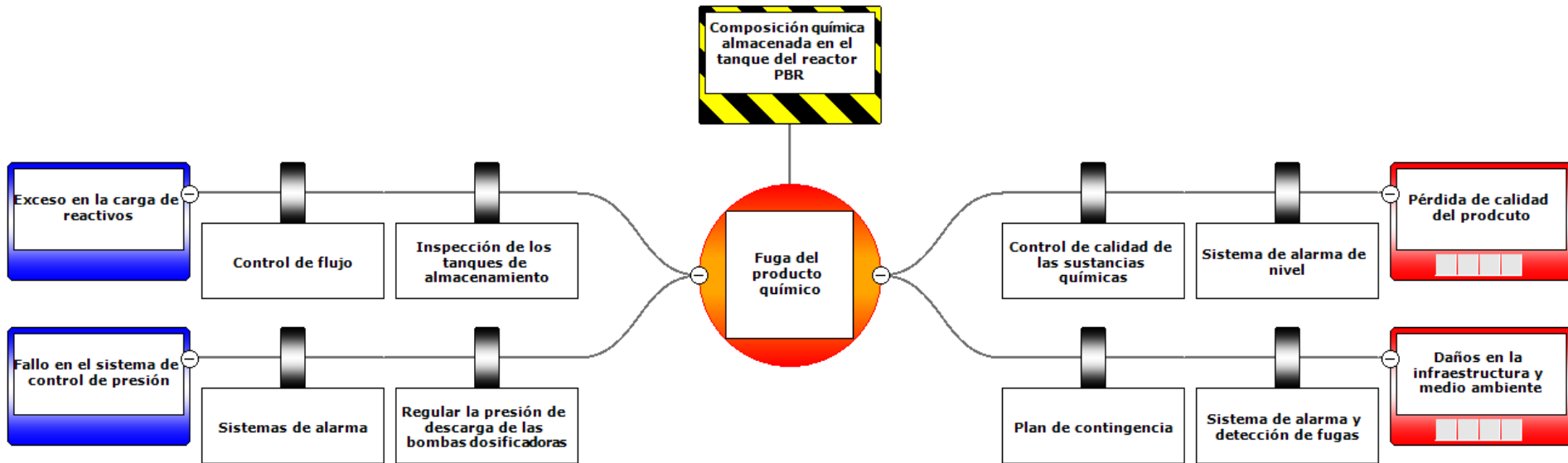


Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de ingreso de alimento al reactor PFR.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de ingresar el alimento al reactor. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es un fallo en el control de temperatura, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Figura 43.

Banco de reactores - Composición química almacenada en el tanque del reactor PBR



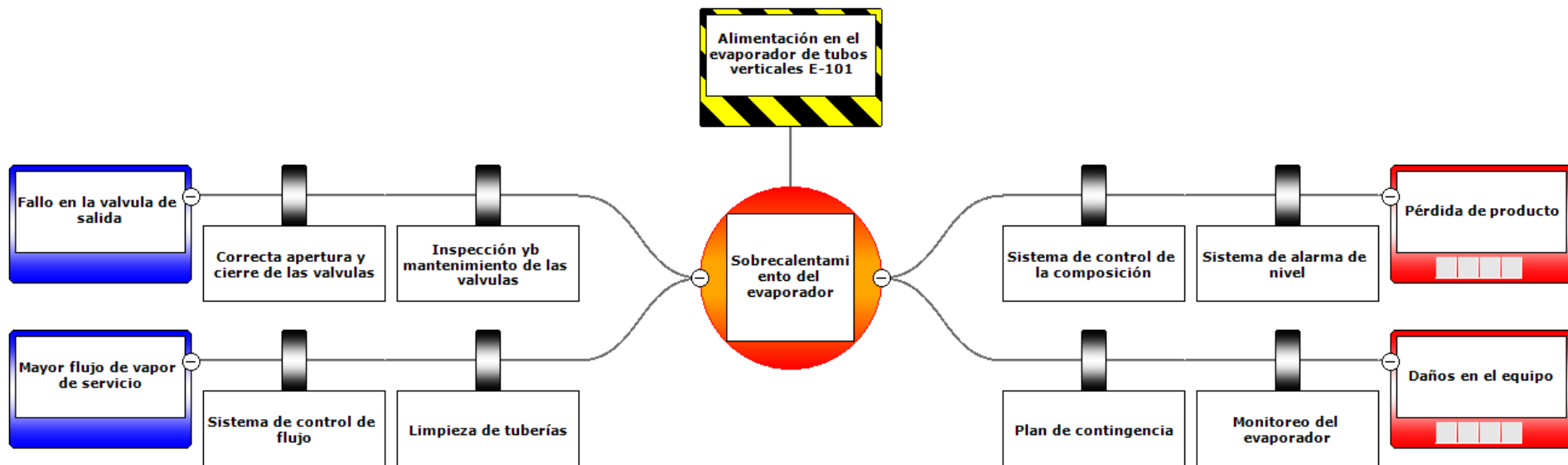
Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de almacenar una composición química en el tanque del reactor.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de almacenar una composición química en el tanque del reactor. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es una fuga del producto químico, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Tren de Evaporadores

Figura 44.

Evaporadores - Alimentación en el evaporador de tubos verticales E-101

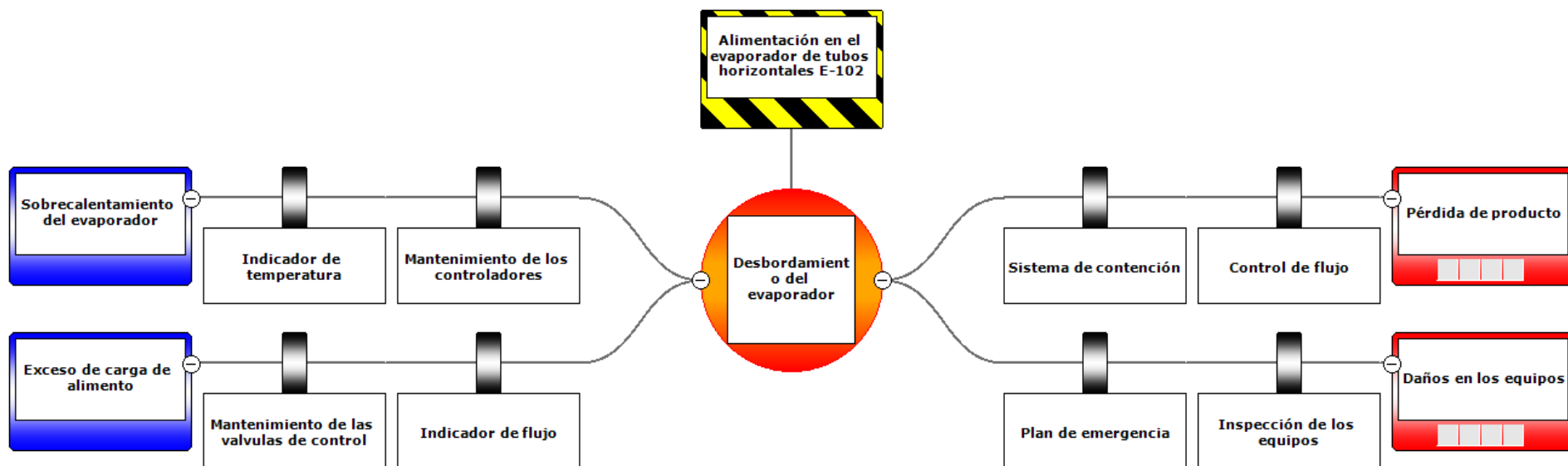


Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de alimentar el evaporador.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de ingreso de alimentación en el evaporador. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es una sobrecalentamiento del evaporador, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Figura 45.

Evaporadores - Alimentación en el evaporador de tubos horizontales E-102



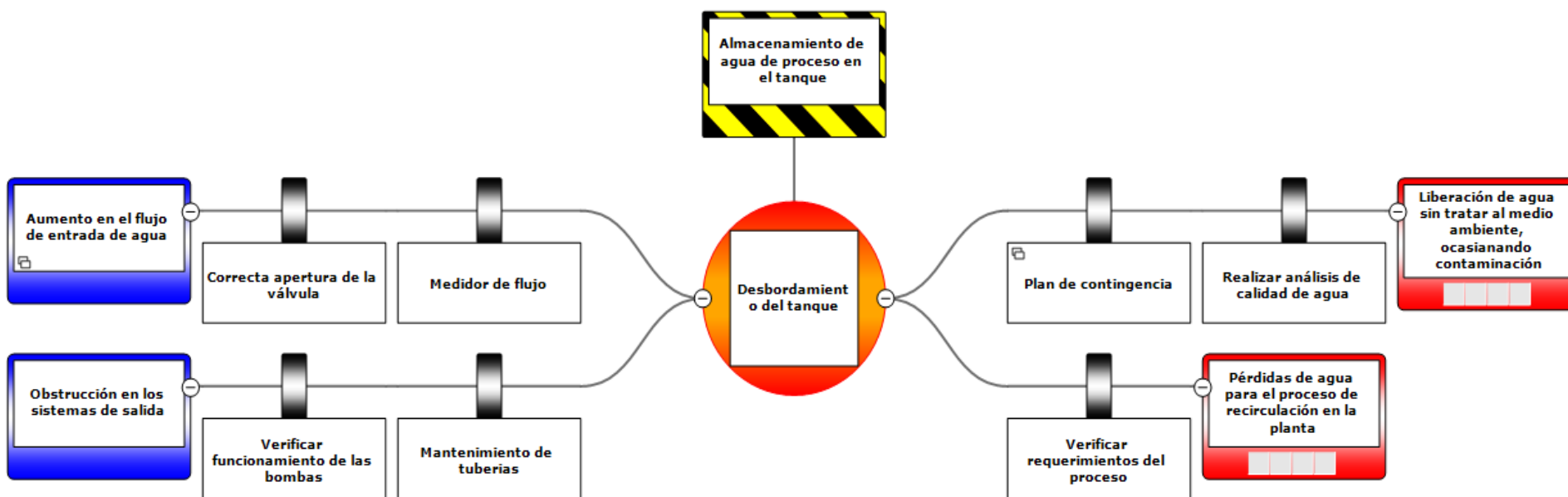
Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de alimentar el evaporador.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el proceso de ingreso de alimento en el evaporador. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es un desbordamiento en el tanque del evaporador, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Tanques de almacenamiento (CUBO)

Figura 46.

Tanques - Almacenamiento de agua de proceso en el tanque



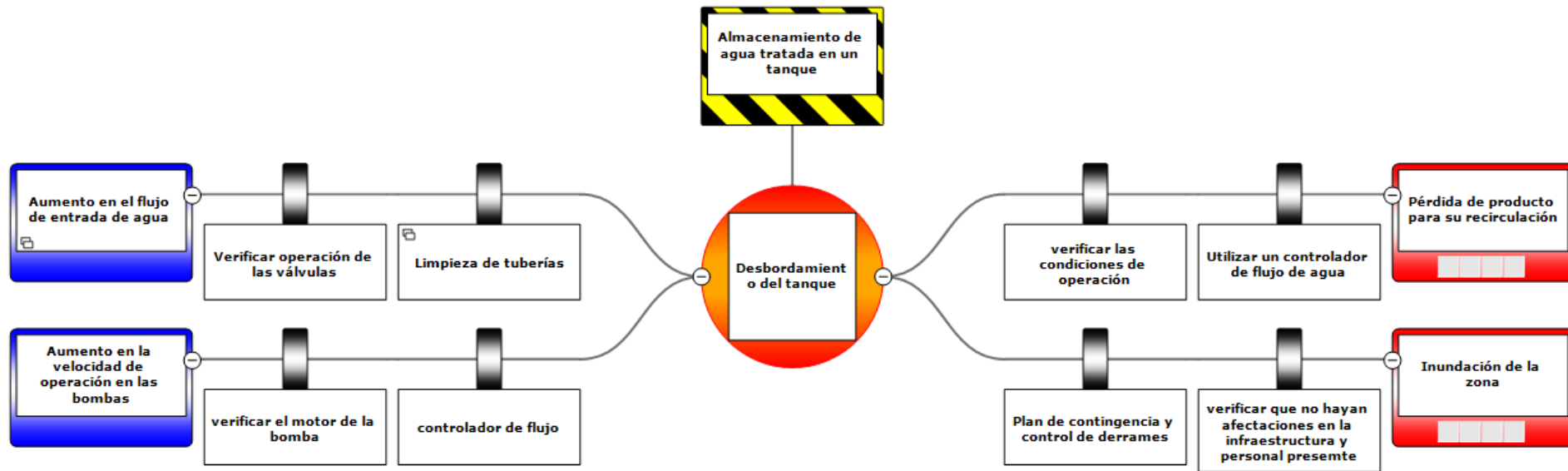
Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de almacenar agua de proceso en un tanque.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el almacenamiento de agua de proceso en el tanque. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento

principal (top event) que es un desbordamiento del tanque, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

Figura 47.

Tanques - Almacenamiento de agua tratada en un tanque



Nota: Diagrama Bow Tie para el procedimiento de almacenar agua tratada en un tanque.

El peligro (hazard) que se presenta en este proceso es el almacenamiento de agua tratada en el tanque. Los recuadros en azul son las amenazas, acompañadas de sus barreras de prevención. Si se presenta un fallo en las barreras de prevención se desencadena el evento principal (top event) que es un desbordamiento del tanque, el cual tiene como consecuencia lo descrito en los recuadros rojos, una vez ocurre el evento, se implementan las barreras de mitigación que acompañan estas consecuencias.

2.3 Estructuración del plan de gestión de riesgos de proceso

Una vez obtenidos los resultados de los posibles riesgos que se pueden originar en la planta piloto, sus causas y medidas de prevención y mitigación, gracias a la utilización de las herramientas de análisis de riesgo What If, HAZOP y Bow Tie, se procedió a realizar la estructuración de un plan de gestión de riesgos para dar inicio a la implementación de las medidas de prevención y mitigación requeridas.

El plan se estructuró con base en lo recomendado por la norma ISO 31000:2018 y el decreto 2157 de 2017, de los cuales se tomaron en cuenta los parámetros que se pueden implementar para realizar una gestión del riesgo de procesos.

A continuación, se presenta el paso a paso de lo desarrollado para el plan de gestión, el cual se encuentra en el ANEXO 1 con todas sus consideraciones.

- Se estableció una introducción, dando una descripción del CEPIIS, su estructura y por qué es necesaria la implementación del plan de gestión de riesgos de proceso.
- Se establecieron unos objetivos del plan, los cuales proporcionan un enfoque claro para ir desarrollando el plan y verificar el cumplimiento.
- Se estableció el contexto en que se va a desarrollar el plan, teniendo en cuenta que es en una planta piloto de procesos químicos ubicada en una universidad.
- Se estableció la identificación de los riesgos, por zona y equipo, incorporando los resultados del capítulo 2.1 y 2.2 del presente documento cuya metodología se describe a detalle. Para estructurar el plan se tuvieron en cuenta principalmente los resultados de la metodología HAZOP, que es la que permite tener un análisis más a detalle.
- Al identificar los riesgos, se observó que la mayoría de los equipos comparten riesgos en común, debido a que la mayoría de los equipos cuentan con zonas de riesgo (nodos) como:

tanques, bombas, líneas de suministro, calentadores, etc. Por ende, se realizó una síntesis de los riesgos que se pueden encontrar para la planta piloto con base en lo observado para cada equipo.

- Posterior a la identificación del riesgo según lo estipulado por la norma ISO 31000 y el decreto 2157 de 2017, se debe evaluar el riesgo. La evaluación de los riesgos se hizo empleando la matriz de probabilidad - impacto (Ver tabla 5) cuyos criterios de estructuración se explican en la sección 2.2.1 del presente documento.

Los riesgos establecidos para el CEPIIS fueron:

- Sobrecalentamiento del motor de las bombas
- Rotura del sello de las bombas
- Cavitación de las bombas
- Rotura sello bombas de fluido calefactor
- Sobrepresión en tanques
- Rotura de tanques
- Fuga en tanques
- Explosión de tanques
- Derrames del tanque
- Desbordamiento del tanque
- Rotura de las líneas de suministro
- Fuga en las líneas de suministro
- Obstrucción en las líneas de descarga
- Condensación en las líneas de suministro de vapor
- Rotura de tuberías
- Obstrucción en las tuberías
- Fuga en las tuberías
- Derrames en las tuberías
- Emisión de vapores tóxicos
- Incendio

- Inundación
- Dispersión de contaminantes
- Sobrecalentamiento de equipos
- Generación de nubes de vapor
- Fallo en los sistemas de control
- Pérdida de temperatura del sistema
- Fuga de gases
- Alteración en los productos
- Acumulación de humedad
- Disminución en la eficiencia de los intercambiadores de calor

A cada riesgo se le realizó la valoración teniendo en cuenta su probabilidad de ocurrencia y el impacto que genera, esta evaluación se encuentra en el plan de gestión a detalle (ver ANEXO 1).

- Una vez se tiene la valoración de los riesgos, es necesario iniciar el tratamiento de estos, proponiendo medidas de mitigación y planes de acción. Se tuvo en cuenta que el CEPIIS no ha implementado una estructura organizacional y sigue en ese proceso, también, la planta piloto no se ha puesto en marcha y por lo tanto no cuenta con operarios designados. Por ende, a mi criterio como desarrolladora del plan, propuse una asignación de responsabilidades, describiendo la función y el tipo de persona que la debe desempeñar y hacerse cargo.
- Teniendo en cuenta los cargos y responsabilidades asignados, se inició con las medidas para tratar los riesgos, estableciendo:
 - Riesgo
 - Medida de mitigación
 - Frecuencia
 - Responsable

- Se estableció un protocolo para el tratamiento de los riesgos, donde se tiene en cuenta la realización de capacitaciones para todo aquel que pretenda tener acceso a la planta piloto y realizar operaciones; siendo de vital importancia para proporcionar al personal los conocimientos, habilidades necesarias y herramientas para saber actuar frente a una situación de riesgo.
- Se estableció un procedimiento operativo, en el cual se indican unos pasos a seguir y medidas de seguridad que deben estar implementadas antes de que se presente un desastre producto de la no mitigación del riesgo. También se indica el paso a seguir en caso de que el riesgo se presente. Según las operaciones que se van a desarrollar en la planta piloto, los riesgos que pueden desencadenar un desastre son: Incendio, inundación, explosión y fuga de gases. Para cada uno se instauró un procedimiento a seguir presentado en el plan de gestión.
- Una vez se tengan implementados los planes de acción y mitigación para gestionar los riesgos de proceso en el CEPIIS, se debe realizar un monitoreo del riesgo, el cual permite garantizar que en la organización se están desempeñando de manera adecuada las funciones para prevenir y tratar los riesgos [3], y mediante la evaluación de las medidas de gestión implementadas, se puedan tomar nuevas decisiones y estrategias para continuar con el cumplimiento del plan de manera satisfactoria.
- Para dar cumplimiento a las medidas de monitoreo propuestas, se elaboró un cronograma de actividades, describiendo la actividad, el responsable y el tiempo en que es necesario llevar a cabo las actividades.

Lo descrito anteriormente se implementó para el plan de gestión de riesgos de procesos en el CEPIIS (ver ANEXO 1) donde se puede observar cada medida de acción implementada con el fin de gestionar de manera adecuada los riesgos de las operaciones en la planta piloto y garantizar una continuidad eficiente y segura de los procesos.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Análisis de resultados metodología What If

Con la realización del análisis What If, se obtuvo una identificación primaria del tipo de riesgos que pueden ocurrir para cada equipo, gracias a la exploración de situaciones hipotéticas mediante el cuestionamiento ¿qué pasaría si...? Los riesgos que se identificaron para cada equipo principalmente arrojaron consecuencias como:

- Pérdidas de contención
- Fugas
- Derrames
- Sobrecalentamiento de los equipos
- Menor eficiencia de los procesos
- Sobrepresión en los equipos
- Reacciones no deseadas
- Interrupción en los procesos

El conocimiento de lo que pueden ocasionar estos riesgos mediante la exploración de las situaciones hipotéticas planteadas, permitió determinar unas medidas preventivas y de control para gestionar estos posibles riesgos.

Las medidas de control propuestas son resultado de que los mayores fallos que se pueden presentar en la planta piloto son de carácter operativo, es decir, por un mal manejo de los equipos y por parte de personal no capacitado, también por no realizar mantenimiento de los equipos y no tener un monitoreo de las operaciones a desarrollar. Estos resultados destacan la importancia de contar con personal capacitado, e implementar prácticas operativas seguras en la planta piloto.

Por medio de este análisis se pudo desarrollar el análisis HAZOP, puesto que sus resultados generaron una concientización de que es posible que se desencadenen riesgos producto de

operaciones normales y es necesario realizar una evaluación más a detalle para generar en la planta piloto un ambiente de trabajo seguro y eficiente.

3.2.Análisis de resultados estudio HAZOP

Se realizó el analisis de los resultados HAZOP por cada equipo:

3.2.1. Análisis de resultados HAZOP columna de destilación

Con base en los resultados obtenidos de la metodología HAZOP, se observo que para los equipos de la columna se presenta una calificación de riesgo promedio de 6C, esto indica que por lo general es poco probable que ocurran los eventos analizados, pero de ocurrir algún evento, el impacto va a ser moderado, lo cual sí representa una afectación en los procesos de la planta, y requiere de la implementación de las medidas de mitigación propuestas principalmente como:

- Supervisiones periódicas del alimento hacia el tanque.
- Inspección y limpieza de las tuberías y válvulas.
- Implementación de sistemas de alarma de presión, nivel y temperatura.
- Verificación de que las válvulas funcionan de manera adecuada.
- Mantenimiento preventivo del equipo.

También se obtuvieron riesgos de baja probabilidad e impacto, esto indica que el riesgo no afecta de manera significativa los procesos dentro de la planta piloto, y se puede mitigar fácilmente mientras haya una correcta supervisión del proceso

Como caso especial, se identificó un riesgo de impacto catastrófico de 25E para el nodo de los tanques, evaluando el parámetro de MÁS temperatura, el problema radica en que realizando una revisión de las especificaciones en los sellos de las bombas, hay fallos en el control de la temperatura, pues se está especificado que la bomba de distribución ubicada en la columna de destilación, soporta una temperatura de fluido máxima de 40°C, lo cual no tiene mucho sentido debido a que en la columna de destilación se van a trabajar fluidos que esten a más de 40°C, el evento se genera a momento en que el fluido circula por la bomba, generando una rotura del sello.

Dicha rotura puede ocasionar una pérdida de contención que desencadene en la generación de un incendio, de una explosión o de vapores contaminantes por la interacción con otras sustancias de la planta piloto. Para prevenir y mitigar este riesgo que de generarse ocasionaría pérdidas totales, es necesario revisar el sello de las bombas y realizar el reemplazo de la bomba antes de la puesta en marcha.

3.2.2. Análisis de resultados HAZOP columna de absorción

Con base en los resultados obtenidos de la metodología HAZOP, se observó que para los equipos de la columna se presenta una calificación de riesgo que puede ir desde 2A hasta 25E, como el riesgo evaluado en 25E es un caso especial, se definió un promedio de riesgo a 6C, esto indica que por lo general es poco probable que ocurran los eventos analizados, pero de ocurrir algún evento, el impacto va a ser moderado, lo cual sí representa una afectación en los procesos de la planta, y requiere de la implementación de las medidas de mitigación propuestas principalmente como:

- Supervisiones periódicas del alimento hacia el tanque.
- Inspección y limpieza de las tuberías y válvulas.
- Implementar un indicador de flujo.
- Implementación de sistemas de alarma de presión, nivel y temperatura.
- Verificación de que las válvulas funcionan de manera adecuada.
- Mantenimiento preventivo del equipo
- Implementar un indicador de presión

Evaluando el parámetro de MÁS nivel para el nodo de tanque de solvente gastado, se pudo determinar que el tanque de almacenamiento no contiene sistema de presurización y en caso de que se genere un desbordamiento del tanque, se pueden generar fugas de solvente, que para el inicio del proceso está estipulado que es monoetanolamina, y a temperaturas superiores a 85°C emite vapores que al reaccionar con alguna fuente de ignición pueden provocar una explosión; esto genera un riesgo máximo de 25E debido a que los procesos suelen ser continuos y de presentar este fallo las afectaciones para todos van a ser del mismo calibre. La principal recomendación para prevenir este evento es realizar una revisión de las condiciones del proceso para establecer a qué

temperatura va a operar el solvente en el tanque, para implementar un sistema de control de fugas y de ser necesario cambiar el tanque antes de la puesta en marcha del equipo.

3.2.3. Análisis de resultados HAZOP planta de extracción sólido líquido, y líquido líquido

Para la planta de extracción se presentó una calificación de riesgo que fue desde 4A hasta 25E. La mayoría de los riesgos son de un impacto moderado, lo que indica que los riesgos presentes en esta zona son tolerables mientras se implementen las medidas de control y mitigación adecuadas. Las medidas principalmente propuestas son:

- Asegurarse de que el fluido calefactor esté almacenado en buenas condiciones
- Inspección y limpieza de las tuberías y válvulas.
- Implementar un indicador de flujo.
- Implementación de sistemas de alarma de presión, nivel y temperatura.
- Verificación de que las válvulas funcionan de manera adecuada.
- Mantenimiento preventivo del equipo
- Mantenimiento preventivo de las bombas
- Monitorear las condiciones de operación
- Mantenimiento de los sistemas de control

Se obtuvo un riesgo catastrófico de valoración 25E debido a que como sucedió para el caso de la bomba en la columna de destilación, se revisaron sus especificaciones y su capacidad máxima es de 35°C, lo cual es incongruente para el proceso porque el fluido calefactor que va a transportar la bomba es aceite térmico el cual va a operar mínimo a una temperatura de 60°C y si llega a entrar en contacto con la bomba, de una vez se va a generar la rotura del sello, ocasionando derrames, que pueden provocar fugas e interacción con otras sustancias, provocando algún incendio o explosión.

Se recomienda revisar el sello de la bomba a ver si puede ser cambiado, de no ser posible se debe reemplazar la bomba antes de la puesta en marcha del equipo.

También hubo riesgos evaluados con 10E, para el parámetro de mayor presión, esto debido a que una sobrepresión en los equipos puede generar una explosión, sin embargo, teniendo todas las medidas preventivas es poco probable que ocurra este evento, pero de ocurrir su impacto sería catastrófico ocasionando pérdidas irreparables.

3.2.4. Analisis de resultados HAZOP secador de bandejas

Con base en los resultados obtenidos de la metodología HAZOP Para el secador de bandejas, se presentó una valoración de riesgo desde 2A hasta 6C. La mayoría de los riesgos son de un impacto menor, lo que indica que son riesgos fáciles de gestionar mientras se cumpla con el seguimiento del proceso y las revisiones periódicas.

Los riesgos que obtuvieron una valoración de 6C fueron para el parámetro de MÁS temperatura, puesto que su incremento puede provocar principalmente un sobrecalentamiento de los productos y mayor consumo energético; y para el parámetro MÁS flujo para el nodo del filtro de aire, provocando un desgaste mayor en el equipo y un secado ineficiente. En caso de que se den estos eventos, el impacto del riesgo sería moderado, lo cual sí representa una afectación en los procesos de la planta. El riesgo es tolerable y requiere de la implementación de las medidas de mitigación propuestas principalmente como:

- Ajuste de las válvulas previo al inicio del proceso.
- Monitorear el flujo de aire cada que cambian las condiciones del proceso.
- Implementar sistemas de alarma para detectar cambios en el flujo y/o anomalías en los valores de la temperatura.
- Mantenimiento de los sistemas de control.

3.2.5. Analisis de resultados HAZOP planta termica

Con base en la metodología HAZOP para la planta térmica, se presentó una valoración de riesgo para sus diversos nodos seleccionados desde 4A hasta 15E. En general, la mayoría de valoraciones proporcionaron un impacto moderado (valoraciones de 6C y 8D) esto indica que el riesgo para el

equipo es tolerable mientras se implementen las debidas medidas de control propuestas y estas sean monitoreadas y revisadas por personal calificado.

Los riesgos que presentan un impacto catastrófico en la planta térmica, se deben a la evaluación realizada para los parámetros de flujo y presión.

Para el nodo del tanque de salmuera, si se presenta MÁS presión como causa de un fallo en la válvula, se va a generar sobrepresión en el tanque, lo cual puede provocar rotura del tanque y posible inundación, este evento tiene poca probabilidad de ocurrencia, pero su valoración es alta debido a que el impacto es catastrófico.

Para el nodo de tanque de ACPM, si se presenta MÁS presión como causa de un fallo en la válvula o una sobrecarga del producto, se va a generar sobrepresión en el tanque, posible rotura o explosión, y por las propiedades del fluido, en caso de que entre en contacto con otras sustancias, puede emitir gases tóxicos o producir un incendio. Este evento tiene poca probabilidad de ocurrencia, pero su valoración es alta debido a que el impacto es catastrófico.

Para el nodo de la caldera y quemador, si se presenta MÁS flujo de combustible, como causa principal de fallos en las válvulas, se puede generar un sobrecalentamiento en el sistema y obtención de más combustible en un menor tiempo, provocando posibles explosiones o incendios. La valoración del riesgo es de 10E, indicando que la probabilidad de ocurrencia es poca, pero su impacto catastrófico.

Adicionalmente, en la caldera se presenta un riesgo de 15E para la desviación MÁS presión, como producto de la activación de la válvula de seguridad, la cual libera el vapor a una presión y temperatura muy elevadas, y como se encuentra cerca a la pasarela por donde transitan las personas, las consecuencias pueden ser incluso mortales. La probabilidad de que este evento ocurra es poca si se implementan correctamente las medidas de mitigación; específicamente para la caldera, se propuso la implementación de un sistema de tuberías que distribuya el vapor liberado por fuera de la edificación en caso de activación de la válvula de seguridad.

Las medidas de mitigación para evitar este tipo de riesgos son:

- Monitoreo constante de la presión y temperatura durante el proceso.
- Implementación de sistemas de alarma de nivel, presión y temperatura.
- Monitoreo del flujo.
- Calibración de los sensores de temperatura.
- Inspecciones y mantenimiento de los intercambiadores de calor.
- Mantenimiento de los sistemas de control.
- Inspección y mantenimiento de válvulas.
- Mantenimiento preventivo de las bombas.
- Implementar sistemas de detección de fugas.

3.2.6. Análisis de resultados HAZOP PTAR

Para la PTAR, la principal valoración del riesgo fue de 6C, proporcionando un impacto de riesgo moderado, esto debido a que los desbordamientos, sobrecargas en los sistemas de suministro de agua e inundaciones se pueden presentar con mayor facilidad si se presentan desviaciones como MÁS nivel, MÁS flujo, MÁS presión. La probabilidad de ocurrencia del evento es poca, pero sus consecuencias sí pueden generar afectaciones en los equipos y procesos, debido a que en caso de pérdidas de agua o fallos para su suministro, tocaría detener ciertos procesos que cuentan con la recirculación de esta agua ya tratada.

Las principales medidas de mitigación para son:

- Implementar un sistema de alarma para detectar cambios en el nivel de los tanques.
- Mantenimiento preventivo de las bombas sumergibles de suministro.
- Implementar válvulas de control.
- Mantenimiento preventivo de válvulas.
- Monitoreo de los flujos de entrada.
- Implementar sistemas de filtración de agua.

3.2.7. Análisis de resultados HAZOP banco de reactores

Para el banco de reactores, se presentó en general una valoración del riesgo de 6C a 8D, lo que indica que el impacto del riesgo es moderado y puede haber afectaciones importantes en los procesos de la planta, sin embargo, el riesgo es tolerable y se puede mitigar implementando las siguientes medidas:

- Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivos.
- Verificar la correcta apertura de válvulas.
- Monitorear la presión y temperatura del proceso.
- Monitorear el flujo de entrada.
- Calibración de los sensores de temperatura.
- Inspecciones y mantenimiento de los intercambiadores de calor.
- Mantenimiento de los sistemas de control.
- Inspección y mantenimiento de válvulas.
- Mantenimiento preventivo de las bombas.
- Implementar sistemas de detección de fugas.
- Inspección y limpieza de tuberías.
- Implementar sistemas de alarma de presión, nivel y temperatura.

Se obtuvo un riesgo catastrófico de valoración 25E, evaluando la desviación MÁS temperatura, el problema radica en que realizando una revisión de las especificaciones en los sellos de las bombas para el fluido calefactor, hay fallos en el control de la temperatura, porque se revisaron sus especificaciones y su capacidad máxima es de 35°C, lo cual es incongruente para el proceso porque el fluido calefactor que va a transportar la bomba es aceite térmico el cual va a operar mínimo a una temperatura de 60°C y si llega a entrar en contacto con la bomba, de una vez se va a generar la rotura del sello, ocasionando derrames, que pueden provocar fugas e interacción con otras sustancias, provocando algún incendio o explosión.

Se recomienda revisar el sello de la bomba a ver si puede ser cambiado, de no ser posible se debe reemplazar la bomba antes de la puesta en marcha del equipo.

3.2.8. Analisis de resultados HAZOP tren de evaporadores

Para el tren de evaporadores se obtuvo una valoración del riesgo de de 6C a 8D, lo que indica que el impacto del riesgo es moderado y puede haber afectaciones importantes en los procesos de la planta. Se obtuvo un riesgo catastrófico de valoración 10E para la desviación MÁS presión puesto que su incremento puede generar fugas en los tanques y líneas de suministro, ocasionando la emisión de vapores, y en caso de que no se liberen una explosión. sin embargo, como es poco probable la ocurrencia del riesgo, se puede prevenir implementando las siguientes medidas:

- Verificar la correcta apertura de válvulas.
- Controlar la carga en el sistema.
- Monitorear la presión y temperatura del proceso.
- Monitorear el flujo de entrada.
- Calibración de los sensores de temperatura.
- Mantenimiento de los sistemas de control.
- Inspección y mantenimiento de válvulas.
- Mantenimiento preventivo de las bombas.
- Implementar sistemas de detección de fugas.
- Inspección y limpieza de tuberías.
- Implementar sistemas de alarma de presión, nivel y temperatura.

3.2.9. Análisis de resultados HAZOP biorreactor

Para el biorreactor se obtuvo una valoración de riesgo que va desde 4A hasta 8D, teniendo un impacto de riesgo principalmente moderado, para este equipo la mayoría de las afectaciones le competen de manera específica y aunque puede generar cambios en el proceso, no se ocasiona una detención de otros procesos en otros equipos de la planta, porque se encuentra ubicado de manera independiente en la zona BIOCAL. El riesgo es tolerable y se puede mitigar implementando las siguientes medidas:

- Calibraciones en los equipos medidores de flujo.

- Implementar sistemas de alarma de nivel, presión y temperatura.
- Implementar sistema de detección de fugas
- Monitoreo de la presión y temperatura durante el proceso.
- Implementar un programa de mantenimiento para el suministro de aire.
- Implementar un programa de mantenimiento para el suministro de nutrientes.
- Mantenimiento de los sistemas de control.

3.2.10. Analisis de resultados HAZOP reactor de alta presión

Para el biorreactor se obtuvo una valoración de riesgo que va desde 4A hasta 8D, teniendo un impacto de riesgo principalmente moderado, para este equipo la mayoría de las afectaciones le competen de manera específica y aunque puede generar cambios en el proceso, no se ocasiona una detención de otros procesos en otros equipos de la planta, porque se encuentra ubicado de manera independiente en la zona BIOCAL y la probabilidad de ocurrencia de riesgos como fugas por sobrepresión es poca. El riesgo es tolerable y se puede mitigar implementando las siguientes medidas:

- Inspección de válvulas.
- Monitorear la presión y temperatura del proceso.
- Monitorear el flujo de entrada.
- Calibración de los sensores de temperatura.
- Mantenimiento de los sistemas de control.
- Implementar sistemas de detección de fugas.
- Inspección y limpieza de líneas de suministro.
- Implementar sistemas de alarma de presión, nivel y temperatura.

3.2.11. Analisis de resultados HAZOP tanques de almacenamiento

Para los tanques de almacenamiento, de manera general se obtuvo una valoración de riesgo media entre 6C y 8D, lo que indica un impacto moderado, se evaluaron los parámetros de nivel y flujo para el agua que es la sustancia a almacenar. Cada evento puede generar afectaciones en los

procesos porque estos tanques van a suministrar el fluido a todos los equipos que lo requieran, y en caso de que haya derrames, inundaciones o por el contrario un bajo nivel en los tanques, el suministro no se va a realizar adecuadamente y se pueden presentar interrupciones en los procesos. El riesgo es tolerable y se puede mitigar implementando las siguientes medidas:

- Controlar el flujo de entrada
- Implementar sistemas de alarma para detectar aumentos o disminuciones en el nivel de los tanques.
- Realizar mantenimiento preventivo de las bombas.
- Inspección y mantenimiento de las válvulas.
- Implementar un sistema de contención de derrames.

El estudio de los riesgos HAZOP de proceso para el Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS), presentó resultados favorables. Todas las eventualidades es poco probable que ocurran, y todo depende más de la correcta manipulación de los equipos, por ende, toda persona que vaya a manipular uno de los equipos del centro debe de estar capacitada, ya que se requiere que conozca las condiciones de operación para cada proceso, porque al ser una planta piloto, se van a elaborar varios procesos con el uso de diversas materias primas.

3.3. Análisis de resultados metodología Bow Tie

A partir de este diagrama de causa – consecuencia, se determinan los principales eventos que se pueden generar para cada escenario de peligro, pudiendo evidenciar que, para los procesos elaborados por cada equipo en el CEPIIS, los escenarios de riesgo más posibles son la ruptura y/o desbordamiento de tanques, el sobrecalentamiento de tanques, y la sobrepresión de tanques y tuberías. Estos escenarios, si bien poseen la potencialidad de generar situaciones riesgosas, se abordan eficazmente a través de la implementación de barreras de mitigación.

Con esta metodología se pudo observar una representación clara y comprensible de los eventos, controles y consecuencias asociadas con un incidente no deseado, teniendo como soporte el estudio HAZOP realizado, para así mediante estos diagramas Bow Tie detallar la manera en que se

desencadenan las consecuencias no deseadas y cómo las barreras y controles están diseñados para prevenir o limitar dichas consecuencias. Facilitando la toma de decisiones informadas al proporcionar una visión integral de los riesgos, lo que ayuda en la asignación eficiente de recursos y en la mejora continua de las prácticas de gestión de riesgos.

Implementar estas barreras le brinda a la planta piloto mayor seguridad, operatividad y sostenibilidad del entorno, reduciendo los efectos adversos para proteger la salud y seguridad del personal y los activos físicos de la planta como las instalaciones, productos, equipos y maquinarias. Adicionalmente esta implementación ayuda a cumplir con los requisitos normativos y regulaciones de seguridad estipulados por las autoridades competentes.

3.4. Discusión de resultados

La evaluación de riesgo más común ha arrojado una valoración de **6C**, lo cual indica con base en la matriz elaborada para calificar el riesgo, que la probabilidad de ocurrencia del riesgo es baja. No obstante, las consecuencias pueden ser significativas, especialmente en lo que respecta a la infraestructura. Este aspecto se relaciona con la necesidad de detener ciertos procesos en caso de fallas, generando retrasos y pérdidas económicas, aunque sin causar daño directo a los equipos o un impacto mayor en la salud de las personas involucradas.

Por otro lado, la valoración de riesgo más alta obtenida fue de **25E**, lo cual indica que a pesar de que sea poco probable que el riesgo ocurra, sus consecuencias son catastróficas, aunque se deben a problemas al momento de adquirir los equipos, que cuentan con unas especificaciones distintas a las requeridas por el proceso, como es el caso de las bombas para el fluido calefactor.

También se obtuvo una valoración de riesgo de **10E** y se estableció que es generado principalmente por origen de una explosión o incendio, esta valoración se obtuvo para el análisis HAZOP de la planta de extracción, la planta térmica y el banco de reactores. Estos equipos, al operar con fluidos e instrumentos calefactores, presentan la posibilidad de experimentar fallas en el proceso que puedan desencadenar condiciones de presión y temperatura excepcionalmente elevadas, dando lugar a eventos como explosiones o incendios. Es importante destacar que esta valoración elevada sugiere que los efectos de tales incidentes podrían extenderse más allá de la simple afectación de

equipos, incluso alcanzando un nivel de gravedad que resultaría en la pérdida total de la infraestructura debido a la naturaleza progresiva y de efecto dominó que generan estos eventos críticos.

Los riesgos principales que se pueden presentar en el CEPIIS son: derrames de sustancias, fugas en tuberías o tanques, obstrucción de las tuberías, exceso o pérdida de flujo de alimentación, incremento o disminución de presión y temperatura, contaminación de sustancias y disminución de la eficiencia de un producto debido a un mal manejo de las condiciones de operación. Son riesgos fáciles de mitigar mediante la implementación de medidas de control, sistemas de alarma y mantenimientos preventivos para los equipos. Estas estrategias no solo contribuyen a la mitigación de los riesgos identificados, sino que también fortalecen la capacidad operativa del CEPIIS, asegurando un entorno seguro y eficiente para la realización de procesos químicos en la planta piloto.

Aquí se presenta un cuadro que resume los principales riesgos identificados mediante la utilización de las herramientas de análisis de riesgo.

Tabla 9.

Principales riesgos identificados en el CEPIIS

PRINCIPALES		
CAUSAS	RIESGOS	MEDIDAS DE MITIGACIÓN
Fallo en válvulas	Desbordamiento de tanques de almacenamiento	Implementación de sistemas de alarma de nivel, flujo, presión y temperatura
Anomalías en los valores de presión o temperatura	Fugas en tuberías y tanques	Programación y calibración de sensores
Exceso de flujo	Sobrepresión en tanques y tuberías	Mantenimiento de los sistemas de control

Obstrucciones en tuberías	Sobrecalentamiento de los equipos	Mantenimiento de bombas, válvulas y tuberías
Fallo en bombas	Explosión	Mantenimiento de sistemas de enfriamiento y calefacción
Anomalías en los sistemas de calefacción y/o enfriamiento	Incendio	Monitoreo de las condiciones de operación

Nota: Tabla que resumen los riesgos identificados en el CEPIIS.

A partir de la identificación de los riesgos, sus causas, consecuencias y medidas de mitigación propuestas, se realizó la estructuración de un plan de gestión de riesgos de proceso para el CEPIIS, presentado en el ANEXO 1.

4. CONCLUSIONES

Se identificaron los riesgos asociados a los procedimientos, actividades de mantenimiento, operación y logística del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS), los cuales permiten entender las posibles amenazas que pueden afectar los procesos operativos de la planta para así tomar medidas de mitigación tempranas. Adicionalmente se analizaron las variables, factores de riesgo y peligros evidenciados mediante la utilización de herramientas de análisis de riesgo para las zonas, CEPURE, CESI, CETA, BIOCAL y CUBO de la planta piloto, partiendo de una primera identificación de los riesgos mediante preguntas sobre las causas que los pueden generar empleando la metodología What if.

Partiendo del análisis What if se elaboró un análisis más detallado de los riesgos y sus consecuencias, empleando la herramienta HAZOP, que al ser más específica para cada nodo de equipo seleccionado, permitió estructurar el plan de gestión, prevención y mitigación de estos riesgos, por medio de la identificación del riesgo, el estudio de las consecuencias que genera, el conocimiento de las barreras con las que se cuenta para prevenirlo, y la propuesta de una serie de recomendaciones y medidas de mitigación, que complementaron al HAZOP de una manera más concisa mediante el uso de los diagramas de causa – consecuencia Bow Tie, los cuales permiten conocer el riesgo más crítico que puede surgir de un evento, sus causas, las barreras que las deberían prevenir, y sus consecuencias junto con las barreras de mitigación.

Con base en este análisis, se pudo estructurar el plan de gestión de riesgos para el CEPIIS, el cual no solo proporciona al personal de la planta las herramientas necesarias para la toma de decisiones preventivas antes de la puesta en marcha de los equipos, sino que también asegura la implementación efectiva de barreras de mitigación durante las operaciones. En situaciones de eventos de riesgo, el plan de acción estructurado permite una respuesta eficaz y coordinada, garantizando la seguridad y la continuidad operativa del centro de procesos.

5. RECOMENDACIONES

Realizar las capacitaciones propuestas en el plan de gestión anexado sobre el manejo y operación de los equipos a todo aquel que pretenda manipularlos, ya que se evidencio que ciertos riesgos pueden ser prevenidos si hay personal capacitado que conozca las condiciones de operación del equipo y cómo actuar en caso de anomalías. Proporcionando también un plan de acción en caso de que un evento de riesgo ocurra.

Este plan de gestión de riesgos se desarrolló para los equipos antes de su puesta en parcha, es por eso que toca hacerle un seguimiento y actualización, preferiblemente cada seis meses, para así revisar si las medidas de mitigación implementadas fueron de utilidad y ya se pueden considerar como salvaguardas, generando así una operatividad más eficiente en el centro de procesos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de ciencias, “Planta piloto”. Disponible en: <https://minciencias.gov.co/glosario/planta-piloto>
- [2] Mular, Andrew L. Halbe, Doug N. Barratt, Derek J. “Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control Proceedings, Volumes 1-2.” Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME),2002,pp. 119. ISBN: 978-1-61344-070-4
- [3] ISO, “ISO 31000:2018”. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>
- [4] NC, “GESTIÓN DEL RIESGO — VOCABULARIO (ISO GUÍA 73: 2009, IDT)”.
- [5] Hassall, Maureen Lant, Paul.”Fundamentals of Risk Management for Process Industry Engineers - 2. Fundamentals of Risk Management.” Elsevier,2023, pp. 19. Retrieved from: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01391KS1/fundamentals-risk-management/fundamentals-fundamentals>
- [6]Lyon, Bruce K. Popov, Georgi. “Risk Management Tools for Safety Professionals - 5.2 Risk Analysis and ISO 31000 Risk Management Standards.American Society of Safety Professionals (ASSP),2018, pp. 104.
- [7] Lyon, Bruce K. Popov, Georgi. “Risk Management Tools for Safety Professionals - 5.7.1.2 Application.” American Society of Safety Professionals (ASSP), 2018, pp 117.
- [8] Henao Robledo, Fernando. “Riesgos químicos”. Ecoe Ediciones, 2015.
- [9] Henao Robledo, Fernando. "Riesgos físicos I: ruido, vibraciones y presiones anormales."Ecoe Ediciones., 2014.
- [10] Mario, G. R. A. U. Riesgos ambientales en la industria. Editorial UNED, 2010.
- [11] PSE, “Manual de operación Planta de destilación continua,” vol. 01. 2018.
- [12] PSE, “Manual de operación planta de absorción,” 2018.
- [13] PSE, “Manual de operación tren de evaporación,” 2018
- [14] PSE, “Manual de operación secador de bandejas” 2018

- [15]PSE, “Manual de operación planta de extracción” 2018
- [16] D Duarte, J Caviedes, B Hernandez, D Rodriguez, C Delgado, “Informe planta térmica”, disponible en:
<https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1986/Informe%20de%20seminario%202.pdf?sequence=2>
- [17]Muñoz Caicedo, D., & Trujillo Hidalgo, M. J. “Propuesta de lineamientos y protocolos para la validación de los equipos industriales y unidades de procesos ubicados en el centro de servicios industriales (CESI) del centro de procesos e innovación para la industria sostenible de la Universidad de América”, 2023.
- [18] PSE, “Manual de operación banco de reactores” 2018.
- [19] PSE, “Manual de operación tren de evaporación” 2018
- [20] Bionet, F1 bioreactor, disponible en: [F1 | Bionet](#)
- [21] Jamilis Ricaldoni, M. I., Castañeda, M. T., & Nunez, S. “Desarrollo e integración de biorreactor para laboratorio biotecnológico. In VI Jornadas de Investigación, Transferencia, Extensión y Enseñanza (ITEE)”, 2021
- [22] AMAR equipments, “Instruction Manual for High Pressure Lab-Autoclave”
- [23] Ariza Otalora, H. N. y Sánchez Patiño, J. G. “Diseño del sistema hidráulico para las redes de tuberías para el agua de proceso, tratada, lluvia y de emergencia del centro de procesos e innovación para la industria sostenible de la Fundación Universidad de América.”, 2022.
- [24]Hassall, Maureen Lant, Paul.”Fundamentals of Risk Management for Process Industry Engineers - 5.3.2 Risk Analysis.”Elsevier, 2023, pp. 95.. Retrieved from:
<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01391M9B/fundamentals-risk-management/risk-analysis>
- [25] Espitia Velandia, M., & Vargas Jiménez, M. S. “Propuesta de un plan de gestión de riesgo en el centro de procesos e innovación para la industria sostenible (CEPIIS) de la Universidad de América utilizando las herramientas de análisis de riesgo What If, Hazop y la metodología Bow-Tie.”,2022.
- [26] S. Jenkins, “2023 CEPCI updates: September (prelim.) and August (final)”, Chemical Engineering, 20-nov-2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.chemengonline.com/2023-cepci-updatesseptember-prelim-and-august-final/>.

[27] Lyon, Bruce K. Popov, Georgi. "Risk Management Tools for Safety Professionals - 5.7.2 Risk Management Tool #12: What-if Analysis.", American Society of Safety Professionals (ASSP). 2018, pp. 120.

[28] Mendez Martinez, A, "Método What If? Para la Determinación de Riesgos en la Industria", disponible en:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mqi/mendez_m_ad/apendiceA.pdf

[29] IEC, "IEC- 61882, Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide", 2016.

[30] REPSOL YPF, "GUÍA PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS HAZOP (Hazard and Operability Analysis)," 2007

[31] Romo Toledano, J. H., Chilpa Navarrete, A., & Honorato Cervantes, H. (2019). Aplicación del método HAZOP para análisis de riesgos y simulación de una fuga de gas en el tanque de amoniaco del laboratorio de operaciones unitarias ESIQIE IPN. https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/revista_tendencias_2019.pdf.

[32] Gonzalez Villarreal, M. "Aplicación de análisis de riesgos y operabilidad HAZOP sobre planta de hidrocarbonilación de dimetiléter a media presión" Dep. Ingeniería Química y Ambiental Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2017. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/20522/fichero/522-GONZALEZ.pdf>

[33] Lyon, Bruce K. Popov, Georgi. "Risk Management Tools for Safety Professionals - 5.7.5.2 Application.", American Society of Safety Professionals (ASSP). 2018, pp. 130. Retrieved from: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012IC722/risk-management-tools/risk-management-application-9>

[34] Muñoz Arjona, Andrés. "Aplicación de la herramienta BOW-TIE para la identificación y gestión de los riesgos en instalaciones de procesos." (2021)

[35] Hassall, Maureen Lant, Paul. "Fundamentals of Risk Management for Process Industry Engineers - 5.4.2 Bowtie Analysis." Elsevier. 2023, pp. 105 Elsevier. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01391MD2/fundamentals-risk-management/bowtie-analysis>

[36] CEPIIS, "CEPIIS". [En línea]. Disponible en: <https://cepiis.wordpress.com/>.

ANEXOS

ANEXO 1: ESTRUCTURACIÓN PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS DE PROCESO



Fundación
Universidad de América



PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS DE PROCESO

Centro de Procesos e Innovación
Para la Industria Sostenible
CEPIIS



ELABORADO POR:
Luisa Fernanda Higuera Imbres

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	130
2. OBJETIVOS.....	131
3. CONTEXTO ORGANIZACIONAL	132
4. PROCESO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....	135
4.1. ZONA CEPURE	136
4.2. ZONA CESI	140
4.3. ZONA CETA	142
4.4. ZONA BIOCAL.....	146
4.5. ZONA CUBO	147
5. RIESGOS PRESENTES EN LOS PROCESOS DE LA PLANTA PILOTO	148
5.1. VALORACIÓN DEL RIESGO.....	148
6. ASIGNACIÓN DE RESPONSABILIDADES	151
6.1. TRATAMIENTO DE LOS RIESGOS	153
7. PROTOCOLOS PARA EL TRATAMIENTO DE RIESGOS	169
7.1. Capacitaciones	169
7.2. Procedimiento operativo	170
7.3. Monitoreo del riesgo	173
7.4. Cronograma de actividades para el monitoreo del riesgo.....	174

PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO DE PROCESOS PARA EL CENTRO DE PROCESOS E INNOVACIÓN PARA LA INDUSTRIA SOSTENIBLE (CEPIIS)

1. INTRODUCCIÓN

El Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS), se encuentra ubicado en la sede Eco-campus de la Fundación Universidad de América, es una planta piloto que cuenta con diversos equipos industriales para llevar a cabo procesos químicos a escala semi industrial. Las zonas de las cuales se compone el centro de procesos son:

CEPURE (centro de purificación y refinación de productos), CESI (centro de servicios industriales), CETA (centro de transformación y adecuación), BIOCAL (Centro de procesos biológicos y de calidad), COCO (centro de optimización y control), CUBO (cuarto de bombas y almacenamiento de reactivos químicos y respel), AEPRO (aula especializada de procesos). Para términos de la gestión del riesgo, este plan se estructuró para las zonas CEPURE, CESI, CETA, BIOCAL y CUBO, para las cuales se realizó el análisis de riesgo con base en los procesos realizados para cada equipo de estas zonas.

La estructuración de un plan de gestión del riesgo para los procesos de la planta piloto es de vital importancia en su etapa previa a la puesta en marcha, debido a que se requiere tener implementadas unas medidas de mitigación y planes de acción para evitar el riesgo y que resulte desencadenando en un desastre.

2. OBJETIVOS

-Identificar los riesgos asociados a los procesos en los equipos de las zonas CEPURE, CESI, CETA, BIOCAL, CUBO, del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS).

-Proponer medidas de prevención y mitigación para los riesgos identificados.

-Implementar tareas y planes de acción para la gestión y mitigación de los riesgos por medio de una jerarquización propuesta.

-Implementar un cronograma de actividades relacionado con el mantenimiento y revisión de los equipos, capacitaciones y protocolos de emergencia y evacuación.

El presente plan se estructuró con base en lo recomendado por la norma ISO 31000:2018 y el decreto 2157 de 2017, de los cuales se toman en cuenta los parámetros que se pueden implementar para realizar una gestión del riesgo de procesos.

La formulación del plan de gestión del riesgo y del desastre una vez ocurran los riesgos de proceso, para el CEPIIS se puede consultar en: Ascencio Kimberly, Formulación de un Plan De Gestión Del Riesgo Y Del Desastre PDGRD Para El Centro De Procesos E Innovación Para La Industria Sostenible Capiis Mediante Análisis De Consecuencia, tesis de grado, Universidad de América

3. CONTEXTO ORGANIZACIONAL

En la Fundación Universidad de América se está desarrollando la puesta en marcha de una planta piloto de procesos químicos, la cual busca el desarrollo de actividades dentro de la academia, promover la investigación y realizar extensión para ofrecer servicios a empresas interesadas.

Al ser una planta piloto, se cuenta con equipos de tipo semi-industrial en los cuales se van a desarrollar los diversos procesos químicos según la necesidad del solicitante, es por esto que se vio necesario realizar una identificación y evaluación de los riesgos para cada zona del centro, con el fin de conocer qué tipo de riesgos pueden surgir para cada equipo y cómo evitar que se genere y desencadene un desastre.

Figura 48. Ubicación CEPIIS



La Fundación Universidad de América se sustenta en su misión, visión y valores:

Misión: Impartimos docencia, adelantamos investigaciones y hacemos labor de extensión universitaria y educativa de manera integral. Atendemos al respeto de la dignidad humana, a la defensa de la libertad responsable, al culto de los valores del espíritu, a los dictados de la ciencia y de la cultura y a los postulados de la civilización cristiana.

Visión: En 2025 seremos reconocidos por la formación de líderes con excelencia académica, generadores de conocimiento, con responsabilidad social y comprometidos con el desarrollo sostenible.

Valores:

Cultura, interinstitucional abierta al cambio

Integridad, Inculcada en los educandos

Civismo, Como pilar de una mejor sociedad

Transformación, La innovación y la tecnología como apalancadores del progreso

Excelencia - Académica, como medio y como fin

Figura 49. Estructura organizacional de la Fundación Universidad de América

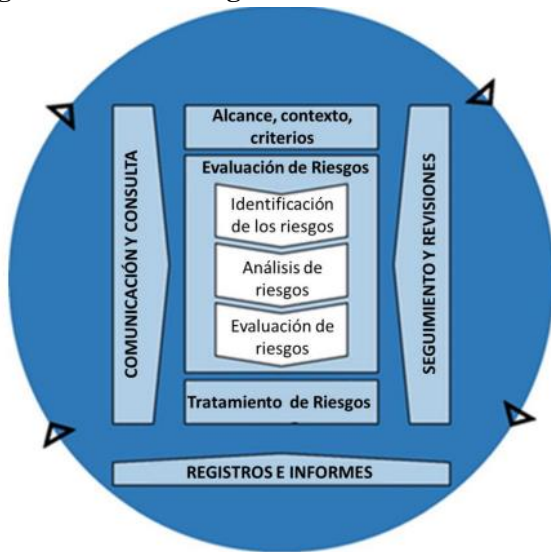


Figura 50. Equipo de responsabilidades del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS)



Con base en lo estipulado en la norma ISO 31000 para la evaluación de riesgos se realizó el siguiente procedimiento.

Figura 51. Metodología norma ISO 31000



4. PROCESO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Se realizó la identificación de los riesgos presentes en el CEPIIS, con base en las zonas de riesgo y herramientas de análisis de riesgo empleadas en Higuera Luisa, Propuesta de un plan de gestión de prevención y mitigación de los riesgos de las zonas del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS), tesis de grado, Universidad de América

Tabla 10. Tabla de zonas y equipos en que se va a realizar la identificación del riesgo

ZONA	EQUIPO
CEPURE (Centro de Purificación y Refinación)	Columna de destilación
	Columna de absorción
	Planta de extracción
	Secador de bandejas
CESI (Centro de Servicios Industriales)	Planta térmica
	PTAR

CETA (Centro de Transformación y Adecuación)	Banco de reactores
	Tren de evaporadores
BIOCAL (Centro de Procesos Biológicos y de Calidad)	Biorreactor
	Reactor de alta presión
CUBO (Cuarto de bombas y Almacenamiento de Reactivos y RESPEL)	Bombas

Teniendo identificadas las zonas de la planta y los equipos a los cuales se les va a analizar el riesgo, se procedió a seleccionar unas zonas de riesgo por equipo, cuya metodología para identificarlas se presenta en: Higuera Luisa, Propuesta de un plan de gestión de prevención y mitigación de los riesgos de las zonas del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS), tesis de grado, Universidad de América

Con base en las herramientas de análisis de riesgo empleadas se estableció por zonas los riesgos que se pueden presentar:

4.1.ZONA CEPURE

Tabla 11. Riesgos Columna de destilación

Equipo	Columna de destilación
Zona de riesgo	Riesgos
Tanque de almacenamiento de reactivo	-Sobrecalentamiento en el motor de la bomba -Rotura del sello de la bomba -Derrame del reactivo de alimentación -Emisión de vapores tóxicos -Inundación de los equipos

	<ul style="list-style-type: none"> -Daño en las tuberías -Sobrepresión del tanque -Rotura del tanque -Explosión del tanque -Nubes de vapor -Incendio -Dispersión de contaminantes
Intercambiadores de calor	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento del intercambiador -Daño en las tuberías -Aumento en la caída de presión del intercambiador -Sobrecalentamiento del fluido dentro del intercambiador
Columnas de destilación	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento del rehervidor -Pérdidas de flujo -Inundación de la columna -Riesgo de arrastre por exceso de flujo -Sobrepresión -Explosión en zona localizada de la columna -Fugas en las tuberías -Emisión de vapores contaminantes

Tabla 12. Riesgos Columna de absorción

Equipo	Columna de absorción
Zona de riesgo	Riesgos
Tanque de almacenamiento de solvente	<ul style="list-style-type: none"> -Derrame del solvente -Sobrepresión en la tubería -Rotura de la tubería

	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento del motor de la bomba -Rotura del eje de la bomba -Inundación de los equipos -Sobrepresión del tanque -Pérdida de contención
Compresor y humidificador de aire	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento -Escape de flujo de vapor -Inundación de la columna por alto flujo de aire humedo a contracorriente -Sobrepresión en el tanque -Pérdida de contención -Fuga y rotura de tubos -Rotura de sello de la bomba
Columna de absorción	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrepresión de la columna -Inundación de la columna -Rotura sello de la bomba -Sobrepresión en las tuberías por acumulacion de solvente -Fuga de gas -Rotura y fuga en las tuberías

Tabla 13. Riesgos planta de extracción

Equipo	Planta de extracción
Zona de riesgo	Riesgos
Tanque del fluido calefactor	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento -Obstrucción en las líneas de descarga -Fallo en los sistemas de control -Pérdida de temperatura del sistema

	<ul style="list-style-type: none"> -Desbordamiento del tanque -Sobrepresión en el sistema -Rotura del sello de la bomba -Pérdida de contención -Explosión -Nubes de vapor -Piscina de fuego -Dispersión de contaminantes -Solidificación de productos -Rotura y fuga en tuberías
Percolador	<ul style="list-style-type: none"> -Descomposición de componentes sensibles presentes en una mezcla -Alteración de los productos -Procesamiento incompleto del sólido a bajas temperaturas -Sobrecalentamiento -Derrame de solvente -Obstrucción en líneas de suministro
Concentrador de extracto	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento del equipo -Pérdida de producto -Desbordamiento del equipo -Alteración de los productos -Sobrepresión -Rotura y fuga en tuberías
Desflemador	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento -Disminución en la eficiencia de separación de los componentes -Derrames -Sobrepresión

Tanques colectores de solvente	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento del tanque -Riesgo de inflamabilidad -Obstrucción de líneas de suministro -Sobrepresión -Explosión -Derrames -Fuga y rotura de tuberías
---------------------------------------	---

Tabla 14. Riesgos Secador de bandejas

Equipo	Secador de bandejas
Zona de riesgo	Riesgos
Reservorio de agua	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento -Acumulación de humedad -Obstrucción en líneas de suministro -Derrames -Deshidratación incompleta del producto
Cámara de secado	<ul style="list-style-type: none"> -sobrecalentamiento de los productos -Alteración de los productos -Obstrucción de los conductos de ventilación -Fuga de gases
Filtro de aire	<ul style="list-style-type: none"> -Acumulación de humedad -Deshidratación incompleta del producto -Obstrucción de líneas de suministro -Rotura y Fuga en las líneas de suministro

4.2.ZONA CESI

Tabla 15. Riesgos planta térmica

Equipo	Planta térmica
Zona de riesgo	Riesgos
Tanque de salmuera	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento -Sobrepresión -Obstrucción en las tuberías -Derrame del tanque -Explosión -Reducción en la generación de vapor
Tanque de ACPM	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento -Evaporación del producto -Desbordamiento del tanque -Sobrepresión en el tanque -Rotura y fugas dentro del tanque -Explosión del tanque
Quemador	<ul style="list-style-type: none"> -Explosión por acumulación de combustible -Sobrecalentamiento -Incendio -Generación de nubes de vapor
Caldera	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento del sistema -Incendio por flujo excesivo de combustible -Disminución en la generación de vapor por falta de flujo del combustible -Explosion -Liberación de vapor -Sobrepresión
Distribuidor de vapor	<ul style="list-style-type: none"> -Obstrucción de líneas de suministro -Fugas de vapor -Sobrecalentamiento

	<ul style="list-style-type: none"> -Condensación en las líneas de suministro -Baja eficiencia en la generación de vapor
Tanque de condensados	<ul style="list-style-type: none"> -Desbordamiento del tanque -Arrastre de líquido que puede afectar los receptores de vapor -Sobrecalentamiento -Sobrepresión -Fugas del condensado
Torre de enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento -Enfriamiento inadecuado de la torre -Inundación de la torre -Obstrucción en las líneas de suministro -Fugas de agua

Tabla 16. Riesgos PTAR

Equipo	PTAR
Zona de riesgo	Riesgos
Tanques de almacenamiento de aguas lluvia y de procesos	<ul style="list-style-type: none"> -Desbordamiento del tanque -Inundación -Contaminación del agua almacenada -Sobrecarga del sistema de tratamiento
Bombas sumergibles	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecarga en las líneas de suministro -Sobrecalentamiento -Rotura del sello de las bombas -Fugas en las líneas de suministro

4.3.ZONA CETA

Tabla 17. Riesgo banco de reactores

Equipo	Banco de reactores
Zona de riesgo	Riesgos
Reactores CSTR	<ul style="list-style-type: none"> -Contaminación de la mezcla -Sobrealimentación en el reactor -Derrames -Disminución en la velocidad de reacción -Sobrecalentamiento del motor de la bomba -Rotura del sello de la bomba -Fugas en las líneas de suministro -Sobrepresión -Rotura del reactor -Mezclado ineficiente -Formación de subproductos
Reactores PFR	<ul style="list-style-type: none"> -Contaminación de la mezcla -Sobrealimentación en el reactor -Derrames -Sobrecalentamiento del motor de la bomba -Rotura del sello de la bomba -Fugas en las líneas de suministro -Sobrepresión -Rotura del reactor -Mezclado ineficiente -Formación de subproductos -Sobrepresión
Reactores PBR	<ul style="list-style-type: none"> -Contaminación de la mezcla -Sobrealimentación en el reactor -Derrames -Disminución en la velocidad de reacción -Sobrecalentamiento del motor de la bomba

	<ul style="list-style-type: none"> -Rotura del sello de la bomba -Fugas en las líneas de suministro -Sobrepresión -Rotura del reactor -Mezclado ineficiente -Formación de subproductos -Sobrepresión
Tanques de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento del producto -Fugas en las conexiones (líneas de suministro) -Disminución en la eficiencia de los intercambiadores de calor -Sobrepresión -Rotura y fuga en tuberías -Explosión -Sobrealimentación al interior del reactor -desbordamiento
Tanque de fluido calefactor	<ul style="list-style-type: none"> -No hay recirculación del fluido por fallo en el sistema de alimentación -Sobrecalentamiento del sistema -Sobrepresión -Desbordamiento del tanque -Rotura del sello de la bomba -Explosión -Incendio -Dispersión de contaminantes -Rotura y fuga de líneas de suministro

Tabla 18. Riesgo tren de evaporadores

Equipo	Tren de evaporadores
Zona de riesgo	Riesgos
Evaporador de tubos verticales	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento -Fugas de vapor -Derrames -Saturación del sistema de condensación -Sobrepresión -Rotura de sellos -Rotura y fugas en líneas de suministro -Cavitación del sistema de bombeo
Evaporador de tubos horizontales	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento -Arrastre de líquido -Sobrepresión -Rotura de sellos -Derrames -Cavitación del sistema de bombeo
Evaporador de chaqueta	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento -Exceso de flujo -Derrames -Sobrepresión -Rotura de sellos -Obstrucción en líneas de suministro -Cavitación del sistema de bombeo
Tanques de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento -Fugas en las líneas de suministro -Derrames del tanque -Formación de cristales -Inundación

	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrepresión -Explosión
--	---

4.4.ZONA BIOCAL

Tabla 19. Riesgo Biorreactor

Equipo	Biorreactor
Zona de riesgo	Riesgos
Biorreactor	<ul style="list-style-type: none"> -Disponibilidad de oxígeno limitada -Crecimiento de microorganismos limitado -Inactivación de microorganismos -Aumento de la concentración de oxígeno -Afectación negativa al proceso de producción de biomasa -Sobrealimentación de microorganismos -Desbordamiento -Sobrepresión -Rotura del biorreactor -Fugas de gases -Sobrecalentamiento

Tabla 20. Riesgos Reactor de alta presión

Equipo	Reactor de alta presión
Zona de riesgo	Riesgos
Reactor de alta presión	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento -Desbordamiento del reactor -Sobrepresión -Rotura o fugas de las líneas de suministro

	-Interrupción del proceso que afecta las reacciones químicas
--	--

4.5.ZONA CUBO

Tabla 21.Riesgo tanques de almacenamiento de agua

Equipo	Tanques de almacenamiento de agua
Zona de riesgo	Riesgos
Tanques de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> -Desbordamiento del tanque -Inundación -Reducción en la eficiencia del proceso por falta de agua para tratamiento -Interrupción del suministro de agua -Obstrucción en líneas de suministro -Obstrucción en bomba -Rotura de sello de las bombas

Al identificar los riesgos, se observó que la mayoría de los equipos comparten riesgos en común, debido a que la mayoría de los equipos cuentan con zonas de riesgo (nodos) como: tanques, bombas, líneas de suministro, calentadores, etc. Por ende, se realizó una síntesis de los riesgos que se pueden encontrar para la planta piloto con base en lo observado para cada equipo.

5. RIESGOS PRESENTES EN LOS PROCESOS DE LA PLANTA PILOTO

Tabla 22. Riesgos presentes en los procesos de la planta

RIESGOS PRESENTES EN LOS PROCESOS DE LA PLANTA				
Bombas	Tanques	Líneas De Suministro	Tuberías	Otros
<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecalentamiento del motor de las bombas -Rotura del sello de las bombas -Cavitación de las bombas -Rotura sello bombas de fluido calefactor 	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrepresión en tanques -Rotura de tanques -Fuga en tanques -Explosión de tanques -Derrames del tanque -Desbordamiento del tanque 	<ul style="list-style-type: none"> -Rotura de las líneas de suministro -Fuga en las líneas de suministro -Obstrucción en las líneas de descarga - Condensación en las líneas de suministro de vapor 	<ul style="list-style-type: none"> -Rotura de tuberías - Obstrucción en las tuberías -Fuga en las tuberías -Derrames en las tuberías 	<ul style="list-style-type: none"> -Emisión de vapores tóxicos -Incendio -Inundación -Dispersión de contaminantes -Sobrecalentamiento de equipos -Generación de nubes de vapor -Fallo en los sistemas de control -Pérdida de temperatura del sistema -Fuga de gases -Alteración en los productos -Acumulación de humedad -Disminución en la eficiencia de los intercambiadores de calor

El análisis de riesgo se realizó empleando las herramientas de análisis de riesgos, estudiadas en la tesis Higuera Luisa, Propuesta de un plan de gestión de prevención y mitigación de los riesgos de las zonas del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS), tesis de grado, Universidad de América

5.1. VALORACIÓN DEL RIESGO

Para valorar el riesgo se emplea la siguiente matriz:

Tabla 23. Matriz probabilidad - impacto

			Impacto				
			Insignificante	Menor	Moderado	Mayor	Catastrófico
			A (1)	B (2)	C (3)	D (4)	E (5)
Probabilidad	Casi seguro	5	Medio (5)	Alto (10)	Alto (15)	Muy alto (20)	Muy alto (25)
	Probable	4	Medio (4)	Medio (8)	Alto (12)	Muy alto (16)	Muy alto (20)
	Moderado	3	Bajo (3)	Medio (6)	Medio (9)	Alto (12)	Alto (15)
	Poco probable	2	Muy bajo (2)	Bajo (4)	Medio (6)	Medio (8)	Alto (10)
	Muy poco probable	1	Muy bajo (1)	Muy bajo (2)	Bajo (3)	Medio (4)	Medio (5)

Tabla 24. Valoración del riesgo en el CEPIIS

VALORACIÓN DEL RIESGO				
Riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Severidad	Valoración
Sobrecalentamiento del motor de las bombas	2	3	6C	Medio
Rotura del sello de las bombas	2	3	6C	Medio
Cavitación de las bombas	2	3	6C	Medio
Rotura sello bombas de fluido calefactor	5	5	25E	Muy alto
Rotura de las líneas de suministro	2	4	8D	Medio
Fuga en las líneas de suministro	2	4	8D	Medio
Obstrucción en las líneas de descarga	3	3	9C	Medio
Condensación en las líneas de suministro de vapor	2	2	4B	Bajo
Sobrecalentamiento de fluidos	2	3	6C	Medio

VALORACIÓN DEL RIESGO				
Riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Severidad	Valoración
Sobrepresión en tanques	2	4	8D	Medio
Rotura de tanques	2	4	8D	Medio
Fuga en tanques	2	4	8D	Medio
Explosión de tanques	2	5	10E	Alto
Derrames del tanque	2	3	6C	Medio
Desbordamiento del tanque	2	3	6C	Medio
Rotura de tuberías	2	4	8D	Medio
Obstrucción en las tuberías	3	3	9C	Medio
Fuga en las tuberías	2	3	6C	Medio
Derrames en las tuberías	2	3	6C	Medio
Emisión de vapores tóxicos	3	3	9C	Medio
Incendio	2	4	8D	Medio
Inundación	3	4	12D	Alto
Dispersión de contaminantes	3	3	9C	Medio
Sobrecalentamiento de equipos	2	3	6C	Medio
Generación de nubes de vapor	2	3	6C	Medio
Fallo en los sistemas de control	2	4	8D	Medio
Pérdida de temperatura del sistema	2	2	4B	Bajo
Fuga de gases	2	3	6C	Medio
Alteración en los productos	2	2	4B	Bajo

VALORACIÓN DEL RIESGO				
Riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Severidad	Valoración
Acumulación de humedad	2	2	4B	Bajo
Sobrecarga del sistema	2	3	6C	Medio
Formación de subproductos	3	3	9C	Medio
Disminución en la eficiencia de los intercambiadores de calor	2	3	6C	Medio

6. ASIGNACIÓN DE RESPONSABILIDADES

Se sugiere la asignación de responsabilidades con base en lo requerido para mitigar los riesgos de proceso e implementar acciones de mejora que permitan la eficiencia y continuidad de los procesos en la planta piloto.

-Director de gestión de riesgos: Encargado de supervisar y liderar la implementación del plan de gestión de riesgos de proceso con base en el cumplimiento de las normativas y medidas de seguridad requeridas para una planta piloto.

-Coordinador de riesgos: Encargado de identificar, evaluar y proponer medidas de acción frente a los riesgos de la planta piloto. Debe mantener actualizado el plan de gestión de riesgo basándose principalmente en el estudio HAZOP.

-Responsable de emergencias: Encargado de la implementación de los planes de emergencia, su activación y la coordinación de acciones de respuesta ante situaciones críticas. Se debe asegurar de que el personal esté debidamente capacitado para proceder ante una emergencia.

-Grupo de evacuación: Encargado de supervisar que el plan de emergencia se ejecute de manera efectiva. Coordina y asegura que las acciones de evacuación se lleven a cabo de manera correcta y ordenada.

Establece la comunicación con grupos de apoyo externos como lo son el cuerpo de bomberos, cruz roja, servicios médicos de emergencia, autoridades locales, grupos de rescate.

-Jefe de brigada: Organiza y dirige las actividades de la brigada como respuesta a las emergencias. Participa en la planificación y realización de los simulacros y se encarga de conformar una brigada capacitada para la atención y desarrollo de los protocolos de emergencia.

-Brigadistas: Conformado por personal capacitado para atender emergencias, participa en simulacros, en atención de primeros auxilios y su formación especializada les permite utilizar los equipos de emergencia para proteger la seguridad e integridad de las personas afectadas, actuando como primer contacto para brindar ayuda inmediata mientras llegan los grupos de apoyo.

-Coordinador de simulacros: Encargado de planificar y ejecutar los simulacros de emergencia dentro de la planta piloto, identifica las posibles fallas y propone acciones de mejora para cumplir con los objetivos del simulacro y así fortalecer la respuesta del personal ante situaciones de riesgo.

-Coordinador de capacitación: Desarrolla los programas de capacitación y se asegura de que el personal esté debidamente entrenado sobre el conocimiento y manejo de los riesgos al realizar operaciones en la planta piloto. Debe planificar y ejecutar programas de formación que le permitan al personal adquirir las habilidades y los conocimientos necesarios para para identificar, evaluar y manejar eficazmente los riesgos.

-Coordinador de mantenimiento: Es el responsable de la planificación y ejecución de las actividades de mantenimiento de los equipos, identifica posibles fallas y propone las acciones correctivas para garantizar la operación segura de los equipos.

-Técnico de mantenimiento: Encargado de ejecutar las actividades de mantenimiento de los equipos según el programa establecido por el coordinador de mantenimiento. Participa

activamente en la inspección, diagnóstico, reparación de los equipos e implementación de nuevas medidas de control en caso de ser necesario.

-Supervisor de operaciones: Se encarga de supervisar y monitorear las actividades operativas diarias en la planta piloto, para asegurarse de que se lleven a cabo de manera segura y eficiente. Supervisa el mantenimiento de los equipos y realiza registros de las operaciones.

6.1. TRATAMIENTO DE LOS RIESGOS

Para el tratamiento de los riesgos se van a emplear medidas de mitigación y a revisar planes de acción para reducir la probabilidad de que se genere un siniestro.

Tabla 25. Tratamiento de los riesgos.

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
Sobrecalentamiento del motor de las bombas	Verificar que el motor cumpla con las condiciones requeridas para el equipo.	Previo a la puesta en marcha del equipo, apoyándose de los manuales de operación.	Técnico de mantenimiento
	Verificar que el sistema de enfriamiento funcione correctamente.	Antes de iniciar el arranque de un proceso en el equipo.	Supervisor de operaciones
	Monitorear la temperatura durante el proceso.	Al inicio del proceso, a mitad del proceso y al final del proceso.	Supervisor de operaciones
	Verificar el flujo a través de las líneas de suministro.	Al iniciar el proceso.	Supervisor de operaciones
	Medir la presión del sistema.	Al iniciar el proceso y a mitad del proceso.	Supervisor de operaciones

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
	Realizar mantenimiento preventivo.	Se recomienda cada 3 meses o cada 2000 horas de funcionamiento, sin embargo hay que tener en cuenta las características de la bomba.	Técnico de mantenimiento
Rotura del sello de las bombas	Revisar los parámetros de operación de la bomba y compararlos con los parámetros de operación del equipo y el fluido a transportar.	Previo a la puesta en marcha del equipo, apoyándose de los manuales de operación.	Coordinador de mantenimiento
	Monitorear los parámetros de operación como la temperatura y presión.	Antes de iniciar el proceso.	Supervisor de operaciones
	Realizar mantenimiento preventivo.	Se recomienda cada 3 meses o cada 2000 horas de funcionamiento, sin embargo hay que tener en cuenta las características de la bomba.	Técnico de mantenimiento.
Cavitación de las bombas	Verificar que el fluido ingrese a la velocidad adecuada.	Al inicio del proceso.	Supervisor de operaciones
	Monitorear la presión del sistema.	Al iniciar el proceso y a la mitad del proceso.	Supervisor de operaciones
	Implementar un sistema de control.	Previo a la puesta en marcha del equipo.	Coordinador de mantenimiento

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
	Realizar mantenimiento preventivo.	Se recomienda cada 3 meses o cada 2000 horas de funcionamiento, sin embargo hay que tener en cuenta las características de la bomba.	Técnico de mantenimiento
Rotura sello bombas de fluido calefactor	Verificar la temperatura de operación del fluido calefactor.	Al inicio del proceso	Supervisor de operaciones
	Monitorear la temperatura durante el proceso.	Al inicio del proceso, a mitad del proceso y al final del proceso.	Supervisor de operaciones
	Revisar que las especificaciones del sello concuerden con los datos de operación del fluido calefactor.	Previo a la puesta en marcha del equipo.	Supervisor de operaciones
	Reemplazo de la bomba en caso de que las especificaciones del sello no concuerden con las del fluido.	Previo a la puesta en marcha del equipo.	Coordinador de mantenimiento
	Realizar mantenimiento preventivo.	Se recomienda cada 3 meses o cada 2000 horas de funcionamiento, sin embargo hay que tener en cuenta las características de la bomba.	Técnico de mantenimiento
Rotura de las líneas de suministro	Inspecciones regulares para	Mensual.	Técnico de mantenimiento

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
	detectar problemas en la estructura.		
	Verificar que el material sea compatible con las sustancias químicas que se van a transportar.	Previo a la puesta en marcha del equipo.	Supervisor de operaciones
	Implementar un sistema de detección de fugas.	Previo a la puesta en marcha del equipo.	Coordinador de mantenimiento
	Controlar el flujo de entrada.	Al inicio del proceso.	Supervisor de operaciones
	Implementar plan de contingencia en caso de rotura.	Previo a la puesta en marcha del equipo	Coordinador de mantenimiento
	Verificar el posicionamiento de las válvulas.	Previo al inicio del proceso	Técnico de mantenimiento
	Realizar mantenimiento preventivo.	Se recomienda cada 3 meses , sin embargo hay que tener en cuenta las características de las líneas de suministro.	Técnico de mantenimiento
Fuga en las líneas de suministro	Realizar inspecciones periódicas para detectar posibles fugas.	Mensual.	Técnico de mantenimiento
	Implementar sistema de monitoreo para detectar fugas.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Monitorear la presión durante el proceso.	Al iniciar el proceso y a la mitad del proceso.	Supervisor de operaciones

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
	Implementar plan de emergencia en caso de fugas.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
Obstrucción en las líneas de descarga	Verificar que el material sea compatible con las sustancias químicas que se van a transportar.	Antes de iniciar el arranque de un proceso en el equipo	Supervisor de operaciones
	Controlar el flujo.	Al iniciar el proceso.	Supervisor de operaciones
	Realizar mantenimiento preventivo.	Se recomienda cada 3 meses , sin embargo hay que tener en cuenta sus características.	Técnico de mantenimiento
	Inspección de válvulas para detectar problemas.	Se recomienda cada dos meses.	Técnico de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo de las válvulas.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Implementar sistema de detección de fugas.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
Condensación en las líneas de suministro de vapor	Monitorear la temperatura durante el proceso.	Al inicio del proceso, a mitad del proceso y al final del proceso.	Supervisor de operaciones
	Inspección y limpieza de las líneas de suministro.	Se recomienda cada cuatro meses.	Técnico de mantenimiento
	Calibración del sensor de temperatura.	Antes de iniciar una operación. Se recomienda cada seis meses o al notar una	Técnico de mantenimiento

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
		desviación significativa en las mediciones.	
	Mantenimiento de los sistemas de control.	Antes de iniciar una operación. Se recomienda cada seis meses o al notar una desviación significativa en las mediciones.	Técnico de mantenimiento
	Inspección de las válvulas.	Se recomienda cada dos meses.	Técnico de mantenimiento
Sobrecalentamiento de fluidos	Calibración del sensor de temperatura.	Antes de iniciar una operación. Se recomienda cada seis meses o al notar una desviación significativa en las mediciones.	Técnico de mantenimiento
	Monitorear la temperatura durante el proceso.	Al inicio del proceso, a mitad del proceso y al final del proceso.	Supervisor de operaciones
	Monitorear la presión durante el proceso.	Al inicio del proceso y a mitad del proceso.	Supervisor de operaciones
	Inspección de válvulas para detectar problemas.	Se recomienda cada dos meses.	Técnico de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo de las válvulas.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Mantenimiento de los sistemas de enfriamiento.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
Sobrepresión en tanques	Revisión del nivel en el tanque.	Al iniciar el proceso y a la mitad del proceso.	Supervisor de operaciones
	Monitorear la temperatura durante el proceso.	Al inicio del proceso, a mitad del proceso y al final del proceso.	Supervisor de operaciones
	Monitorear la presión durante el proceso.	Al inicio del proceso y a mitad del proceso	Supervisor de operaciones
	Inspección de válvulas para detectar problemas.	Se recomienda cada dos meses.	Técnico de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo de las válvulas.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
Rotura de tanques	Revisión del nivel en el tanque.	Al iniciar el proceso y a la mitad del proceso.	Supervisor de operaciones
	Monitorear la presión durante el proceso.	Al inicio del proceso y a mitad del proceso	Supervisor de operaciones
	Inspección de válvulas para detectar problemas.	Se recomienda cada dos meses.	Coordinador de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo de las válvulas.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	mantenimiento preventivo del tanque	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
	Mantenimiento de sistemas de control	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
Fuga en tanques	Revisión del nivel en el tanque.	Al inicio del proceso y a mitad del proceso.	Supervisor de operaciones
	Monitorear la presión durante el proceso.	Al inicio del proceso y a mitad del proceso.	Supervisor de operaciones
	Monitorear la temperatura durante el proceso.	Al inicio del proceso, a mitad del proceso y al final del proceso.	Supervisor de operaciones
	Inspección de válvulas para detectar problemas.	Se recomienda cada dos meses.	Coordinador de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo de las válvulas.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
Explosión de tanques	Mantenimiento preventivo de los tanques.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Monitorear la presión durante el proceso.	Al inicio del proceso y a mitad del proceso	Supervisor de operaciones
	Monitorear la temperatura durante el proceso.	Al inicio del proceso, a mitad del proceso y al final del proceso.	Supervisor de operaciones
	Inspección y limpieza de las líneas de suministro.	Se recomienda cada cuatro meses.	Técnico de mantenimiento
	Implementar plan de contingencia.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
Derrames del tanque	Revisión del nivel en el tanque.	Al iniciar el proceso y a la mitad del proceso.	Supervisor de operaciones
	Inspección de válvulas para detectar problemas.	Se recomienda cada dos meses.	Coordinador de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo de las válvulas.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Inspección y limpieza de las líneas de suministro.	Se recomienda cada cuatro meses.	Técnico de mantenimiento
	Monitorear la presión durante el proceso.	Al inicio del proceso y a mitad del proceso.	Supervisor de operaciones
	Mantenimiento preventivo del tanque.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
Rotura de tuberías	Monitorear la presión durante el proceso.	Al inicio del proceso y a mitad del proceso	Supervisor de operaciones
	Inspección de válvulas para detectar problemas.	Se recomienda cada dos meses.	Coordinador de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo de las válvulas.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo de las tuberías	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Mantenimiento de sistemas de control	Se recomienda cada seis meses.	Coordinador de mantenimiento
	Implementar un sistema de detección	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
	de fugas.		
Obstrucción en las tuberías	Controlar el flujo.	Al inicio del proceso.	Supervisor de operaciones
	Inspección y limpieza de las tuberías.	Se recomienda cada 4 meses para equipos en los que el fluido transportado es el mismo. Si de lo contrario el fluido a transportar cambia, se recomienda antes de iniciar el proceso.	Técnico de mantenimiento
	Inspección de válvulas para detectar problemas.	Se recomienda cada dos meses.	Coordinador de mantenimiento
	mantenimiento preventivo de las tuberías	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Monitoreo de los sistemas de control	Durante el proceso	Supervisor de operaciones
Fuga en las tuberías	Monitorear la presión durante el proceso.	Al inicio del proceso y a mitad del proceso.	Supervisor de operaciones
	Implementar un sistema de detección de fugas.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Monitorear la temperatura durante el proceso.	Al inicio del proceso, a mitad del proceso y al final del proceso.	Supervisor de operaciones
	Inspección de válvulas para detectar problemas.	Se recomienda cada dos meses.	Coordinador de mantenimiento
	Mantenimiento	Se recomienda cada	Técnico de

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
	preventivo de las válvulas.	seis meses.	mantenimiento
Derrames en las tuberías	Inspección de las tuberías para detectar problemas.	Se recomienda cada dos meses.	Coordinador de mantenimiento
	Implementar un sistema de detección de fugas.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Controlar el flujo	Durante el proceso.	Supervisor de operaciones
	Monitorear la presión durante el proceso.	Al inicio del proceso y a mitad del proceso.	Supervisor de operaciones
	Inspección de válvulas para detectar problemas.	Se recomienda cada dos meses.	Coordinador de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo de las válvulas.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Implementar medidas de contención.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
Disminución en la eficiencia de los intercambiadores de calor	Mantenimiento preventivo de los intercambiadores.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Inspecciones del equipo para detectar deterioros.	Se recomienda cada mes.	Coordinador de mantenimiento
	Implementación de un sistema de detección de fugas	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Monitorear la temperatura durante el proceso.	Al inicio del proceso, a mitad del proceso y al final del	Supervisor de operaciones

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
		proceso.	
	Implementar sistema de alarma de temperatura para detectar anomalías en los valores que se registren.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Limpieza de las líneas de suministro.	Se recomienda cada cuatro meses.	Técnico de mantenimiento
Emisión de vapores tóxicos	Verificación de los sistemas de ventilación.	Previo a la puesta en marcha.	Supervisor de operaciones
	Verificación de los sistemas implementados para el control de fugas.	Previo a la puesta en marcha.	Técnico de mantenimiento
	Implementar un sistema de alarma para la detección de vapores.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Implementar protocolo de emergencia y evacuación.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento / Coordinador de riesgos
	Mantenimiento de los sistemas de control para los diversos equipos ubicados en la planta.	Se recomienda cada seis meses o al notar una desviación significativa en las mediciones.	Coordinador de mantenimiento
Incendio	Instalar un sistema de alarma de incendios.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Instalar equipos de extinción en puntos	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
	estratégicos de la planta.		
	Implementar sistemas de alarma de presión, nivel y temperatura.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Desarrollar un plan de emergencia.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Verificar el correcto almacenamiento de las sustancias químicas.	Previo a la puesta en marcha.	Supervisor de operaciones
	Mantenimiento preventivo de los equipos.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
Inundación	Verificación de los sistemas de drenaje.	Previo a la puesta en marcha	Técnico de mantenimiento
	Verificación de los diques de contención.	Previo a la puesta en marcha.	Técnico de mantenimiento
	Implementar sistemas de alarma de presión, nivel y temperatura.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Verificar el correcto almacenamiento de las sustancias químicas.	Previo a la puesta en marcha.	Supervisor de operaciones
	Mantenimiento preventivo de los equipos.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Desarrollar un plan de emergencia.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
Dispersión de contaminantes	Mantenimiento de los sistemas de control.	Antes de iniciar una operación. Se recomienda cada seis meses o al notar una desviación significativa en las mediciones.	Coordinador de mantenimiento
	Verificación de los sistemas de ventilación.	Previo a la puesta en marcha.	Supervisor de operaciones
	Verificación de los sistemas implementados para el control de fugas.	Previo a la puesta en marcha.	Técnico de mantenimiento
	Implementar sistemas de alarma de nivel.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo de los equipos.	Se recomienda cada 6 meses.	Técnico de mantenimiento
	Desarrollar un plan de gestión para los residuos generados durante los procesos en la planta.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de riesgos
Alteración en los productos	Verificar que las materias primas a utilizar estén almacenadas de manera correcta.	Según lo estipulado por la persona encargada.	Supervisor de operaciones
	Realizar pruebas de calidad de las materias primas.	Según las especificaciones de la sustancia.	Coordinador de mantenimiento
	Inspección y limpieza de los equipos.	Se recomienda cada cuatro a seis meses.	Técnico de mantenimiento

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
	Mantenimiento de los sistemas de control.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Implementar manual para la correcta manipulación de productos químicos.	Previo a la puesta en marcha y cada que se va a iniciar un nuevo proceso.	Coordinador de riesgos / Supervisor de operaciones
	Seguimiento de los manuales de operación de los equipos.	Previo a la puesta en marcha.	Supervisor de operaciones
Sobrecalentamiento de equipos	Mantenimiento de los sistemas de control.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Implementar sistema de alarma de temperatura para detectar anomalías en los valores que se registren.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Monitorear la presión durante el proceso.	Al inicio del proceso y a mitad del proceso	Supervisor de operaciones
	Monitorear la temperatura durante el proceso.	Al inicio del proceso, a mitad del proceso y al final del proceso.	Supervisor de operaciones
	Mantenimiento preventivo de los equipos.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Verificación de los sistemas de ventilación.	Previo a la puesta en marcha.	Supervisor de operaciones
Generación de nubes de vapor	Mantenimiento de los sistemas de control.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
	Monitorear la presión durante el proceso.	Al inicio del proceso y a mitad del proceso	Supervisor de operaciones
	Monitorear la temperatura durante el proceso.	Al inicio del proceso, a mitad del proceso y al final del proceso.	Supervisor de operaciones
	Verificar el funcionamiento de los equipos de condensación.	Previo al inicio de un proceso	Supervisor de operaciones
	Mantenimiento preventivo de los equipos.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Verificación de los sistemas de ventilación.	Previo a la puesta en marcha.	Técnico de mantenimiento
	Desarrollar plan de contención	Previo a la puesta en marcha.	Director de gestión de riesgos
Fallo en los sistemas de control	Mantenimiento preventivo de los sistemas de control.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Inspección y limpieza de los equipos.	Se recomienda cada cuatro a seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo de los equipos.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Implementar sistemas de alarma de presión, nivel y temperatura.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Monitoreo continuo de los procesos.	Durante el desarrollo de un proceso.	Supervisor de operaciones

Riesgo	Medida de mitigación	Frecuencia	Responsable
Pérdida de temperatura del sistema.	Verificar el estado del recubrimiento aislante en los equipos pertinentes.	Al realizar el mantenimiento preventivo de los equipos.	Técnico de mantenimiento
	Implementar un sistema de detección de fugas.	Previo a la puesta en marcha.	Coordinador de mantenimiento
	Inspección de las válvulas.	Se recomienda cada dos meses.	Técnico de mantenimiento
	Mantenimiento preventivo de las válvulas.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento
	Monitorear la temperatura durante el proceso.	Al inicio del proceso, a mitad del proceso y al final del proceso.	Supervisor de operaciones
	Mantenimiento preventivo de los equipos.	Se recomienda cada seis meses.	Técnico de mantenimiento

7. PROTOCOLOS PARA EL TRATAMIENTO DE RIESGOS

7.1. Capacitaciones

Como plan de acción inicial lo principal es realizar capacitaciones para todo el personal que vaya a tener acceso a la planta piloto, teniendo en cuenta que está ubicada en una universidad. Las personas que deben recibir la capacitación son:

-Estudiantes que van a desarrollar proyectos en la planta y que tienen autorización para manipular los equipos.

-Docentes que van a desarrollar proyectos de investigación o de formación académica.

-Operarios de la planta designados por los responsables.

-Personas externas con autorización.

El protocolo para la capacitación del personal enfocada en la prevención de riesgos para los procesos dentro de la planta piloto es:

- ❖ Realizar la identificación de equipos ubicados en la planta.
- ❖ Leer los manuales de operación de los equipos.
- ❖ Identificación de botones de emergencia y sistemas de alarma.
- ❖ Informar sobre los riesgos que se pueden presentar.
- ❖ Socializar los planes de contingencia y emergencia.
- ❖ Uso adecuado de los elementos de protección personal (EPP).
- ❖ Curso básico de primeros auxilios.
- ❖ Reentrenamiento sobre los procesos operativos cada que haya modificaciones.
- ❖ Simulacros.

La proporción de la información se puede realizar mediante:

- ❖ Presentaciones
- ❖ Vídeos
- ❖ Cartillas
- ❖ Folletos
- ❖ Documentos
- ❖ Visita a la planta piloto

7.2.Procedimiento operativo

Antes de que se presente una emergencia se debe garantizar la implementación de las siguientes medidas de seguridad:

-Capacitación del personal

-Inspección y mantenimiento preventivo de los equipos

-Implementar procedimientos operativos seguros

- Implementar manual de manejo de sustancias químicas
- Instalación de sistemas de detección de alarma
- Suministro y utilización de equipos de protección personal (EPP)
- Señalización y establecimiento de rutas de evacuación
- Disponer de equipos de primeros auxilios
- Establecer contacto y protocolos de coordinación con grupos de apoyo externos
- Actualización continua del plan de gestión de riesgos

A continuación, se presenta el procedimiento operativo para los riesgos de proceso que de no mitigarse en la planta pueden desencadenar un riesgo de desastre.

Incendio

- Alertar a todo el personal y activar los sistemas de alarma.
- Iniciar la evacuación.
- Brindar primeros auxilios a las personas que lo requieran.
- Iniciar la extinción del fuego si es posible según lo recomendado por personal capacitado.
- Parada de los equipos.
- Tener a la mano un botiquín de primeros auxilios.
- Si hay heridos graves remitirlos al hospital más cercano.
- Seguir instrucciones de los coordinadores a cargo.
- Revisar las zonas afectadas.
- Realizar un reporte de lo sucedido y las afectaciones generadas.

Inundación

- Activación del plan de emergencia.
- Cerrar el suministro de gas y de agua.
- Cortar la electricidad.
- Iniciar la evacuación.
- Aislar las zonas afectadas.

- No ubicarse cerca de zonas que generen electricidad.
- Apagar los equipos y desconectarlos.
- Prestar primeros auxilios a personas afectadas.
- Si hay heridos graves remitirlos al hospital más cercano.
- Revisar las zonas afectadas
- Realizar un reporte de lo sucedido y las afectaciones generadas.

Explosión

- Activar los sistemas de alarma.
- Iniciar protocolo de evacuación.
- Prestar primeros auxilios a las personas afectadas.
- Si hay heridos graves remitirlos al hospital más cercano.
- Aislar las zonas afectadas.
- Parada de los equipos.
- Comunicarse con los grupos de apoyo.
- Revisar las zonas afectadas.
- Realizar un reporte de lo sucedido y las afectaciones generadas.

Dispersión de contaminantes

- Activar los sistemas de alarma.
- Iniciar protocolo de evacuación
- Identificar y aislar la fuente de dispersión.
- Parada de los equipos, verificar principalmente el cierre de válvulas.
- Realizar ventilación del área.
- Prestar primeros auxilios a las personas afectadas.
- Si hay heridos graves remitirlos al hospital más cercano.
- Comunicarse con los grupos de apoyo.
- Revisar las zonas afectadas.
- Realizar un reporte de lo sucedido y las afectaciones generadas.

Fuga de gases

- Activar los sistemas de alarma.
- Iniciar protocolo de evacuación.
- Parada de los equipos, verificar principalmente el cierre de válvulas.
- Cerrar líneas de suministro de gas.
- Realizar ventilación del área.
- Prestar primeros auxilios a las personas afectadas.
- Si hay heridos graves remitirlos al hospital más cercano.
- Comunicarse con los grupos de apoyo.
- Revisar las zonas afectadas.
- Realizar un reporte de lo sucedido y las afectaciones generadas.

En caso de que el riesgo no se pueda mitigar y se genere un desastre, se debe seguir el plan de acción y desastre propuesto en: Ascencio Kimberly, Formulación de un Plan De Gestión Del Riesgo Y Del Desastre PDGRD Para El Centro De Procesos E Innovación Para La Industria Sostenible CEPIIS Mediante Análisis De Consecuencia, tesis de grado, Universidad de América

7.3. Monitoreo del riesgo

- Identificación de indicadores de riesgo, principalmente mediante el resultado de auditorías.
- Programar revisiones para los indicadores operativos, de cumplimiento y auditorías.
- Implementar un sistema de recolección de datos en el cual se documenten los resultados de las inspecciones realizadas, los incidentes y los datos operativos.
- Realizar un análisis de datos con el personal especializado para evaluar las tendencias e identificar desviaciones significativas.
- Evaluación de los controles implementados de mitigación para revisar su efectividad.
- Actualización continua del plan de gestión de riesgos para ajustar las medidas de mitigación existentes o implementar nuevas medidas en caso de ser necesario.
- Revisión de los resultados con el equipo encargado para la toma de decisiones sobre los procedimientos operativos de la planta piloto.
- Mantener un registro y documentación del análisis de las actividades, las acciones correctivas implementadas y las decisiones tomadas.
- Capacitación del personal con base en nuevas medidas implementadas.

7.4. Cronograma de actividades para el monitoreo del riesgo

Figura 52. Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	Responsable	Mes 1:	Mes 2:	Mes 3:	Mes 4:	Mes 5:	Mes 6:																		
		Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Identificación de indicadores de riesgo (auditoria)	Director de gestión de riesgos	■																							
Revisión de indicadores operativos y cumplimiento de auditorias	Director de gestión de riesgos		■	■	■																				
Implementar sistema de recolección de datos	Supervisor de operación					■	■	■	■																
Análisis de datos	Coordinador de riesgos/Supervisor de operación	■	■	■	■	■	■	■	■																
Evaluación de controles implementados	Coordinador de riesgos						■	■	■	■	■	■	■												
Revisión de resultados	Director de gestión de riesgos/Supervisor de operación										■	■	■												
Registro y documentación de actividades y decisiones tomadas	Director de gestión de riesgos/Supervisor de operación													■	■	■	■								
Actualización del plan de gestión de riesgos	Coordinador de riesgos															■	■	■	■	■	■				
Capacitación del personal de la planta piloto para identificar las medidas de control	Coordinador de capacitación																					■	■	■	■

ANEXO 2: ANÁLISIS HAZOP PARA CADA EQUIPO DEL CEPIIS

Link de acceso a la metodología HAZOP desarrollada:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1AoxrP3tCCKP7wFkLDYwuW4jtoIQvT4Ms/edit?usp=sharing&ouid=105428118874824123559&rtpof=true&sd=true>

Tabla 26. HAZOP Columna de destilación – nodo TK-102/TK-101

Proyecto		Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica				P&ID	Figura 3	
Nodo		TK-102 / TK-101				Fecha	31/05/2022	
Descripción del nodo		Tanque de almacenamiento de reactivo (proceso/solvente)						
Intención del nodo		No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
NO	Flujo	-No se realiza carga del reactivo de alimentación por parte del encargado	-Imposibilidad en la operación de destilación debido a falta de reactivo de alimentación -Riesgo de sobrecalentamiento en el motor de la bomba de alimentación y posible ruptura de eje	Indicador de nivel situado en el tanque	2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivo de alimentación
MÁS		-Se excede la carga del reactivo de alimentación	-Derrame del reactivo de alimentación si se supera el volumen de diseño Efectos tóxicos o afectaciones a personas		2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivo de alimentación -Abrir válvula de purga para regular el nivel del tanque
MENOS		-Obstrucción en válvulas V-020/022 y V-001/003	-Alimentación insuficiente a la columna de destilación		2	2	4B	-Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivo de alimentación

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica						P&ID	Figura 3
Nodo	TK-102 / TK-101						Fecha	31/05/2022
Descripción del nodo	Tanque de almacenamiento de reactivo (proceso/solvente)							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Ruptura o fuga en tubería	-Riesgo de sobrecalentamiento en el motor de la bomba de alimentación y posible ruptura de eje					- Realizar verificación/limpieza en tubería y válvulas de carga y descarga
MÁS	Nivel	-No se realiza regulación de nivel con las valvulas V-023/024 y V-004/005 -Acumulación de reactivo por obstrucción en tubería o válvulas de control (en fondo) posición cerrada	- Derrame de reactivo por rebosar el volumen maximo - Inundación de equipos por rebose no diseñados para soportar líquido -Variación de las condiciones óptimas de operación	-Indicador de nivel situado en el tanque	2	3	6C	- Realizar verificación/limpieza en tubería y válvulas de carga y descarga -Mantenimiento preventivo al sensor de nivel -Implementar alarmas por alto nivel (LAH)
MENOS		-No se realiza regulación de nivel con las válvulas de	-Disminución del flujo de salida que alimenta a la columna	-Válvulas de control de nivel	2	3	6C	-Implementar alarmas por bajo nivel (LAL)

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica						P&ID	Figura 3
Nodo	TK-102 / TK-101						Fecha	31/05/2022
Descripción del nodo	Tanque de almacenamiento de reactivo (proceso/solvente)							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		entrada V-022 y V-003 -Apertura de válvulas V-023/025/024 para el TK-102 y V-004/005/006 para el TK-101 - Obstrucción en válvulas de control (en fondo) posición abierta	-Variación de las condiciones óptimas de operación -Cavitación del sistema de bombeo de reactivo, conectado a los fondos del tanque - El tanque puede quedar totalmente vacío quedandose sin fase líquida, afectando los conductos y equipos que no están diseñados para el funcionamiento en seco.					-Verificar que las válvulas de purga y alimentación a la columna estén cerradas (V-023/025/024 y V-004/005/006) -Mantenimiento preventivo al sensor de nivel - Realizar verificación/limpieza en tubería y válvulas de carga y descarga
MÁS	Presión	- Falla en la válvula de alivio V-020 y V-001	-Sobrepresión en el tanque generando pérdida de contención, ruptura de los sellos y ruptura de tuberías	- Válvula de alivio de presión V-020	2	3	6C	- Implementar alarmas por alta presión (PAH)

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica						P&ID	Figura 3
Nodo	TK-102 / TK-101						Fecha	31/05/2022
Descripción del nodo	Tanque de almacenamiento de reactivo (proceso/solvente)							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Bloqueo de venteo durante el vaciado	-Presión acumulada que puede generar ruptura del tanque					-Mantenimiento preventivo al indicador de nivel - Realizar verificación/limpieza en tuberías y válvula de alivio
MENOS		- Bloqueo de bombas o líneas de succión -Fuga en la tubería de alimentación	-Cavitación del sistema de bombeo de reactivo, conectado a los fondos del tanque - Afectación del flujo de reactivo en la torre de destilación -Variación de las condiciones óptimas de operación		2	3	6C	- Implementar alarmas por baja presión (PAL) -Mantenimiento preventivo al indicador de presión - Realizar verificación/limpieza en tuberías y válvula de alivio -Mantenimiento preventivo de las bombas
MÁS	Temperatura	- Temperatura ambiente alta - Fallo en las bombas de distribución	- Mayor desgaste en el equipo - La bomba soporta una temperatura de fluido máxima de 40°C , y al		5	5	25E	- Implementar alarmas por alta temperatura (TAH) - Mantenimiento preventivo al indicador de temperatura

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica						P&ID	Figura 3
Nodo	TK-102 / TK-101						Fecha	31/05/2022
Descripción del nodo	Tanque de almacenamiento de reactivo (proceso/solvente)							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Aumento de temperatura repentino debido a la naturaleza del reactivo	circular el fluido a una temperatura mayor se va a generar rotura del sello de la bomba, generando una pérdida de contención del fluido, que puede ocasionar explosión, nubes de vapor, piscina de fuego, chorro de fuego, y dispersión de contaminantes. -Variación de las condiciones óptimas de operación					
MENOS		- Temperatura ambiente baja - Disminución de temperatura repentina debido a la naturaleza del reactivo	- Riesgo de fragilización del material de construcción del tanque - Generación de cristalizaciones no deseadas -Variación de las condiciones óptimas de operación		2	3	6C	- Implementar alarmas por baja temperatura (TAL) - Mantenimiento preventivo al indicador de temperatura

Tabla 27. Columna de destilación - nodo HE-101/HE-102

Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración - Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
Proyecto Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica Nodo HE-101 / HE-102 Descripción del nodo Intercambiadores de calor para el precalentamiento del alimento y del solvente Intención del nodo Límite a las condiciones requeridas del proceso P&ID Figura 3 Fecha 31/05/2022								
NO	Flujo	-Cierre de la válvula V-033 y v-013	- Sobrecaentamiento de intercambiador de calor	Válvulas de apertura y cierre de suministro	2	3	6C	- Implementar un indicador de flujo en la entrada del intercambiador
		- Obstrucción de las tuberías	- Pérdida de entrega de suministro de fluido de servicio (vapor)					- Realizar mantenimiento en los tubos del intercambiador para minimizar pérdidas u obstrucción por ensuciamiento
MÁS	Flujo	- No hay líquido de alimentación de proceso	- Mayor desgaste en el equipo	Válvulas de apertura y cierre de suministro	2	2	4B	- Realizar verificación/limpieza en tuberías y válvulas
		- Mayor presión del líquido en la salida de la bomba.	- Baja eficiencia en el intercambio de calor hacia el fluido de proceso					- Implementar un indicador de flujo en la entrada del intercambiador.
		- Fallo en el controlador de flujo	- Mayor demanda de fluido de servicio de calentamiento					- Realizar verificación/limpieza en tubería del intercambiador.
		- Necesidad de reducción en la entrada (falta de restricción en	- Aumento de la caída de presión en el intercambiador de calor					-Automatizar el proceso para que el flujo de servicio al intercambiador de calor este regulado por respuesta del indicador de

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica							
Nodo	HE-101 / HE-102							
Descripción del nodo	Intercambiadores de calor para el precalentamiento del alimento y del solvente				P&ID	Figura 3		
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso				Fecha	31/05/2022		
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		manipulación de la válvula V-033 y V-013). -Escapes por rotura en los tubos del intercambiador						temperatura ubicado a la salida del flujo del proceso.
MENOS		- Obstrucción de las tuberías de entrada del fluido - Fallas en la alimentación del fluido por bomba defectuosa - Necesidad de apertura en la entrada (falta de restricción en manipulación de la válvula V-033 y V-013). -Fallo en el controlador de flujo	- Baja eficiencia en el intercambio de calor hacia el fluido de proceso -Sobrecalentamiento del fluido de proceso por falta de regulación		2	1	2B	-Implementar un indicador de flujo en la entrada del intercambiador. - Realizar verificación/limpieza en tubería del intercambiador. -Automatizar el proceso para que el flujo de servicio al intercambiador de calor este regulado por respuesta del indicador de temperatura ubicado a la salida del flujo del proceso.
MÁS	Presión	-Variación de la temperatura óptima a	- Mayor desgaste en el equipo		2	2	4B	- Implementar alarmas por alta presión (PAH)

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica						P&ID	Figura 3
Nodo	HE-101 / HE-102						Fecha	31/05/2022
Descripción del nodo	Intercambiadores de calor para el precalentamiento del alimento y del solvente							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		<p>la que se lleva el fluido de proceso</p> <ul style="list-style-type: none"> - Falla en el indicador de presión - Ensuciamiento o generación de incrustaciones al interior de los tubos del intercambiador. 	<ul style="list-style-type: none"> -Variación de las condiciones óptimas de operación 					<ul style="list-style-type: none"> - Realizar verificación/limpieza en tubería del intercambiador. - Realizar verificación/limpieza en la carcasa del intercambiador.
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la caída de presión en el intercambiador de calor -Variación de la temperatura óptima a la que se lleva el fluido de proceso - Falla en el indicador de presión 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja eficiencia en el intercambio de calor -Variación de las condiciones óptimas de operación -Sobrecalentamiento del fluido dentro del intercambiador de calor 	Indicador de presión en tubería	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> -Implementar un indicador de presión en la entrada y salida de las corrientes en el intercambiador. - Implementar alarmas por baja presión (PAL) - Realizar verificación y mantenimiento periódico en el equipo.

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica						P&ID	Figura 3
Nodo	HE-101 / HE-102						Fecha	31/05/2022
Descripción del nodo	Intercambiadores de calor para el precalentamiento del alimento y del solvente							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento descontrolado en el fluido de servicio - Tuberías de fluido de servicio sucias u obstruidas -Fallo en las tuberías del intercambiador por rotura - Falla en el indicador de temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecalentamiento en el intercambiador de calor -Variación de las condiciones óptimas de operación - Mayor consumo energético y desgaste en el equipo -Mayor demanda de flujo de proceso para regular la temperatura 	Indicador de temperatura situado en la salida del equipo	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar alarmas por alta temperatura (TAH) - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza para verificar el estado de tubería y carcasa en el equipo -Automatizar el proceso para que el flujo de servicio al intercambiador de calor este regulado por respuesta del indicador de temperatura ubicado a la salida del flujo del proceso.
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> -Poco suministro de fluido de servicio (V-037 y V-017 no controlada) 	<ul style="list-style-type: none"> -Variación de las condiciones óptimas de operación 	Válvulas de apertura y cierre de suministro de	2	2	4B	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar alarmas por alta temperatura (TAH)

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica			
Nodo	HE-101 / HE-102		P&ID	Figura 3
Descripción del nodo	Intercambiadores de calor para el precalentamiento del alimento y del solvente		Fecha	31/05/2022
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso			

<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		<ul style="list-style-type: none"> - Tuberías de fluido de servicio sucias u obstruidas - Falla en el indicador de temperatura - Disminución de temperatura repentino debido a la naturaleza del reactivo 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor demanda de flujo de servicio para regular la temperatura - No es posible obtener la temperatura deseada a la salida del equipo debido a una baja eficiencia en el intercambio de calor hacía el fluido de proceso 	servicio y de proceso				<ul style="list-style-type: none"> - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza para verificar el estado de tubería y carcasa en el equipo -Automatizar el proceso para que el flujo de servicio al intercambiador de calor este regulado por respuesta del indicador de temperatura ubicado a la salida del flujo del proceso.

Tabla 28. Columna de destilación - nodo C-101 (Alimentación)

Proyecto		Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica				P&ID	Figura 3	
Nodo		C-101				Fecha	31/05/2022	
Descripción del nodo		Columna de destilación del centro de procesos (Alimentación)						
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
NO	Flujo	-No hay líquido de alimentación de proceso	- No es posible realizar el proceso de destilación	Válvulas de apertura y cierre de suministro de proceso	2	4	8D	- Implementar un indicador de flujo a la entrada de la columna.
		- Fuga, obstrucción o rotura total de una sección de la tubería que conduce el fluido de alimentación	-Parada de emergencia					- Realizar mantenimiento preventivo y limpieza para verificar el estado de tubería y válvulas de servicio
		- Cierre de las válvulas V-036/016	- Sobrecalentamiento del rehervidor					-Realizar mantenimiento y verificación a la bomba de suministro
		- Avería o posible falla en la bomba de suministro de alimentación	- Pérdida deliverada de fluido de servicio (Vapor y agua)					- Si el fallo es de la bomba contar con una de respaldo
MÁS		- Mayor presión del líquido en la salida de la bomba.	- Riesgo de inundación de la columna		2	3	6C	-Implementar un indicador de flujo a la entrada de la columna.

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica				P&ID	Figura 3		
Nodo	C-101				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Alimentación)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		<ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de reducción en la entrada (falta de restricción en manipulación de la válvula V-036/016) - Mayor flujo de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución en el tiempo de residencia en cada plato, generando menor contacto líquido-vapor - Riesgo de arrastre - Aumento de la presión de la columna por inundación en el fondo 	Parada de emergencia (Boton rojo), bloqueo de bombas de suministro			6C	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza para verificar el estado de las válvulas de servicio - Regular flujo de salida de la bomba (ajustar presión)
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Falla en el suministro de la bomba - Necesidad de apertura en la entrada (falta de restricción en manipulación de la válvula V-036/016) - Fuga, obstrucción o rotura de una sección de la tubería que 	<ul style="list-style-type: none"> - Perdida de eficiencia en la operación de la columna - Menor producto de destilación en fondos y cimbras - Desgaste del equipo - Interrupción del proceso de producción debido a fallos en los 			2		3

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica						P&ID	Figura 3
Nodo	C-101						Fecha	31/05/2022
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Alimentación)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		conduce el fluido de alimentación	equipos y derrame de sustancias					
MÁS	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de presión debido a la expansión del vapor o líquido en la columna -Incrustaciones localizadas en los intercambiadores precalentadores HE-101/102 - Aumento descontrolado en el fluido de servicio en el intercambiador de calor HE-101/102 el cual funciona como precalentador 	<ul style="list-style-type: none"> -Variación de las condiciones óptimas de operación - Mal funcionamiento de la columna - Perdida de eficiencia en la operación de la columna 	Indicador de temperatura situado en la columna	2	2	4B	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo a los indicadores de temperatura situados en la columna - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza para verificar el estado de tubería y carcasa en el intercambiador de calor HE-101/102 - Implementar alarmas por alta temperatura (TAH)

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica				P&ID	Figura 3		
Nodo	C-101				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Alimentación)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> -Flujo excesivo de alimentación a la columna - Fallas en el intercambiador de calor por ensuciamiento -Falta de control en el suministro de vapor de servicio en el intercambiador HE-101/102 	<ul style="list-style-type: none"> -Variación de las condiciones óptimas de operación - Mal funcionamiento de la columna - Perdida de eficiencia en la operación de la columna - Mayor gasto energético 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo a los indicadores de temperatura situados en la columna - Implementar un indicador de flujo a la entrada de la columna - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza para verificar el estado de tubería y carcasa en el intercambiador de calor HE-101/102 - Implementar alarmas por baja temperatura (TAL)
MÁS	Presión	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la caída de presión en el intercambiador de calor (precalentador alimento de la columna HE-101/102) 	<ul style="list-style-type: none"> - Mal funcionamiento de la columna 	Indicador de presión situado en la columna	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo a los indicadores de presión situados en la columna

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica				P&ID	Figura 3		
Nodo	C-101				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Alimentación)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		<ul style="list-style-type: none"> -Variación de la temperatura óptima a la que ingresa el fluido de proceso - Mayor presión del líquido en la salida de la bomba. - Obstrucción en las válvulas V-036/016 	<ul style="list-style-type: none"> -Formación de espuma en los sumideros de la columna - Desgaste del equipo por sobrepresión, posibilidad de explosión en zona localizada de la columna -Variación de las condiciones óptimas de operación - Pérdida de eficiencia en la operación de la columna 					<ul style="list-style-type: none"> - Implementar alarmas por alta presión (PAH) - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza para verificar el estado de tubería y carcasa en el intercambiador de calor HE-101/102 -Implementación de válvulas de alivio o disco de rotura para liberar presión y evitar explosión en alguna zona del equipo
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de la caída de presión en el intercambiador de calor (precalentador alimento de la columna HE-101/102) 	<ul style="list-style-type: none"> -Variación de las condiciones óptimas de operación 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo a los indicadores de presión situados en la columna

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica				P&ID	Figura 3		
Nodo	C-101				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Alimentación)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Varación de la temperatura óptima a la que se lleva el fluido de proceso - Menor presión del líquido en la salida de la bomba.	- Perdida de eficiencia en la operación de la columna - Mal funcionamiento de la columna					- Implementar alarmas por baja presión (PAL) -Realizar verificación de la presión en la bomba - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza para verificar el estado de tubería y carcasa en el intercambiador de calor HE-101/102

Tabla 29. HAZOP Columna de destilación - Nodo C-101 (Cima)

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica							
Nodo	C-101				P&ID	Figura 3		
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Cima)				Fecha	31/05/2022		
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
NO	Flujo	<ul style="list-style-type: none"> - Obstrucción en las válvulas de reflujo V-096/099 - Avería o posible falla en la bomba de suministro de reflujo - Fuga, obstrucción o rotura total de una sección de la tubería que conduce el destilado - Falla en el rotámetro (indicador de flujo) 	<ul style="list-style-type: none"> - Posible aumento de la temperatura de la columna - Mayor demanda de alimentación en la columna - Perdida de eficiencia en la operación de la columna - Parada de emergencia 	Válvulas de apertura y cierre de suministro	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo al indicador de flujo (rotámetro) - Implementar un indicador de flujo en la tuberías del reflujo - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza en las válvulas reflujo V-096/099 y en las tuberías - Realizar mantenimiento y verificación a la bomba de suministro de reflujo
		<ul style="list-style-type: none"> - Flujo de alimentación a la columna demasiado alto - Variación de la relación de reflujo 	<ul style="list-style-type: none"> - Posible disminución de la temperatura de la columna - Riesgo de inundación en la columna 					<ul style="list-style-type: none"> - Verificar que la relación de reflujo sea la adecuada para el proceso - Disminuir la cantidad de alimentación

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica				P&ID	Figura 3		
Nodo	C-101				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Cima)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Falta de restricción en manipulación de las válvula V-096/099 (demasiada abierta) - Falla en el rotámetro (indicador de flujo)	- Perdida de eficiencia en la operación de la columna -Dificultad en el contacto entre las fases del proceso	Indicador de flujo situado en la columna				- Realizar mantenimiento preventivo y limpieza en las válvulas reflujo V-096/099 - Mantenimiento preventivo al indicador de flujo (rotámetro)
MENOS		- Reflujo en la columna muy alto -Falta de restricción en manipulación de las válvula V-096/099 (demasiada cerrada)	- Perdida de eficiencia en la operación de la columna - Dificultad en el proceso de separación y afectación en la pureza del producto deseado - Mayor demanda de alimentación en la columna - Desgaste del equipo		2	3	6C	- Aumentar la cantidad de alimentación - Verificar que la relación de reflujo sea la adecuada para el proceso - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza en las válvulas reflujo V-096/099

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica						P&ID	Figura 3
Nodo	C-101						Fecha	31/05/2022
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Cima)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Falla en el rotámetro (indicador de flujo)						- Mantenimiento preventivo al indicador de flujo (rotámetro)
MÁS	Temperatura	- Aumento de presión debido a la expansión del vapor o líquido en la columna - La temperatura de rectificación en la columna es alta - Aumento descontrolado en el flujo de destilado - Es demasiado bajo el flujo de reflujo	- Riesgo de sobrepresión en la columna - Pérdida de eficiencia en la operación de la columna - Dificultad en el proceso de separación y afectación en la pureza del producto deseado - Desgaste del equipo	Indicador de temperatura situado en la columna	2	3	6C	- Mantenimiento preventivo al indicador de temperatura - Verificar el indicador de presión en la cima de la columna - Realizar mantenimiento y verificación a la bomba de suministro de reflujo - Verificar que la relación de reflujo sea la adecuada para el proceso
MENOS		- Disminución de presión repentina	- Pérdida de eficiencia en la operación de la columna		2	3	6C	- Mantenimiento preventivo al indicador de temperatura

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica							
Nodo	C-101							
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Cima)				P&ID	Figura 3		
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna				Fecha	31/05/2022		
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		<ul style="list-style-type: none"> - Ebullición insuficiente en la columna - Sobreenfriamiento del condensador 	<ul style="list-style-type: none"> - Se presenta el riesgo de goteo - Falla en el proceso de separación y afectación en la pureza del producto deseado - Parada del sistema 					<ul style="list-style-type: none"> - Verificar el indicador de presión en la cima de la columna - Verificar el adecuado funcionamiento del condensador
MÁS	Presión	<ul style="list-style-type: none"> - Mal funcionamiento del condensador de la columna - Aumento de temperatura repentino - Obstrucción en las válvulas de reflujo V-096/099 	<ul style="list-style-type: none"> - Perdida de eficiencia en la operación de la columna - Riesgo de inundación en la columna - Dificultad en el proceso de separación y afectación en la pureza del producto deseado 	<p>Indicador de presión situado en la columna</p> <p>Válvulas de apertura y cierre de suministro</p>	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo al indicador de presión - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza en el condensador - Verificar el indicador de temperatura en la cima de la columna - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza en las válvulas reflujo V-096/099

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica						P&ID	Figura 3
Nodo	C-101						Fecha	31/05/2022
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Cima)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Falla en el indicador de presión - Disminución de temperatura repentino - Obstrucción en las válvulas de reflujo V-096/099 	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de eficiencia en la operación de la columna - Dificultad en el proceso de separación y afectación en el reflujo - Riesgo de implosión en la columna 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo al indicador de presión - Verificar el indicador de temperatura en la cima de la columna - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza en las válvulas reflujo V-096/099
MENOS	Composición	<ul style="list-style-type: none"> - Se presentan fallas en el condensador - La relación de reflujo utilizada es inadecuada 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad en el proceso de separación y afectación en la pureza del producto deseado 	Válvulas de apertura y cierre de suministro	2	2	4B	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar indicador de flujo en la corriente del condensador y del rehervidor

Tabla 30. HAZOP Columna de destilación - Nodo C-101 (Fondos)

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica							
Nodo	C-101							
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Fondos)				P&ID	Figura 3		
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
NO	Flujo	<ul style="list-style-type: none"> -Falla de la columna de destilación -Rotura total de tubería - Fuga en alguna línea del rehervidor - No se realiza carga previa en el rehervidor -Apertura o escape de flujo en las válvulas de purga y calibración del rehervidor (V-164/165) 	<ul style="list-style-type: none"> - Parada de emergencia - Sobrecalentamiento del rehervidor -Posibles derrames de reactivo del proceso - Riesgo de contaminación - Mal funcionamiento en la columna - Desgaste de los equipos 	<ul style="list-style-type: none"> Válvulas de apertura y cierre de suministro de proceso 	2	4	8D	<ul style="list-style-type: none"> -Realizar mantenimiento preventivo a la columna para evitar afectaciones - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza en el rehervidor - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza en las válvulas reflujo V-098/118 y en las tuberías - Implementar un indicador de flujo a en la entrada que conecta al rehervidor desde el fondo de la columna
MÁS		<ul style="list-style-type: none"> - Cierre u obstrucción en válvula de suministro de la columna al rehervidor (V-097) 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor demanda de fluido de servicio de calentamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Parada de emergencia (Boton rojo), bloqueo de bombas de suministro 	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> -Implementar automatización de control de flujo mediante valvulas de control - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza en el rehervidor

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica							
Nodo	C-101							
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Fondos)				P&ID	Figura 3		
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
		-Falta de restricción en manipulación de las válvula V-096/099 (demasiada abierta)	-Sobrecarga en los equipos que puede generar daños mecánicos -Variación de las condiciones óptimas de operación, destilado fuera de la composición deseada					-Realizar mantenimiento preventivo a la columna para evitar afectciones - Implementar un indicador de flujo a en la entrada que conecta al rehervidor desde el fondo de la columna
MENOS		-Problemas en el rehervidor -Obstrucción de tubería en en el reflujo del rehervidor -Falta de restricción en manipulación de las válvula V-118 (demasiada cerrada)	-Sobrecalentamiento del rehervidor -Menor flujo de vapor -Dificultad en el proceso de separación y afectación en la pureza del producto deseado -Variación de las condiciones óptimas de operación, destilado fuera de la composición deseada		2	2	4B	- Realizar mantenimiento preventivo y limpieza en el rehervidor -Implementar automatización de control de flujo mediante valvulas de control - Implementar un indicador de flujo a en la entrada que conecta al rehervidor desde el fondo de la columna

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica							
Nodo	C-101							
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Fondos)				P&ID	Figura 3		
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna				Fecha	31/05/2022		
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Apertura o escape de flujo en las válvulas de purga y calibración del rehervidor (V-164/165)	- Mayor consumo energético -Composición no deseada en los productos de fondo					- Verificar que la relación de reflujo sea la adecuada para el proceso
MÁS	Temperatura	- Aumento en los tiempos de ebullición -Flujo de alimentación alto - Gran suministro de vapor en el rehervidor	- Perdida de eficiencia en la operación de la columna - Dificultad en el proceso de separación y afectación en la pureza del producto deseado -Disminución en el contacto entre líquido-vapor en el proceso - Mayor desgaste en partes del equipo y rehervidor	Indicador de temperatura situado en la columna y rehervidor	2	3	6C	- Mantenimiento preventivo al indicador de temperatura - Verificar que la relación de reflujo sea la adecuada para el proceso - Realizar un adecuado control de flujo en la recirculación al fondo de la columna y en la alimentación -Regular el flujo de vapor de servicio en el rehervidor con el fin de regular la temperatura

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica							
Nodo	C-101							
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Fondos)				P&ID	Figura 3		
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Suministro deficiente de vapor en el rehervidor 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor obtención de producto de destilado en cimas - Mayor demanda de flujo de servicio en el rehervidor 	Válvulas de apertura y cierre de suministro	2	2	4B	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar el indicador de presión en el fondo de la columna y en el rehervidor - Mantenimiento preventivo al indicador de temperatura - Verificar que la relación de reflujo sea la adecuada para el proceso - Regular el flujo de vapor de servicio en el rehervidor con el fin de regular la temperatura - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza en el rehervidor
		<ul style="list-style-type: none"> - Incrustaciones o ensuciamiento en los tubos del rehervidor - Obstrucción o rotura de tubería en el rehervidor - Ebullición insuficiente (bajo nivel en la columna) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de eficiencia en la operación de la columna - Presión diferencial en la columna baja - Mayor consumo energético en la operación de la columna 					
MÁS	Presión	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento del nivel en la columna - Obstrucción en las válvulas de recirculación V-097/118 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor desgaste del equipo - Riesgo de fuga o rotura de tubería de flujo de proceso 	Indicador de presión situado en la columna	2	4	8D	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar mantenimiento preventivo y limpieza en el rehervidor - Implementar alarmas por baja presión (PAL)

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica							
Nodo	C-101							
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Fondos)				P&ID	Figura 3		
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna							
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
		- Aumento deliverado en la carga de alimento a la columna	- Desgaste del equipo por sobrepresión, posibilidad de explosión en zona localizada de la columna -Variación de las condiciones óptimas de operación					- Mantenimiento preventivo a los indicadores de presión situados en la columna
MENOS		-Fuga de flujo de servicio (Vapor) en el rehervidor - Insuficiencia en la ebullición -Fuga o rotura de tubería que permite el escape del flujo en el proceso	-Variación de las condiciones óptimas de operación - Riesgo de inundación en la columna - Pérdida de eficiencia en la operación de la columna - Mal funcionamiento de la columna	Válvulas de apertura y cierre de suministro	2	3	6C	- Mantenimiento preventivo a los indicadores de presión situados en la columna - Implementar alarmas por alta presión (PAH) -Regular el flujo de vapor de servicio en el rehervidor con el fin de regular la temperatura
MÁS	Composición	- Pérdidas de flujo por deterioro o rotura en tubos del rehervidor	-Variación de las condiciones óptimas de operación	Válvulas de apertura y cierre de suministro	2	2	4B	- Realizar un adecuado control de flujo en el

Proyecto	Columna de destilación - modo de operación destilación simple y destilación azeotrópica	P&ID	Figura 3
Nodo	C-101	Fecha	31/05/2022
Descripción del nodo	Columna de destilación del centro de procesos (Fondos)		
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la columna		

<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		<ul style="list-style-type: none"> - Contaminación del flujo de proceso - Procesos de control de composición deficientes 	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de pureza del producto en cimas - Pérdida de eficiencia en la operación de la columna 					rehervidor (suministro-recirculación)
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> -Fugas en la columna -Mal funcionamiento del intercambiador de calor 	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de producto - Pérdida de eficiencia en la operación de la columna 					<ul style="list-style-type: none"> -Inspecciones regulares en la columna y sus equipos para detectar fugas - Realizar control según especificación del producto de destilado deseado.

Tabla 31. HAZOP Columna de absorción - Nodo TK-201

Proyecto		Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID		Figura 5
Nodo		TK-201				Fecha		31/05/2022
Descripción del nodo		Tanque de solvente fresco						
Intención del nodo		No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)						
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración - Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
NO	Flujo	-No se realiza carga del solvente fresco por parte del encargado - No se realiza recirculación del solvente recolectado en el tanque	-Imposibilidad en la operación de absorción debido a falta de solvente ingresado a la columna	Indicador de nivel situado en el tanque	2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la carga del solvente en el tanque - Verificar que la válvula de recirculación HV-245 se encuentre abierta
MÁS		-Se excede la carga del solvente fresco al tanque - No se controla el flujo de la corriente de recirculación del solvente recuperado	-Derrame del solvente si se supera el volumen de diseño - Sobrepresión en la tubería debido al flujo excesivo en su interior		2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la carga del solvente en el tanque -Abrir válvula de purga para regular el nivel del tanque - Implementar un indicador de flujo en la tubería referente a la recirculación del solvente
MENOS		-Apertura de válvulas V-03/04			2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID	Figura 5		
Nodo	TK-201				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Tanque de solvente fresco							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		<ul style="list-style-type: none"> -Obstrucción en válvulas de alimentación y recirculación HV-202/245 -Ruptura o fuga en tubería - El flujo de la corriente de recirculación del solvente es bajo 	<ul style="list-style-type: none"> -Alimentación insuficiente de solvente a la columna de absorción -Riesgo de sobrecalentamiento en el motor de la bomba de alimentación y posible ruptura de eje 					<ul style="list-style-type: none"> carga del solvente en el tanque - Realizar verificación/limpieza en tubería y válvulas de carga y descarga -Verificar que las válvulas de purga y alimentación a la columna esten cerradas - Implementar un indicador de flujo en la tubería referente a la recirculación del solvente
MÁS	Nivel	<ul style="list-style-type: none"> -No se realiza regulación de nivel con las válvulas V-202/209/245 -Acumulación del solvente por obstrucción en tubería 	<ul style="list-style-type: none"> - Derrame del solvente por rebosar el volumen máximo - Inundación de equipos por rebose no diseñados para soportar líquido 	-Indicador de nivel situado en el tanque	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar verificación/limpieza en tubería y válvulas de carga y descarga -Mantenimiento preventivo al sensor de nivel

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID	Figura 5		
Nodo	TK-201				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Tanque de solvente fresco							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Válvulas de control CV-204/203 (en fondo) posición cerrada	-Variación de las condiciones óptimas de operación					-Implementar alarmas por alto nivel (LAH)
MENOS		-Falla en el sensor de nivel -No se realiza regulación de nivel con las válvulas de entrada HV-202 -Apertura de válvulas V-03/04 -Obstrucción en válvulas de control (en fondo) posición abierta	-Disminución del flujo de salida que alimenta a la columna -Variación de las condiciones óptimas de operación -Cavitación del sistema de bombeo de solvente, conectado a los fondos del tanque - El tanque puede quedar totalmente vacío quedandose sin fase líquida, afectando los conductos y equipos que no están diseñados para el funcionamiento en seco.	-Indicador de nivel situado en el tanque	2	3	6C	-Implementar alarmas por bajo nivel (LAL) -Verificar que las válvulas de purga y alimentación a la columna estén cerradas (V-03/04) -Mantenimiento preventivo al sensor de nivel - Realizar verificación/limpieza en tubería y válvulas de carga y descarga
MÁS	Presión	- Venteo inadecuado del	-Sobrepresión en el tanque generando pérdida de	- Válvula de alivio de presión	2	3	6C	- Implementar indicador de presión en el tanque

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID	Figura 5		
Nodo	TK-201				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Tanque de solvente fresco							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		aire o vapor durante el llenado - Falla en la válvula de alivio SV-201	contención, ruptura de los sellos y ruptura de tuberías - Mayor desgaste en el equipo -Variación de las condiciones óptimas de operación					-Mantenimiento preventivo al indicador de nivel - Realizar verificación/limpieza en tuberías y válvula de alivio
MENOS		- Apertura incorrecta de la válvula de alivio - Bloqueo de bombas o líneas de succión - Bloqueo de venteo durante el vaciado	-Cavitación del sistema de bombeo de reactivo, conectado a los fondos del tanque - Riesgo de implosión en el tanque -Variación de las condiciones óptimas de operación	- Válvula de alivio de presión	2	3	6C	- Implementar indicador de presión en el tanque -Mantenimiento preventivo al indicador de presión - Realizar verificación/limpieza en tuberías y válvula de alivio
MÁS	Temperatura		- Mayor desgaste en el equipo	- Indicador de temperatura	2	2	4B	

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID	Figura 5		
Nodo	TK-201				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Tanque de solvente fresco							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Fallo en el sistema de enfriamiento - Aumento de temperatura repentino debido a la naturaleza del solvente	-Cambios en las propiedades del solvente -Variación de las condiciones óptimas de operación	situado en el tanque				- Implementar alarmas por alta temperatura (TAH) - Mantenimiento preventivo al indicador de temperatura
MENOS		-Fallo en el sistema de calefacción - Disminución de temperatura repentino debido a la naturaleza del solvente	-Reducción en la eficiencia de absorción - Generación de cristalizaciones no deseadas -Variación de las condiciones óptimas de operación		2	2	4B	- Implementar alarmas por baja temperatura (TAL) - Mantenimiento preventivo al indicador de temperatura

Tabla 32. HAZOP Columna de absorción - Nodo compresor y humidificador

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID	Figura 5		
Nodo	Compresor y humidificador de aire				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Compresor de paletas rotatorias y columna humidificadora del compuesto que será absorbido							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Temperatura	-Fallo en el sistema de humidificación -Fallo en el sistema de enfriamiento	-Cambios en las propiedades de aire humedo -Riesgo de daño en el humidificador -Disminución en la eficiencia del proceso para generar la absorción	Indicador de temperatura situado a la salida del compresor	2	2	4B	- Implementar un indicador de temperatura a la entrada del compresor - Implementar alarma por alta temperatura (TAH)
Menos		-Fallo en el sistema de calefacción -Fallos en el humidificador que afectan la temperatura del aire humedo	-Reducción en la capacidad de absorción -Condensación en el humidificador -Riesgo de congelación del sistema en condiciones muy frías		2	1	2A	-Monitorear el sistema de calefacción -Inspeccionar el sistema de humidificación -Implementar sistemas de alarma de temperatura
NO	Flujo	- Se encuentran cerradas las válvulas V-20/21 evitando el flujo de aire proveniente del compresor - No hay flujo de entrada de agua o algún compuesto	-Imposibilidad en la operación de humidificar el aire debido a falta de flujo - Mayor desgaste en el equipo (sobrecalentamiento)	Válvulas de apertura y cierre de suministro	2	3	6C	- Verificar que las válvulas de alimentación se encuentren abiertas - Realizar verificación/limpieza en tuberías y válvulas

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID	Figura 5		
Nodo	Compresor y humidificador de aire				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Compresor de paletas rotatorias y columna humidificadora del compuesto que será absorbido							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		diferente para emplearse en la absorción(V-26/24) - Obstrucción de las tuberías	-Desperdicio de flujo de servicio de vapor de agua para humidificar el aire seco - No será posible dirigir el flujo de aire húmedo a la columna de absorción					- Verificar que ingrese el flujo de agua u otro compuesto diferente al equipo - Implementar un indicador de flujo en las corrientes de entrada al equipo
MÁS		- Mayor presión del aire a la salida del compresor - Necesidad de reducción en la entrada (falta de restricción en manipulación de la válvula V-20/21). - Mayor flujo de alimentación de agua u otro compuesto al humidificador	- Mayor consumo de flujo de agua de servicio para humidificar o saturar el aire seco -Inundación de la columna debido a un alto flujo de aire húmedo a contracorriente en su interior - Mayor desgaste en el equipo	Indicadores de humedad Parada del proceso (Botón rojo)	2	3	6C	- Implementar un indicador de flujo en las corrientes de entrada al equipo - Verificar el indicador de presión a la salida del compresor - Verificar que la relación entre el aire y el vapor de servicio a ingresar sea la adecuada

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID	Figura 5		
Nodo	Compresor y humidificador de aire				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Compresor de paletas rotatorias y columna humidificadora del compuesto que será absorbido							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS			- Variación en el porcentaje óptimo de humedad en el aire humedo que alimenta el proceso					- Realizar seguimiento de la humedad mediante los indicadores de humedad para así ajustar flujos
		- Menor presión del aire a la salida del compresor - Necesidad de apertura en la entrada (falta de restricción en manipulación de la válvula V-20/21). - Menor flujo de alimentación de agua u otro compuesto al humidificador	- Variación en el porcentaje óptimo de húmedad en el aire humedo que alimenta el proceso - Perdida de eficiencia en la absorción (menor flujo de gas) - Escape de flujo de aire humedo o gas suministrado a la torre de absorción - Inundación en la columna debido a que el solvente cae por gravedad al fondo de la columna y se acumula		2	3	6C	- Realizar seguimiento de la humedad mediante los indicadores de humedad para así ajustar flujos - Verificar el indicador de presión a la salida del compresor - Verificar que la relación entre el aire y el vapor de servicio a ingresar sea la adecuada - Implementar un indicador de flujo en las corrientes de entrada al equipo

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID	Figura 5		
Nodo	Compresor y humidificador de aire				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Compresor de paletas rotatorias y columna humidificadora del compuesto que será absorbido							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Presión	<ul style="list-style-type: none"> - Falla en la válvula de alivio V-25 - Venteo inadecuado del aire o vapor durante el llenado 	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrepresión en el tanque generando pérdida de contención, ruptura de los sellos y ruptura de tuberías - Mayor desgaste en el equipo -Variación de las condiciones óptimas de operación 	<ul style="list-style-type: none"> - Indicador de presión situado en la tubería 	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar alarmas por alta presión (PAH) -Mantenimiento preventivo al indicador de nivel - Realizar verificación/limpieza en tuberías y válvula de alivio
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Disminución repentina de la presión - Bloqueo de bombas o líneas de succión - Bloqueo de venteo durante el vaciado 	<ul style="list-style-type: none"> -Dificultad en el proceso de transferencia de masa de vapor de agua en el aire seco - Pérdida de eficiencia en la absorción (menor arrastre) - Problemas en la incorporación del vapor de agua en el aire seco -Variación de las condiciones óptimas de operación 	<ul style="list-style-type: none"> - Válvula de alivio de presión V-225 	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar alarmas por baja presión (PAL) -Mantenimiento preventivo al indicador de presión - Realizar verificación/limpieza en tuberías y válvula de alivio

Tabla 33. HAZOP Columna de absorción - Nodo TK-203

Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración - Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
Proyecto Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases Nodo TK-203 Descripción del nodo Tanque de solvente gastado Intención del nodo No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L) P&ID Figura 5 Fecha 31/05/2022								
NO	Flujo	-Obstrucción en las líneas de salida	-Imposibilidad en la operación de absorción al no haber recirculación de solvente gastado	-Medidor de flujo	2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas para evidenciar que se realice la descarga desde la columna del solvente gastado
		-Cierre total de la válvula V-234 y apertura de la válvula V-233	-Falla en sistema de la trampa de vacío debido a la falta de gases condensables					-Realizar que la válvula V-234 se encuentre abierta y la relación de flujo con la válvula de purga V-233 sea adecuada
		-Fallo en la bomba de recirculación	-Riesgo de sobrecalentamiento en el motor de la bomba de retorno de solvente y posible ruptura de eje -Detención del proceso					
MÁS		-Aumento en la velocidad de la bomba	-Derrame del solvente si se supera el volumen de diseño (Pérdida por contención)		2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la descarga del solvente en el tanque

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID	Figura 5		
Nodo	TK-203				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Tanque de solvente gastado							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Apertura de las válvulas de entrada	-Riesgo de fuga					-Abrir válvula de purga V-233 para regular el nivel del tanque - Establecer límites de flujo
MENOS		-Obstrucción en la tubería o la válvula de alimentación V-234 -Fallo en la bomba de recirculación - El flujo de la corriente de alimentación del solvente gastado es bajo	-Alimentación insuficiente de solvente a la columna de absorción - No es posible realizar la recirculación del solvente gastado en el proceso		2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la descarga del solvente en el tanque - Realizar verificación/limpieza en tubería y válvulas de carga y descarga -Verificar que las válvulas de purga y alimentación a la columna estén cerradas (V-234/233)
MÁS	Nivel	-No se realiza regulación de nivel con las válvulas V-239/234	- Derrame del solvente por rebosar el volumen máximo	-Indicador de nivel ubicado en el tanque	5	5	25E	- Realizar verificación/limpieza en tubería y válvulas de carga y descarga

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID	Figura 5		
Nodo	TK-203				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Tanque de solvente gastado							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Acumulación del solvente por obstrucción en tubería o válvulas de control (en fondo) posición cerrada	- Inundación de equipos por rebose no diseñados para soportar líquido -Puede haber fuga del solvente (monoetanolamina), el cual a temperaturas superiores a 85°C emite vapores que al reaccionar con una fuente de ignición pueden generar una explosión					-Mantenimiento preventivo al sensor de nivel -Revisar las condiciones del proceso para determinar la temperatura a la que opera el solvente en el tanque, si la temperatura se excede, hay que modificar el tanque para implementar un sistema de control de fuga y derrames. -Implementar alarmas por alto nivel (LAH)
MENOS		-Falla en el sensor de nivel -No se realiza regulación de nivel con las válvulas de entrada V-34	-Disminución del flujo del solvente recirculado al TK-101 -Variación de las condiciones óptimas de operación -Cavitación del sistema de bombeo de retorno del solvente, conectado a los fondos del tanque		2	3	6C	-Implementar alarmas por bajo nivel (LAL) -Mantenimiento preventivo al sensor de nivel

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases					P&ID	Figura 5	
Nodo	TK-203					Fecha	31/05/2022	
Descripción del nodo	Tanque de solvente gastado							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Obstrucción en las válvulas de control (en fondo) posición abierta	- El tanque puede quedar totalmente vacío quedándose sin fase líquida, afectando los conductos y equipos que no están diseñados para el funcionamiento en seco.					- Realizar verificación/limpieza en tubería y válvulas de carga y descarga
MÁS	Presión	- Falla en la válvula de alivio V-236 - Afectaciones en el funcionamiento de la trampa de vacío	-Sobrepresión en el tanque generando pérdida de contención, ruptura de los sellos y ruptura de tuberías - Mayor desgaste en el equipo -Variación de las condiciones óptimas de operación	- Válvula de alivio de presión V-236	2	3	6C	- Implementar un indicador de presión en el tanque TK-203 - Implementar alarmas por alta presión (PAH) - Realizar verificación/limpieza en tuberías y válvula de alivio
MENOS		- Bloqueo de bombas o líneas de succión	-Cavitación del sistema de bombeo del solvente recuperado, conectado a los fondos del tanque - Riesgo de implosión en el tanque		2	2	4B	- Implementar un indicador de presión en el tanque TK-203 - Implementar alarmas por baja presión (PAL)

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID	Figura 5		
Nodo	TK-203				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Tanque de solvente gastado							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Afectaciones en el funcionamiento de la trampa de vacío	-Variación de las condiciones óptimas de operación					- Realizar verificación/limpieza en tuberías y válvula de alivio
MÁS	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Falla en el indicador de temperatura - Temperatura de transferencia de flujo de servicio alta -Fallo en la bomba de distribución P-201 - Aumento de temperatura repentino debido 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor desgaste en el equipo -Deterioro del solvente - La bomba soporta una temperatura de fluido máxima de 40°C , y al circular el solvente a una temperatura mayor se va a generar rotura del sello de la bomba, generando una pérdida de contención del fluido, que puede ocasionar explosión, nubes de vapor, piscina de fuego, chorro de fuego y dispersión de contaminantes. -Variación de las condiciones óptimas de operación 	- Indicador de temperatura situado en el tanque	5	5	25E	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar cambio de la bomba debido a que en la columna no se va a realizar un solo proceso específico, y por lo general se requiere de fluidos a temperaturas mayores a 40°C, siendo este un problema catastrófico que afecta la salud de los trabajadores, la infraestructura y al medio ambiente, pudiendo generar pérdidas irreparables. - Implementar alarmas por alta temperatura (TAH) - Mantenimiento preventivo al indicador de temperatura

Proyecto	Columna de absorción empacada - modo de operación absorción de gases				P&ID	Figura 5		
Nodo	TK-203				Fecha	31/05/2022		
Descripción del nodo	Tanque de solvente gastado							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño (50L)							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración - Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		a la naturaleza del solvente						
MENOS		- Falla en el indicador de temperatura - Temperatura de transferencia de flujo de servicio baja - Disminución de temperatura repentino debido a la naturaleza del solvente	-Disminución en la capacidadde absorción - Generación de cristalizaciones no deseadas		2	2	4B	- Implementar alarmas por baja temperatura (TAL)
			-Variación de las condiciones óptimas de operación					- Mantenimiento preventivo al indicador de temperatura

Tabla 34. HAZOP Secador de bandejas - Nodo TK-401

Proyecto	Secador de bandejas SB500				P&ID	Figura 7
Nodo	TK-401					

Descripción del nodo		Reservorio de agua			Fecha		23/08/2023	
Intención del nodo		No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
NO	Flujo	- Válvula cerrada HV-407 - Fallo en la bomba de agua.P-401	- Secado inadecuado al no tener suficiente humedad en el equipo -Sobrecalentamiento del secador - Desgaste del equipo	Sensor de nivel ubicado en el reservorio	2	1	2A	- Inspeccionar el reservorio para detectar posibles fugas - Inspecciones en la bomba para detectar fallas - Implementar un sistema de respaldo para la circulación de agua
MÁS		-Válvula abierta incorrectamente. HV-407 - Fuga en las tuberías de suministro	- El proceso de secado no se llevará a cabo adecuadamente -Humedad excesiva en el ambiente de secado -Más consumo de energía - Daño en el equipo por acumulación de humedad		2	2	4B	- Implementar un sensor de nivel que mida los rangos de capacidad del agua - Inspeccionar el reservorio para detectar posibles fugas - Implementar sistemas de alarma
MENOS		- Válvula parcialmente cerrada. HV-407	- El proceso de secado no será eficiente		2	1	2A	- Implementar un sensor de nivel que mida los rangos de capacidad del agua

		<ul style="list-style-type: none"> - Obstrucción en las tuberías que suministran el agua. - Fallo en la bomba de agua P-401 	<ul style="list-style-type: none"> -Mayor tiempo de secado - Deshidratación incompleta del producto -Aumento en la temperatura para secar el producto 				<ul style="list-style-type: none"> - Inspeccionar el reservorio para detectar posibles fugas - Implementar sistemas de alarma
--	--	---	--	--	--	--	---

Tabla 35. HAZOP Secador de bandejas - Nodo DC-401

Proyecto		Secador de bandejas SB500					P&ID	Figura 7
Nodo		DC-401					Fecha	23/08/2023
Descripción del nodo		Cámara de secado						
Intención del nodo		Límite a las condiciones del proceso						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Fallas en los sistemas de control TI-405 - Aumento en la carga del material -Conductos de ventilación obstruidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecalentamiento de los productos -Alteración de los productos -Mayor consumo energético -Daños en el equipo 	Sensor de temperatura	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> -Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control - Implementar límites de temperatura en el sistema de control.

MENOS	- Fallas en los sistemas de control TI-405	- El proceso de secado no será eficiente	2	2	4A	- Calibrar los sensores de temperatura
	- Conductos de ventilación obstruidos.	- Pérdida en la calidad de producto				- Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso.
	- Insuficiente aislamiento térmico en las paredes de la cámara	- Pérdida de calor hacia el entorno				- Mantenimiento de los sistemas de control
	- Problemas en el suministro de energía	- Daños en el equipo				

Tabla 36. HAZOP Secador de bandejas - Nodo AF-401

Proyecto		Secador de bandejas SB500			P&ID		Figura 7	
Nodo		AF-401			Fecha		23/08/2023	
Descripción del nodo		Filtro de aire						
Intención del nodo								
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	F)	I	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
NO	Flujo	- Válvula cerrada HV-401 - Obstrucción en el conducto de salida	- Acumulación de humedad - Afectación en la calidad del producto - Más consumo de energía	Sistema de control de flujo	2	2	4B	- Implementar alarmas de monitoreo del flujo de aire - Realizar mantenimiento preventivo para el sistema de filtrado y extracción de aire.

	-Fallas en el ventilador	- Reducción en la eficiencia del proceso				
MÁS	-Válvula abierta incorrectamente HV-401 - Fallas en los sistemas de control	- El proceso de secado no se llevará a cabo adecuadamente -Desgaste rápido de equipos como el secador y el ventilador -Más consumo de energía	2	3	6C	-Ajuste de las válvulas de entrada - Ajustar el flujo de aire cada que cambian las condiciones del proceso - Implementar sistemas de alarma -Revisión y calibración de los sistemas de medición
MENOS	- Válvula parcialmente cerrada. HV-401 - Fallo en el ventilador - Fuga en las tuberías de suministro	- El proceso de secado no será eficiente -Mayor tiempo de secado - Deshidratación incompleta del producto -Reducción de la eficiencia del proceso	2	2	4B	-Ajuste de las válvulas de entrada - Ajustar el flujo de aire cada que cambian las condiciones del proceso - Implementar sistemas de alarma -Revisión y calibración de los sistemas de medición

Tabla 37. HAZOP Planta de extracción - Nodo TK-301

Proyecto		Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido			P&ID		Figura 9	
Nodo		TK-301			Fecha		03/09/2023	
Descripción del nodo		Tanque del fluido calefactor						
Intención del nodo		Límite a las condiciones del proceso						
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
NO	Flujo	- Válvula cerrada HV-303	- No se puede iniciar el proceso de calentamiento -Sobrecalentamiento del equipo	Indicador de flujo	2	3	6C	- Asegurarse de que el aceite este almacenado en las condiciones que requiere - Implementar un sistema de alarma que notifique cambios en las condicones de presion y temperatura -Implementar un sistema de monitoreo de la condicion de las bombas para detectar desviaciones en el rendimiento - Implementar un sistema de respaldo para la alimentación de aceite
		- Fallo en la bomba de aceite P-301	- Desgaste del equipo					- Realizar verificaciones y calibraciones de los equipos medidores de flujo
MÁS		-Válvula abierta incorrectamente. HV-303 - Cambios en las condiciones del proceso	- Sobrecalentamiento del sistema -Fallos en los sistemas de control		2	3	6C	- Instalar dispositivos de protección de emergencia

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido			P&ID	Figura 9			
Nodo	TK-301			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque del fluido calefactor							
Intención del nodo	Límite a las condiciones del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS		- Fuga en las tuberías de suministro	-Más consumo de energía - Más costos de operación					- Implementar sistemas de alarma -Tener un registro de los flujos de entrada
		- Válvula parcialmente cerrada. HV-303 - Obstrucción en las tuberías que suministran el aceite térmico. - Fallo en la bomba de aceite P-301	- Detención del proceso -Mayor tiempo de extracción - Pérdida de temperatura en el sistema, afectando la eficiencia del proceso		2	3	6C	- Implementar un sensor de nivel que mida los rangos de capacidad del aceite - Implementar un sistema de respaldo que pueda asumir la carga en caso de disminución del flujo. - Implementar sistemas de alarma -Verificar el suministro de aceite al tanque
MÁS	Temperatura	- Fallas en los sistemas de control TI-301 -Sobrecalentamiento del fluido de calefacción	- Sobrecalentamiento de los productos	Sensor de temperatura	5	5	25E	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso.

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido			P&ID	Figura 9		
Nodo	TK-301			Fecha	03/09/2023		
Descripción del nodo	Tanque del fluido calefactor						
Intención del nodo	Límite a las condiciones del proceso						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i> / <i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>						
		-Fallo en la bomba de distribución P-301	-Mayor consumo energético La bomba soporta una temperatura de fluido máxima de 35°C , y el aceite a ser fluido calefactor va a circular a una temperatura mucho mayor, lo cual va a generar rotura del sello de la bomba, generando una				-Realizar una revisión a ver si se puede cambiar el sello de la bomba, de no ser posible hay que reemplazar la bomba debido a que las consecuencias de el derrame de este aceite son catastróficas para la salud de los trabajadores, la infraestructura y el medio ambiente, pudiendo generar pérdidas irreparables. - Mantenimiento de los sistemas de control

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido			P&ID	Figura 9			
Nodo	TK-301			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque del fluido calefactor							
Intención del nodo	Límite a las condiciones del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
			pérdida de contención del aceite, que al ser un fluido combustible puede ocasionar explosión, nubes de vapor, piscina de fuego, chorro de fuego y dispersión de contaminantes. -Daños en el equipo					- Implementar límites de temperatura en el sistema de control.
MENOS		- Fallas en los sistemas de control TI-301	- Disminución en la eficiencia del proceso -Pérdida en la calidad de producto - Mayor consumo de energía		2	2	4A	-Calibrar los sensores de temperatura - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido				P&ID	Figura 9		
Nodo	TK-301				Fecha	03/09/2023		
Descripción del nodo	Tanque del fluido calefactor							
Intención del nodo	Límite a las condiciones del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Problemas en el suministro de energía	-Solidificación de productos -Daños en el equipo					-Implementar sistemas de alarma
MÁS	Nivel	- Fallas en las valvulas de control -Flujo de entrada excesivo	- Desbordamiento del tanque -Sobrepresion en el sistema que puede generar daños en los equipos -Variación en las condiciones óptimas de operación	Indicador de nivel situado en el tanque	2	4	8D	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de nivel en el tanque. - Tener un control del flujo de entrada - Mantenimiento preventivo en los sistemas de control
MENOS			-Agotamiento del suministro de aceite térmico disponible para el proceso					

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido			P&ID	Figura 9			
Nodo	TK-301			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque del fluido calefactor							
Intención del nodo	Límite a las condiciones del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		<ul style="list-style-type: none"> - Fallas en la valvula de control CV-302 -Flujo de entrada insuficiente 	<ul style="list-style-type: none"> -Interrupción del proceso - Succión de aire por la disminución de nivel, generando problemas de cavitación en las bombas -Pérdida en la calidad de producto -Desviación del proceso 					<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo de los sistemas de control - Tener un control del flujo de entrada -Implementar sistemas de alarma
MÁS	Presión	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecalentamiento de aceite - Obstrucción en la válvula de alivio PV-301 	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrepresión en el tanque generando riesgo de ruptura y fugas - Mayor desgaste en el equipo 	Indicador de presión	2	4	8D	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo de los sistemas de control -Inspeccionar la válvula de alivio de presión - Tener un control del flujo de entrada

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido			P&ID	Figura 9			
Nodo	TK-301			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque del fluido calefactor							
Intención del nodo	Límite a las condiciones del proceso							
<i>Desviación</i>								
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
		- Aumento significativo del nivel y/o temperatura en el tanque	-Fugas en las tuberías					-Implementar un control de temperatura para evitar el sobrecalentamiento
MENOS		- Fugas en el tanque	-Succión de aire en el sistema generando problemas de cavitación en las bombas.		2	4	8D	-Mantenimiento preventivo para detectar y prevenir fugas en el sistema -Implementar sistemas detectar disminuciones anormales de presión en el tanque. -Asegurarse de que las entradas de aire esten libres de obstrucciones
		- Bloqueo de bombas o lineas de succión	- Riesgo de implosión en el tanque					
		- Obstrucción de la entrada de aire al tanque	-Interrupción del proceso -Variación de las condiciones óptimas de operación					

Tabla 38. HAZOP Planta de extracción - Nodo R-301

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido							
Nodo	R-301						P&ID	Figura 9
Descripción del nodo	Percolador						Fecha	03/09/2023
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la planta de extracción							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Temperatura	- Fallo en el sistema de calefacción -obstrucción en la tubería de circulación de solvente caliente	- Descomposicion de componentes sensibles presentes en la mezcla sólido-líquido -Alteracion de los productos -Mayor consumo energético -Daños en el equipo	Sensor de temperatura	2	4	8D	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control - Implementar límites de temperatura en el sistema de control.
MENOS		- Fallo en el sistema de calefacción	-Disminución de la eficiencia del proceso de extracción					2

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido							
Nodo	R-301						P&ID	Figura 9
Descripción del nodo	Percolador						Fecha	03/09/2023
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la planta de extracción							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Cambios en el flujo de solvente caliente.	-A bajas temperaturas puede haber un procesamiento incompleto del sólido. - Mayor consumo de energía -Daños en el equipo					- Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control
NO	Flujo	- Fallo en la válvula de control CV-307 -Fallo en la línea de suministro del solvente	- Sobre calentamiento del motor acoplado al agitador -Derrame de solvente que puede ser altamente inflamable exponiendo al personal	Indicador de flujo	2	4	8D	-Mantenimiento preventivo para la bomba de alimentación, válvulas de control, y líneas de suministro de solvente -Implementar sistemas de alarma que detecten el bajo flujo
MÁS		-No se realiza el cálculo adecuado de la proporción de solvente/sólido	- Mayor gasto energético en el concentrador					2

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido							
Nodo	R-301					P&ID	Figura 9	
Descripción del nodo	Percolador					Fecha	03/09/2023	
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la planta de extracción							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Falla en la válvula de control CV-307 - Cambios en la presión de suministro de solvente	- Derrame de solvente (inflamable) posible perdida por contención en el equipo -Saturación del percolador por un aumento significativo del flujo					-Implementar sistemas de alarma que detecten el incremento de flujo
MENOS		-Fallo en la válvula de control CV-307 - Cambios en la presión de suministro de solvente podrían afectar el flujo.	-Disminución de la eficiencia del proceso de extracción -Procesamiento incompleto de los sólidos -Perdida de calidad del producto		2	2	4B	-Implementar un programa de mantenimiento preventivo para las válvulas de control y dispositivos de medición de flujo para prevenir fallos. -Implementar sistemas de alarma que detecten la disminución de flujo

Tabla 39. HAZOP Planta de extracción - Nodo TC-301

Proyecto		Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido						
Nodo		TC-301			P&ID		Figura 9	
Descripción del nodo		Concentrador de extracto			Fecha		03/09/2023	
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la planta de extracción						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
NO	Flujo	- Válvula cerrada HV-312	- Detención del proceso	Indicador de flujo	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar mantenimiento preventivo en bombas y válvulas. - Implementar un sistema de alarma que notifique cambios en las condiciones de flujo - Implementar un sistema de monitoreo de la condición de las bombas para detectar desviaciones en el rendimiento
		- Fallo en la bomba de alimentación	-Sobrecalentamiento del equipo					
MÁS	Flujo	-Obstrucciones en la línea de alimentación	-Pérdida de producto en el concentrador	Indicador de flujo	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar verificaciones y calibraciones de los equipos medidores de flujo - Instalar dispositivos de protección de emergencia
		-Válvula abierta incorrectamente. HV-312	- Sobrecalentamiento del sistema					
MÁS	Flujo	- Cambios en las condiciones del proceso	-Desbordamiento en el equipo	Indicador de flujo	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar verificaciones y calibraciones de los equipos medidores de flujo - Instalar dispositivos de protección de emergencia

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido							
Nodo	TC-301						P&ID	Figura 9
Descripción del nodo	Concentrador de extracto						Fecha	03/09/2023
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la planta de extracción							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Fallos en los sistemas de control	-Afectación en la calidad de producto - Más costos de operación					- Implementar sistemas de alarma -Tener un registro de los flujos de entrada
MENOS		- Válvula parcialmente cerrada. HV-312 - Obstrucción en las tuberías que suministran el aceite térmico. - Fallo en la bomba de aceite P-301	- Detención del proceso -Mayor tiempo de extracción - Pérdida de temperatura en el sistema, afectando la eficiencia del proceso		2	3	6C	- Implementar un sensor de nivel que mida los rangos de capacidad del aceite - Implementar un sistema de respaldo que pueda asumir la carga en caso de disminución del flujo. - Implementar sistemas de alarma -Verificar el suministro de aceite al tanque
MÁS	Temperatura	- Fallas en los sistemas de control TI-303 -Cambios en la fuente de calor	- Sobre calentamiento de los productos -Alteracion de los productos	Sensor de temperatura	2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso.

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido						P&ID	Figura 9
Nodo	TC-301							
Descripción del nodo	Concentrador de extracto						Fecha	03/09/2023
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la planta de extracción							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
			-Daños en el equipo					- Mantenimiento de los sistemas de control - Implementar límites de temperatura en el sistema de control.
MENOS		- Fallas en los sistemas de control TI-303 -Problemas en el suministro de energía	- Disminución en la velocidad y eficiencia del proceso -Variaciones en la calidad de producto - Mayor consumo de energía -Daños en el equipo		2	2	4A	-Calibrar los sensores de temperatura - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control -Implementar sistemas de alarma
MÁS	Presión	- Fallo en la bomba de alimentación P-301	-Sobrepresión generando riesgo de ruptura	Indicador de presión	2	4	8D	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido			P&ID	Figura 9			
Nodo	TC-301			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Concentrador de extracto							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la planta de extracción							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Fallo en el sistema de control de presión PI-301	- Mayor desgaste en el equipo -Variación de las condiciones de operación en el sistema -Fugas en las tuberías					-Inspeccionar las valvulas de alivio - Tener un control del flujo de entrada -Implementar un control de presión para evitar la sobrepresión
MENOS		- Fugas en el tanque - Bloqueo de bombas o líneas de succión -Fallo en el sistema de control de presión	-Despresurización que afecta la eficiencia del proceso -Variación de las condiciones óptimas de operación		2	4	8D	-Mantenimiento preventivo para detectar y prevenir fugas en el sistema -Implementar sistemas de alarma para detectar disminuciones anormales de presión en el tanque.
OTRA					3	2	6B	

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido		
Nodo	TC-301		
Descripción del nodo	Concentrador de extracto	P&ID	Figura 9
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad de la planta de extracción	Fecha	03/09/2023

<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
	Composición	Variaciones en la calidad de la solución de alimentación	Al aumentar la concentración de soluto puede mejorar la eficiencia del proceso El producto final puede estar más o menos concentrado	No se muestra ninguno				<ul style="list-style-type: none"> -Analizar la composición del alimento antes de que ingrese al concentrador -Verificar las temperaturas de operación -Monitorear los cambios en la composición de la solución

Tabla 40. HAZOP Planta de extracción - Nodo E-301

Proyecto		Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido					P&ID	Figura 9
Nodo		E-301					Fecha	03/09/2023
Descripción del nodo		Desflemador						
Intención del nodo		No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Temperatura	- Fallo en el sistema de enfriamiento -Aumento en la carga de alimentación	- Aumento de volatilidad -Reacciones no deseadas -Daños en el equipo	Sensor de temperatura	2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. -Realizar mantenimiento preventivo del sistema de enfriamiento
		- Fallo en el sistema de calefacción	- Disminución en la eficiencia de separación de los componentes -Pérdida en la calidad de producto					-Calibrar los sensores de temperatura - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso.

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido					P&ID	Figura 9	
Nodo	E-301							
Descripción del nodo	Desfleador					Fecha	03/09/2023	
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Reducción en la carga de alimentación	-Daños en el equipo					- Mantenimiento de los sistemas de control -Implementar sistemas de alarma -Realizar mantenimiento preventivo del sistema de calentamiento
MÁS	Nivel	- Fallo en la valvula de salida HV-319	- Derrames en el desfleador	Indicador de nivel situado en el tanque	2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de nivel en el tanque.
		-Flujo de entrada excesivo	-Daños en el equipo -Pérdida en la calidad de producto					- Tener un control del flujo de entrada - Mantenimiento preventivo en los sistemas de control
MENOS		- Fallo en la valvula de entrada HV-315	- Disminución en la eficiencia de separación de los componentes. -Interrupción del proceso					

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido							
Nodo	E-301							P&ID
Descripción del nodo	Desflemador							Fecha
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño							03/09/2023
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Flujo de entrada insuficiente	-Pérdida en la calidad de producto					- Mantenimiento preventivo en los sistemas de control
MÁS	Presión	-Fallo en la válvula HV-319 - Obstrucción en las líneas de salida	-Sobrepresión en la columna que puede generar una explosión - Mayor desgaste en el equipo	Indicador de presión	2	5	10E	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control -Instalar valvulas de alivio de presión - Tener un control del flujo de entrada -Implementar sistemas de alarma
		-Flujo de entrada excesivo	-Pérdida de eficiencia					
MENOS	Presión	- Fallo en la válvula HV-315 - Obstrucción en las líneas de entrada	-Riesgo de vacío en la columna - Disminución en la eficiencia de separación de los componentes	Indicador de presión	2	4	8D	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control -Implementar sistemas de alarma para detectar disminuciones anormales de presión en el tanque.
		- Disminución en el flujo de entrada	-Interrupción del proceso					- Tener un control del flujo de entrada -Instalar valvulas de alivio de presión

Tabla 41. Hazop Planta de extracción - Nodo TK-302/TK-303

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido				P&ID	Figura 9		
Nodo	TK-302/TK-303				Fecha	03/09/2023		
Descripción del nodo	Tanques colectores de solvente							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Temperatura	-Aumento en la carga de solvente	- Sobre calentamiento del solvente -Riesgo de inflamabilidad	Sensor de temperatura	2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso.
		-Fallo en el sistema de enfriamiento	-Daños en el equipo -Perdida en la calidad de producto					-Realizar mantenimiento preventivo del sistema de enfriamiento
MENOS		- Fallo en el sistema de calefacción	-Reducción de la eficiencia del proceso		2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido			P&ID	Figura 9			
Nodo	TK-302/TK-303			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Tanques colectores de solvente							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Cambios en la temperatura del solvente de alimentación -Reducción en la carga de alimentación	-Obstrucción de tuberías y equipos -Pérdida en la calidad de producto -Daños en el equipo					disminuciones de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control -Realizar mantenimiento preventivo del sistema de calentamiento
MÁS	Presión	-Fallo en las válvulas de alivio PV-327, PV-331 - Obstrucción en las líneas de salida -Aumento en la carga de solvente	-Sobrepresión que puede generar explosión - Mayor desgaste en el equipo -Pérdida de eficiencia	Indicador de presión	2	5	10E	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control -Manetinimiento regular de las valvulas de alivio -Implementar sistemas de alarma

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido				P&ID	Figura 9		
Nodo	TK-302/TK-303				Fecha	03/09/2023		
Descripción del nodo	Tanques colectores de solvente							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Fallo en las válvulas HV-329, HV-333 - Obstrucción en las líneas de entrada 	<ul style="list-style-type: none"> - Separación incompleta de componentes. - Interrupción del proceso - Daños en el equipo. 		2	4	8D	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo de los sistemas de control - Implementar sistemas de alarma para detectar disminuciones anormales de presión en el tanque. - Tener un control del flujo de entrada
MÁS	Nivel	<ul style="list-style-type: none"> - Fallo en la valvula de salida HV-319 	<ul style="list-style-type: none"> - Desbordamiento del tanque derramando solventes - Riesgo de contaminación - Daños en el equipo - Pérdida en la calidad de producto 	Indicador de nivel situado en el tanque	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar un sistema de alarma para detectar los aumentos de nivel en el tanque. - Establecer un nivel máximo - Tener un control del flujo de entrada - Mantenimiento preventivo en los sistemas de control
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Flujo de entrada excesivo 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución en la eficiencia de extracción 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar un sistema de alarma para detectar

Proyecto	Planta de Extracción Sólido-Líquido y Líquido Líquido				P&ID	Figura 9		
Nodo	TK-302/TK-303				Fecha	03/09/2023		
Descripción del nodo	Tanques colectores de solvente							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Fallo en las valvulas de entrada HV-329, HV-333. -Flujo de solvente insuficiente	-Interrupción del proceso -Pérdida en la calidad de producto -Reducción de la cantidad de solvente					disminuciones de nivel en el tanque. - Implementar un sistema de control de nivel - Mantenimiento preventivo en los sistemas de control -Tener un control de flujo
OTRA	Composición	-Cambios en la composicion de la alimentación -Contaminación del solvente	-Afectación del producto final -Problemas con la extracción	No se muestra ninguno	2	2	4B	-Monitorear la composición del solvente de entrada -Implementar sistemas de filtración de solvente

Tabla 42. HAZOP Planta térmica - Nodo TK-700

Proyecto	Planta térmica							
Nodo	TK-700					P&ID	Figura 11	
Descripción del nodo	Tanque de salmuera (solución acuosa de sal y agua)/Suavizador de agua					Fecha	03/09/2023	
Intención del nodo	No sobrepasar el 70% de la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Temperatura	- Fallas en los sistemas de control	- Sobre calentamiento de los productos	Sensor de temperatura	2	3	6C	- Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura.
		-Sobrecalentamiento del fluido de calefacción	-Descomposicion de los componentes en la salmuera					- Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso.
MENOS		-Fallo en el sistema de calefacción	-Obstruccion de las tuberias		2	2	4A	- Mantenimiento de los sistemas de control
		-Cambios en el flujo de entrada de salmuera fría	-Disminución en la eficiencia de los intercambiadores de calor					- Implementar límites de temperatura en el sistema de control.
		-Solidificación de productos						- Calibrar los sensores de temperatura
								- Inspecciones regulares y calibración adecuada de los elementos de calefacción y los intercambiadores de calor.
								- Mantenimiento de los sistemas de control

Proyecto		Planta térmica						
Nodo		TK-700					P&ID	Figura 11
Descripción del nodo		Tanque de salmuera (solución acuosa de sal y agua)/Suavizador de agua					Fecha	03/09/2023
Intención del nodo		No sobrepasar el 70% de la capacidad de diseño						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
			-Daños en el equipo					-Implementar sistemas de alarma
MÁS	Nivel	-Flujo de entrada excesivo	- Desbordamiento del tanque -Sobrepresion en el sistema que puede generar daños en los equipos -Succión de aire que afectaría la eficiencia de la bomba de alimentación y el intercambiador de calor.	Indicador de nivel	2	4	8D	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de nivel en el tanque. - Implementar un control del flujo de entrada
MENOS		-Flujo de entrada insuficiente	-Reducción en la eficiencia de transferencia de calor -Interrupción del proceso - Succión de aire por la disminución de nivel, generando problemas de cavitación en las bombas		2	4	8D	- Tener un control del flujo de entrada -Implementar sistemas de alarma para detectar la disminución de nivel en el tanque

Proyecto	Planta térmica			P&ID	Figura 11			
Nodo	TK-700			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque de salmuera (solución acuosa de sal y agua)/Suavizador de agua							
Intención del nodo	No sobrepasar el 70% de la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Presión	- Obstrucción en la válvula de alivio	-Sobrepresión en el tanque generando riesgo de ruptura y fugas	Indicador de presión	2	5	10E	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo de los sistemas de control -Inspeccionar las valvulas de alivio de presión - Tener un control del flujo de entrada -Implementar un sistema de alarma para detectar incrementos inusuales de presión
		- Riesgo de explosión						
MENOS		- Fallo en la válvula de entrada	- Reducción en la generación de vapor - Riesgo de cavitación en la bomba de alimentación	Indicador de presión	2	4	8D	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo de los sistemas de control -Inspeccionar las valvulas de alivio de presión - Tener un control del flujo de entrada -Implementar un sistema de alarma para detectar disminuciones inusuales de presión
			-Interrupción del proceso					

Tabla 43. HAZOP Planta térmica - Nodo TK-701

Proyecto		Planta térmica					P&ID	Figura 11
Nodo		TK-701					Fecha	03/09/2023
Descripción del nodo		Tanque de ACPM						
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas del proceso						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Fallo en el control de temperatura -Fallo en el aislamiento térmico -Fallo en el sistema de calefacción 	<ul style="list-style-type: none"> -Alteracion de los productos -Mayor consumo energético -Daños en el equipo -Sobrecalentamiento del ACPM -Riesgo de evaporación del ACPM generando pérdidas de producto 	Sensor de temperatura	2	4	8D	<ul style="list-style-type: none"> -Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. -Mantenimiento preventivo para el sistema de calefacción del tanque - Mantenimiento de los sistemas de control - Implementar límites de temperatura en el sistema de control.

Proyecto	Planta térmica							
Nodo	TK-701					P&ID	Figura 11	
Descripción del nodo	Tanque de ACPM					Fecha	03/09/2023	
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Fallo en el sistema de calefacción -Fallo en el suministro de ACPM 	<ul style="list-style-type: none"> -Aumento de la viscosidad del ACPM, dificultando el flujo y la combustión en los motores -Problemas de arranque de los motores - Pérdida de combustible -Daños en el equipo 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> -Mantenimiento del sistema de calefacción - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control
MÁS	Nivel	<ul style="list-style-type: none"> - Fallo en la valvula de salida HV-702 	<ul style="list-style-type: none"> - Desbordamiento del tanque -Derrames y pérdida de producto -Sobrepresion en el sistema que puede generar daños en los equipos -Variación en las condiciones óptimas de operación 	Indicador de nivel	2	4	8D	<ul style="list-style-type: none"> -Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de nivel en el tanque. - Tener un control del flujo de entrada - Mantenimiento preventivo en los sistemas de control

Proyecto	Planta térmica							
Nodo	TK-701					P&ID	Figura 11	
Descripción del nodo	Tanque de ACPM					Fecha	03/09/2023	
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS		- Fallo en la válvula de entrada HV-701	-Agotamiento de ACPM que genera detención en la generación de vapor - Succión de aire por la disminución de nivel, generando problemas de cavitación en la bomba de alimentación -Pérdida en la calidad de producto		2	4	8D	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control - Tener un control del flujo de entrada -Implementar sistemas de alarma
MÁS	Presión	- Obstrucción en la válvula de alivio -Sobrecarga de ACPM	-Sobrepresión en el tanque generando riesgo de ruptura y fugas - Riesgo de explosión	Indicador de presión	2	5	10E	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control -Inspeccionar las valvulas de alivio de presión - Tener un control del flujo de entrada

Proyecto	Planta térmica			P&ID	Figura 11			
Nodo	TK-701			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque de ACPM							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
			-Liberación de vapores por mal funcionamiento de los sistemas de alivio					-Implementar un sistema de alarma para detectar incrementos inusuales de presión
MENOS		-Fallo en los sistemas de alivio de presión -Obstrucción de la línea de suministro -Daño en el sistema de presurización	-Implosión en el tanque -Interrupción del proceso -Entrada de aire que afecte la calidad del ACPM	Indicador de presión	2	4	8D	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control -Inspeccionar las valvulas de alivio de presión -Implementar un sistema de alarma para detectar disminuciones inusuales de presión
NO	Flujo	- Fallo en el sistema de suministro -Válvula cerrada HV-701	-Sobrecalentamiento del equipo - Detención del suministro de ACPM	Indicador de flujo	2	3	6C	- Realizar mantenimiento e inspección en la válvula de entrada - Implementar un sistema de detección de fallos en la válvula -Implementar sistemas de alarma
MÁS		-Válvula abierta incorrectamente. HV-701	-Desbordamiento del tanque		2	5	10E	- Realizar mantenimiento y revisiones de la válvula de control de flujo

Proyecto	Planta térmica							
Nodo	TK-701					P&ID	Figura 11	
Descripción del nodo	Tanque de ACPM					Fecha	03/09/2023	
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Sobrecarga en el sistema de entrada	-Riesgo de explosión del tanque -Mayor carga térmica en la planta					- Implementar sistemas de control de flujo - Implementar sistemas de alarma y detección de fugas
MENOS		- Válvula parcialmente cerrada. HV-701 -Obstrucción de las líneas de suministro	-Detención del proceso en la planta térmica - Sobrecalentamiento del sistema	-Botón de parada de emergencia	2	3	6C	- Implementar sistemas de control de flujo -Limpieza regular para las líneas de suministro - Implementar sistemas de alarma

Tabla 44. HAZOP Planta térmica - Nodo B-701

Proyecto		Planta térmica					P&ID	Figura 11
Nodo		B-701					Fecha	25/11/2023
Descripción del nodo		Quemador						
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas de proceso						
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
NO	Flujo de combustible	-Fallo en la bomba de suministro P-701 -Interrupción del suministro de combustible desde el tanque	- No se puede iniciar el proceso de generación de llama por apagado del quemador -Explosión por tener combustible acumulado en presencia de aire	-Programador de combustión	2	5	10E	- Realizar mantenimiento e inspección en la bomba -Mantenimiento de la línea de suministro -Implementar sistemas de alarma
MÁS		-Fallo en la válvula de control de flujo HV-703 -Ajuste incorrecto del sistema de dosificación	- Sobrecalentamiento del sistema -Flujo excesivo de combustible que puede generar riesgo de incendio o explosión		2	5	10E	- Realizar mantenimiento y revisiones de la válvula de control de flujo - Implementar sistemas de control de flujo -Implementar sistemas de alarma
MENOS		- Válvula parcialmente cerrada. HV-703	-Combustión incompleta		2	3	6C	-Limpieza regular de la línea de combustible

Proyecto	Planta térmica			P&ID	Figura 11			
Nodo	B-701			Fecha	25/11/2023			
Descripción del nodo	Quemador							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas de proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Obstrucción en la línea de combustible	-Riesgo de apagado del quemador					- Implementar sistemas de control de flujo - Implementar sistemas de alarma y detección de fugas
MÁS	Temperatura	-Falla en el sistema de control de temperatura -Ajuste incorrecto de la temperatura	- Sobrecalentamiento del quemador -Daños en el quemador y en equipos cercanos como la caldera y bomba de suministro	-Indicador de temperatura	2	4	8D	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Mantenimiento de los sistemas de control - Implementar límites de temperatura en el sistema de control.
MENOS		-Ajuste incorrecto de la temperatura	-Combustión incompleta		2	2	4A	- Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso.

Proyecto	Planta térmica			P&ID	Figura 11			
Nodo	B-701			Fecha	25/11/2023			
Descripción del nodo	Quemador							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas de proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Problemas en el suministro de combustible	-Rendimiento ineficiente de la caldera -Condensación del propano que puede generar nubes					- Mantenimiento de los sistemas de control -Implementar sistemas de alarma
MÁS	Presión	- Obstrucción en la válvula de presión HV 705 -Ajuste incorrecto del sistema de presión - Aumento en el suministro de combustible	-Exceso de suministro de combustible -Fluctuaciones en la llama -Daños en los equipos	-Indicador de presión	2	4	8D	- Mantenimiento preventivo de las válvulas de alivio -Monitorear la presión durante el proceso -Implementar sistemas de alarma
MENOS		-Fugas en las líneas de combustible -Fallos en el regulador de presión	-Disminución en la combustión afectando la eficiencia del quemador -Riesgo de apagado del quemador					2

Proyecto	Planta térmica							
Nodo	B-701					P&ID	Figura 11	
Descripción del nodo	Quemador					Fecha	25/11/2023	
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas de proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
			-Generación de nubes por fugas de propano que ineractuan con el aire humedo					-Desarrollar plan de contingencia para formación nubes

Tabla 45. HAZOP Planta térmica - Nodo F-701

Proyecto		Planta térmica					P&ID	Figura 11
Nodo		F-701					Fecha	03/09/2023
Descripción del nodo		Caldera						
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas de proceso						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
NO	Flujo de combustible	-Fallo en la válvula que regula el flujo de combustible HV-704	- No se puede iniciar el proceso de generación de vapor -Enfriamiento de la caldera - Desgaste del equipo	-Indicador de flujo	2	3	6C	- Realizar mantenimiento e inspección en la válvula de combustible - Implementar un sistema de detección de fallos en la válvula -Implementar sistemas de alarma
MÁS		-Válvula abierta incorrectamente. HV.704	- Sobre calentamiento del sistema -Afectaciones en la capacidad de generar vapor -Flujo excesivo de combustible que puede generar riesgo de incendio	-Botón de parada de emergencia	2	5	10E	- Realizar mantenimiento y revisiones de la válvula de control de flujo - Implementar sistemas de control de flujo - Implementar sistemas de alarma y detección de fugas
MENOS		- Válvula parcialmente cerrada. HV-704	- Detención del proceso		2	3	6C	Limpieza regular de la línea de combustible

Proyecto	Planta térmica			P&ID	Figura 11			
Nodo	F-701			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Caldera							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas de proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Obstrucción en la línea de combustible	-Flujo insuficiente de combustible - Disminución en la eficiencia para generar vapor -Riesgo de apagado de la caldera, afectando la producción de energía					- Implementar sistemas de control de flujo - Implementar sistemas de alarma y detección de fugas
NO	Flujo de agua	- Fallo en la valvula de alimentación de agua. HV-703	-Sobrecalentamiento extremo del equipo -Riesgo de explosión - Detención de la generación de vapor	Indicador de flujo	2	5	10E	- Realizar mantenimiento e inspección en la válvula de agua - Implementar un sistema de detección de fallos en la válvula -Implementar sistemas de alarma
MÁS		-Válvula abierta incorrectamente. HV-703 - Cambios en las condiciones del proceso	-Reducción de la eficiencia de la caldera		2	3	6C	- Realizar mantenimiento y revisiones de la válvula de control de flujo - Implementar sistemas de control de flujo

Proyecto		Planta térmica					P&ID	Figura 11
Nodo		F-701					Fecha	03/09/2023
Descripción del nodo		Caldera						
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas de proceso						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Fuga en las tuberías de suministro	- Flujo excesivo de agua que genera sobrepresión en la caldera					- Implementar sistemas de alarma y detección de fugas
MENOS		- Válvula parcialmente cerrada. HV-703 - Acumulación de sedimentos en la línea de agua	- Al no tener buen flujo de agua se puede generar el sobrecalentamiento de la caldera -Riesgo de explosión - Reducción de la eficiencia para generar vapor	-Botón de parada de emergencia	2	5	10E	- Implementar sistemas de control de flujo -Limpieza regular para la línea de agua - Implementar sistemas de alarma
MÁS	Temperatura	- Fallas en los sistemas de control LT-703 -Sobrecalentamiento del fluido de calefacción	- Sobrecalentamiento de la caldera -Reducción de la eficiencia de la caldera	-Sensor de temperatura	2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control

Proyecto	Planta térmica			P&ID	Figura 11			
Nodo	F-701			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Caldera							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas de proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
			-Daños en el equipo					- Implementar límites de temperatura en el sistema de control.
MENOS		- Fallas en los sistemas de control LT-703	- Disminución en la eficiencia del proceso -Condensación de la caldera, lo cual aumenta el riesgo de corrosión	-Botón de parada de emergencia	2	2	4A	-Calibrar los sensores de temperatura - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control -Implementar sistemas de alarma
		-Fallo en el sistema de combustión	-Daños en el equipo					
MÁS	Presión	- Fallo de la válvula de alivio - Obstrucción en la válvula de alivio	-Sobrepresión que puede generar explosión de la caldera - Mayor desgaste en el equipo -Activación de la válvula de seguridad, que libera vapor	-Medidor de presión	3	5	15E	- Mantenimiento preventivo de las válvulas de alivio -Inspeccionar las valvulas de alivio de presión - Implementar un sistema de tuberías que

Proyecto	Planta térmica					P&ID	Figura 11	
Nodo	F-701					Fecha	03/09/2023	
Descripción del nodo	Caldera							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas de proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Aumento significativo del nivel y/o temperatura en el tanque	a altas presiones y temperaturas, generando fatalidades en el personal que se encuentre por la pasarela de la planta térmica -Sobrecarga de componentes					distribuya el vapor liberado fuera de la edificación sin que realice contacto directo con el personal -Monitorear la presión durante el proceso
MENOS		- Fallo en el sistema de alimentación de agua -Fugas en la caldera	-Disminución en la generación de vapor -Riesgo de apagado de la caldera -Interrupción del proceso	-Botón de parada de emergencia	2	4	8D	-Mantenimiento preventivo para detectar y prevenir fugas en el sistema -Implementar sistemas detectar disminuciones anormales de presión.

Nota: Se debe considerar una reubicación o implementación de un sistema de alarma que indique cuando hay apertura de la válvula de seguridad de la caldera debido a que tiene la dirección de descarga hacia equipos cercanos y personas que circulan por la plataforma. También se debe desarrollar un protocolo de emergencia en caso de activación de la válvula.

Tabla 46. HAZOP Planta térmica - Nodo DV-701

Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
Proyecto Planta térmica Nodo DV-701 Descripción del nodo Distribuidor de vapor Intención del nodo Límite a las condiciones requeridas del proceso								
MÁS	Nivel	-Flujo de entrada de agua excesivo - Distribuidor con flujo insuficiente de vapor	-Riesgo de inundación -Bloqueo de las líneas de vapor - Pérdida de eficiencia del proceso	Medidor de nivel	2	4	8D	-Monitorear continuamente el nivel - Implementar sistemas de control de flujo - Implementar sistemas de alarma y detección de fugas
MENOS		- Flujo de entrada de agua insuficiente - Fugas que generan pérdida de vapor	- Al no tener buen flujo de agua se puede generar el sobrecalentamiento en el distribuidor -Daños en los equipos - Reducción de la eficiencia para generar vapor		2	4	8D	- Implementar sistemas de control de flujo -Limpieza regular para la línea de agua - Implementar sistemas de alarma y detección de fugas
MÁS	Temperatura	- Fallas en los sistemas de control	- Daños en equipos y tuberías	Sensor de temperatura	2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar

Proyecto	Planta térmica					P&ID	Figura 11	
Nodo	DV-701					Fecha	03/09/2023	
Descripción del nodo	Distribuidor de vapor							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Sobrecalentamiento del vapor de alimentación	Mayor consumo de energía					aumentos de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control
MENOS		- Fallas en los sistemas de control -Disminución en la temperatura del vapor de alimentación	- Disminución en la eficiencia del proceso -Condensación de las tuberías y equipos -Daños en el equipo		2	3	6C	-Calibrar los sensores de temperatura - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control -Implementar sistemas de alarma
MÁS	Presión	- Suministro excesivo de vapor - Obstrucción en la válvula de control de presión V-303	-Sobrepresión que puede generar daños en tuberías y equipos continuos - Mayor desgaste en el equipo, consumiendo mayor energía	Medidor de presión	2	4	8D	- Mantenimiento preventivo de las válvulas de control -Implementar sistemas de alarma para detectar

Proyecto	Planta térmica			P&ID	Figura 11			
Nodo	DV-701			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Distribuidor de vapor							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
			-Sobrecarga de componentes					aumentos anormales de presión
MENOS		- Fugas en las líneas de distribución de vapor -Fallos en as válvulas de control de presión	-Disminución en la generación de vapor -Pérdida de eficiencia del proceso -Mal funcionamiento de los equipos receptores		2	3	6C	-Mantenimiento preventivo para detectar y prevenir fugas en el sistema -Implementar sistemas de alarma para detectar disminuciones anormales de presión.

Tabla 47. HAZOP Planta térmica - Nodo TK-705

Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
Proyecto Planta térmica Nodo TK-705 Descripción del nodo Tanque de condensados Intención del nodo Límite a las condiciones requeridas de proceso P&ID Figura 11 Fecha 03/09/2023								
MÁS	Nivel	-Flujo de entrada excesivo	-Riesgo de desbordamiento del tanque -Pérdida de condensado -Daños en el equipo	Medidor de nivel	2	4	8D	-Monitorear continuamente el nivel - Implementar sistemas de control de flujo - Implementar sistemas de alarma y detección de fugas
		- Mal funcionamiento de las válvulas de control	- Arrastre de líquido que puede afectar los receptores de vapor					
MENOS	Nivel	-Disminución en el flujo de entrada	- Funcionamiento ineficiente de la planta térmica por falta de condensado	Medidor de nivel	2	3	6C	- Implementar sistemas de control de flujo
		- Mal funcionamiento de las válvulas de control	-Daños en el tanque por posible succión de aire					-Monitorear continuamente el nivel - Realizar mantenimiento a las válvulas de control

Proyecto	Planta térmica			P&ID	Figura 11			
Nodo	TK-705			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque de condensados							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas de proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Temperatura	- Problemas en los intercambiadores de calor E-701, E-702	- Sobre calentamiento del condensado	Sensor de temperatura	2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control - Implementar límites de temperatura en el sistema de control.
		-Mayor presión a la entrada de condensado	-Pérdida de calidad -Daños en el equipo - Disminución en la eficiencia del proceso					
MENOS		- Problemas en los intercambiadores de calor E-701, E-702 -Disminución en la temperatura por la	- Disminución en la eficiencia del proceso -Condensación de las tuberías y tanque		2	3	6C	-Calibrar los sensores de temperatura - Realizar monitoreo constante de la

Proyecto	Planta térmica			P&ID	Figura 11			
Nodo	TK-705			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque de condensados							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas de proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		entrada de condensado frío	-Daños en el equipo					temperatura durante el proceso. - Mantenimiento preventivo a los intercambiadores de calor -Controlar la temperatura de entrada de condensado
MÁS	Presión	- Entrada excesiva de vapor de condensado - Fallo en la válvula de liberación de presión PV-704	-Sobrepresión que puede generar ruptura y daños en el equipo - Liberación no controlada del condensado	Medidor de presión	2	4	8D	- Mantenimiento preventivo de las válvulas -Implementar sistemas de alarma para detectar aumentos anormales de presión
MENOS		- Fugas en las líneas de distribución de condensado	-Falta de suministro de condensado que genera un mal funcionamiento en los equipos receptores		2	3	6C	-Mantenimiento preventivo para detectar y prevenir fugas en el sistema

Proyecto	Planta térmica	P&ID	Figura 11
Nodo	TK-705	Fecha	03/09/2023
Descripción del nodo	Tanque de condensados		
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas de proceso		

<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Fallos en la válvula de entrada	-Pérdida de eficiencia del proceso					-Implementar sistemas de alarma para detectar disminuciones anormales de presión. -Controlar el flujo de vapor

Tabla 48. HAZOP Planta térmica - Nodo T-701

Proyecto		Planta térmica					P&ID	Figura 11
Nodo		T-701					Fecha	03/09/2023
Descripción del nodo		Torre de enfriamiento						
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas de proceso						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Temperatura	- Fallas en los sistemas de enfriamiento -Aumento de temperatura en el agua de entrada	- Perdida de eficiencia en la eliminación de calor -Sobrecalentamiento de los equipos conectados -Daños en el equipo	Sensor de temperatura	2	4	8D	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control -Verificar el funcionamiento de los sistemas de enfriamiento
MENOS		- Fallo en el sistema de control de temperatura -Disminución de temperatura en el agua de entrada	-Enfriamiento inadecuado en los equipos -Formación de hielo en la torre		2	2	4A	- Mantenimiento de los sistemas de control - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. -Implementar sistemas de alarma

Proyecto		Planta térmica			P&ID		Figura 11	
Nodo		T-701			Fecha		03/09/2023	
Descripción del nodo		Torre de enfriamiento						
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas de proceso						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Nivel	-Aumento en el flujo de agua -Fallo en la válvula de control V-404	- Desbordamiento de la torre -Desperdicio de agua -Riesgo de inundación	Indicador de nivel	2	4	8D	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de nivel en el tanque. -Verificar el funcionamiento de la válvula de control - Implementar un control del flujo de entrada
MENOS		-Flujo de entrada de agua insuficiente -Fallo en la válvula de control V-404	-Reducción en la eficiencia del proceso por falta de agua para el enfriamiento -Riesgo de sobrecalentamiento de los equipos -Mayor consumo de energía		2	4	8D	- Tener un control del flujo de entrada -Implementar sistemas de alarma para detectar la disminución de nivel en el tanque -Monitorear el flujo de agua
NO	Flujo de agua	- Fallo en la bomba de suministro de agua P-003	-Sobrecalentamiento de los equipos	Indicador de flujo	2	5	10E	- Realizar mantenimiento e inspección en las bombas

Proyecto	Planta térmica			P&ID	Figura 11			
Nodo	T-701			Fecha	03/09/2023			
Descripción del nodo	Torre de enfriamiento							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas de proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Obstrucción en las tuberías -Fallo en la valvula de control V-404	-Daños en los quipos -Aumento en la temperatura del proceso - Detención del proceso					y líneas de suministro de agua - Implementar un sistema de detección de fallos en la válvula -Implementar sistemas de alarma
MÁS		-Válvula abierta incorrectamente V-404 - Mayor velocidad de operación en la bomba P-201	-Flujo excesivo de agua que puede generar desperdicio -Desbordamiento de la torre -Afectación en la eficiencia de operacion		2	4	8D	- Realizar mantenimiento y revisiones de la válvula de control de flujo - Implementar sistemas de control de flujo - Implementar sistemas de alarma y detección de fugas
MENOS		- Válvula parcialmente cerrada V-404 - Obstrucción en la tubería	- Sobrecalentamiento en los equipos -Daños en la torre por aumento de temperatura		2	4	8D	- Implementar sistemas de control de flujo -Limpieza regular para la línea de agua

Proyecto	Planta térmica				P&ID	Figura 11		
Nodo	T-701				Fecha	03/09/2023		
Descripción del nodo	Torre de enfriamiento							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas de proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Menor velocidad de operación en la bomba P-201	- Reducción de la capacidad de enfriamiento					- Realizar mantenimiento y revisiones de la válvula de control de flujo

Tabla 49. HAZOP PTAR - Nodo tanque de almacenamiento de agua lluvia

Proyecto	PTAR							
Nodo	Tanque de almacenamiento de agua lluvia							
Descripción del nodo	Tanque de almacenamiento de agua lluvia				Fecha	13/09/2023		
Intención del nodo	No sobrepasar la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Nivel	-Aumento en el flujo de agua -Precipitaciones continuas	-Desbordamiento del tanque -Desperdicio de agua	indicador de nivel	2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de nivel en el tanque. -Implementar válvulas de control

			-Riesgo de inundación				- Implementar un control del flujo de entrada	
MENOS		-Flujo de entrada de agua insuficiente -Disminución de las precipitaciones	-Reducción en la eficiencia del proceso por falta de agua para tratamiento -Detencion del proceso que puede generar incumplimiento en la normativa de tratamiento de aguas		2	4	8D	- Tener un control del flujo de entrada -Implementar sistemas de alarma para detectar la disminución de nivel en el tanque -Implementar sistemas de almacenamiento de agua alternos para periodos de pocas lluvias
OTRA	Composición	-Cambios en la composición de agua lluvia debido a las condiciones climáticas	-Variación en la calidad del agua que afecta el proceso de tratamiento	Indicador de nivel situado en los tanques	2	2	4B	-Monitorear y analizar la composición del agua lluvia -Implementar sistemas de filtración de agua

Tabla 50. HAZOP PTAR - Nodo tanque de almacenamiento de agua de proceso

Proyecto		PTAR						
Nodo		Tanque de almacenamiento de agua de proceso						
Descripción del nodo		Tanque de almacenamiento de agua de proceso				Fecha		
Intención del nodo		No sobrepasar la capacidad de diseño				13/09/2023		
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Nivel	-Aumento en el flujo de agua	- Desbordamiento del tanque	indicador de nivel	2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de nivel en el tanque. -Verificar el funcionamiento de la válvula de control - Implementar un control del flujo de entrada
		-Fallo en la bomba sumergible	-Desperdicio de agua -Riesgo de inundación					
MENOS	Nivel	-Fallo en la bomba de suministro de agua	-Reducción en la eficiencia del proceso por falta de agua para tratamiento -Detención del proceso que puede generar incumplimiento en la normativa de tratamiento de aguas	indicador de nivel	2	3	6C	- Tener un control del flujo de entrada -Implementar sistemas de alarma para detectar la disminución de nivel en el tanque -Implementar sistemas de almacenamiento de agua alternos

Proyecto	PTAR							
Nodo	Tanque de almacenamiento de agua de proceso							
Descripción del nodo	Tanque de almacenamiento de agua de proceso					Fecha	13/09/2023	
Intención del nodo	No sobrepasar la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
OTRA	Composición	-Cambios en la fuente de suministro de agua	-Variación en la calidad del agua que afecta el proceso de tratamiento -Entrada de sustancias no deseadas	tanque de almacenamiento	2	2	4B	-Monitorear y analizar la composición del agua -Implementar sistemas de filtración de agua

Tabla 51. HAZOP PTAR - Nodo bombas sumergibles

Proyecto		PTAR						
Nodo		Bombas sumergibles						
Descripción del nodo		Bombas sumergibles				Fecha		
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas del proceso						
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
MÁS	Presión	-Ajuste incorrecto de las válvulas de presión -Fallo en el sistema de control	- Suministro excesivo de agua a la bomba -Sobrecarga en las tuberías	Medidor de presión	2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar anomalías en la presión. -Verificar el funcionamiento de las válvulas de presión
MENOS		-Desgaste de la bomba -Fugas en las tuberías	-Daños en la bomba por bajo suministro de agua -Interrupción del proceso de suministro de agua que detiene el tratamiento de agua		2	3	6C	-Implementar sistemas de alarma para detectar anomalías en la presión -Realizar mantenimiento preventivo a las tuberías
NO	Flujo de agua	- Obstrucción en las tuberías -Fallo eléctrico de la bomba	-Interrupción del suministro de agua a los tanques -Detención del proceso de tratamiento de aguas	indicador de flujo	2	3	6C	-Realizar mantenimiento preventivo a la bombas y tuberías - Implementar un sistema de detección de fallos en la válvula

Proyecto	PTAR							
Nodo	Bombas sumergibles							
Descripción del nodo	Bombas sumergibles							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso							
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
MÁS		-Mayor caudal de entrada de agua -Aumento en la velocidad de operación de las bombas	-Sobrecarga en las bombas -Daños en las bombas por exceder la capacidad de diseño -Interrupción del proceso de tratamiento de aguas		2	4	8D	- Realizar mantenimiento preventivo a las bombas y tuberías - Implementar sistemas de control de caudal y flujo -Realizar análisis de la capacidad del sistema
MENOS		- Obstucción en las tuberías - Fallos en las bombas	- Reducción del suministro de agua que puede detener el proceso -Sobrecarga en las bombas		2	4	8D	- Realizar mantenimiento preventivo a las bombas y tuberías - Implementar sistemas de control de flujo

Tabla 52. HAZOP Banco de reactores - Nodo - reactores CSTR

Proyecto	Banco de reactores							
Nodo	Reactores CSTR					P&ID	Figura 17	
Descripción del nodo	Reactores CSTR					Fecha	25/09/2023	
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
NO	Flujo	- Tanques de alimentación vacíos	- No hay alimento en la entrada del reactor	Indicador de flujo	2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivos en los tanques de almacenamiento
		- Válvulas cerradas	- No se puede llevar a cabo la operación en el equipo					- Verificar que las válvulas se encuentran abiertas
		- Fallo en las bombas de alimentación	-Detención del proceso					- Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación
		-Bloqueos en la línea de alimentación	-Contaminación de la mezcla					- Implementar indicadores de flujo en los tramos de alimentación al reactor
MÁS		- Se excede la carga de reactivos en los tanques de alimentación	- Sobrealimentación en el interior del reactor		2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivos en los tanques de almacenamiento

Proyecto	Banco de reactores							
Nodo	Reactores CSTR					P&ID	Figura 17	
Descripción del nodo	Reactores CSTR					Fecha	25/09/2023	
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		<ul style="list-style-type: none"> -Fallo en el sistema de control de caudal - Aumento en la presión de descarga en las bombas dosificadoras 	<ul style="list-style-type: none"> -Derrames por exceder el volumen del reactor - Afectación en la calidad del prodcuto. 					<ul style="list-style-type: none"> - Verificar el indicador de presión en los tanques de alimentación - Implementar indicadores de flujo en los tramos de alimentación al reactor -Implementar un sistema de mantenimiento y control del caudal
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - La carga de reactivos en los tanques de alimentación es baja -Obstrucción de la línea de alimentación - Ruptura o fuga en el sistema de tubería de alimentación al reactor -Fallo en las válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación insuficiente en el reactor -Variaciones en la concentración de los reactivos - Disminución en la velocidad de reacción del proceso 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> -Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivos en los tanques de almacenamiento - Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación

Proyecto	Banco de reactores							
Nodo	Reactores CSTR					P&ID	Figura 17	
Descripción del nodo	Reactores CSTR					Fecha	25/09/2023	
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Falla en las bombas dosificadoras de alimentación	-Riesgo de sobrecalentamiento en el motor de la bomba de alimentación					- Implementar indicadores de flujo en los tramos de alimentación al reactor
MÁS	Temperatura	-Sobrecalentamiento del aceite térmico	- Reacciones no deseadas - Afectación en la velocidad de reacción del proceso -Variación de las condiciones óptimas de operación	sensor de temperatura	2	4	8D	-Realizar mantenimiento al sensor de temperatura ubicado en el reactor
		-Fallo en el sistema de control de temperatura - Mal control de reacciones exotérmicas	-Daños en el equipo					- Mantenimiento preventivo del indicador de temperatura - Verificar la temperatura y flujo de aceite térmico empleado en la calefacción. -Implementar un sistema de alarma cuando se detecten temperaturas anormales
MENOS		- El aceite térmico de calentamiento se encuentra por debajo de la temperatura óptima	- Disminución en la velocidad de reacción del proceso					

Proyecto	Banco de reactores							
Nodo	Reactores CSTR					P&ID	Figura 17	
Descripción del nodo	Reactores CSTR					Fecha	25/09/2023	
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Fallo en el sistema de control de temperatura - Interrupción del suministro de calor	-Variación de las condiciones óptimas de operación - Mayor desgaste en el equipo					- Verificación del indicador de temperatura -Implementar un sistema de alarma cuando se detecten temperaturas anormales
MÁS	Presión	- Falla en las válvulas de alivio - Fallo en el sistema de control de presión -Aumento en la generación de gases de una reacción	-Sobrepresión en el tanque generando pérdida de contención. - Mayor desgaste en el equipo -Afectación de la velocidad de reacción -Ruptura del reactor	Indicador de presión	2	3	6C	- Implementar sistemas de alarma que detecten alta presión -Realizar mantenimiento a las válvulas de alivio - Regular la presión de descarga de las bombas dosificadoras
MENOS		- Fallo en el sistema de control	-Cavitación del sistema de bombeo de reactivo.		2	3	6C	- Implementar alarmas que detecten presiones bajas

Proyecto	Banco de reactores							
Nodo	Reactores CSTR					P&ID	Figura 17	
Descripción del nodo	Reactores CSTR					Fecha	25/09/2023	
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		<ul style="list-style-type: none"> - La presión de descarga de las bombas dosificadoras es baja - Fugas en las líneas de presión 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución en la velocidad de reacción -Variación de las condiciones óptimas de operación 					<ul style="list-style-type: none"> -Mantenimiento preventivo al indicador de presión - Regular la presión de desacarga de las bombas dosificadoras -Realizar mantenimiento y revisión a las líneas de presión
MÁS	Velocidad	<ul style="list-style-type: none"> - Falla en el suministro eléctrico -Configuración incorrecta del sistema de control 	<ul style="list-style-type: none"> - Exceso de mezclado en el interior del reactor -Variación de las condiciones óptimas de operación -Reacciones no deseadas -Daños en el equipo 	Sistema de agitación	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> -Implementar sistemas de control para regular la velocidad - Implementar un programa de mantenimiento del sistema de agitación
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Falla en el suministro eléctrico 	<ul style="list-style-type: none"> - Mezcla inadecuada de los reactivos 			2	3	6C

Proyecto	Banco de reactores							
Nodo	Reactores CSTR					P&ID	Figura 17	
Descripción del nodo	Reactores CSTR					Fecha	25/09/2023	
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Configuración incorrecta del sistema de control	- Disminución en la conversión de la reacción					- Implementar un programa de mantenimiento del sistema de agitación
OTRO	Composición	- Obstrucción en el sistema de tubería de alimentación al reactor - Falla en las bombas dosificadoras de alimentación - Variación de la calidad de los reactivos	-Mayor formación de subproductos - Baja calidad de producto - Disminución en la velocidad de reacción del proceso	Bomba dosificadora	2	3	6C	-Realizar control de calidad de los reactivos a utilizar. -Implementar un sistema de monitero para la composición con el fin de ajustar los flujos de los reactivos.

Tabla 53. HAZOP Banco de reactores - Nodo reactores PFR

Proyecto		Banco de reactores						P&ID	Figura
Nodo		Reactores PFR							
Descripción del nodo		Reactores PFR						Fecha	25/09/2023
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>	
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>								
NO	Flujo	- Tanques de alimentación vacíos	- No hay alimento en la entrada del reactor	Indicador de flujo	2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivos en los tanques de almacenamiento	
		- Válvulas cerradas	- No se puede llevar a cabo la operación en el equipo					- Verificar que las válvulas se encuentran abiertas	
		- Fallo en las bombas de alimentación	-Detención del proceso					- Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación	
		-Bloqueos en la línea de alimentación	-Contaminación de la mezcla					- Implementar indicadores de flujo en los tramos de alimentación al reactor	
MÁS		- Se excede la carga de reactivos en los tanques de alimentación	- Sobrealimentación en el interior del reactor		2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivos en los tanques de almacenamiento	

Proyecto	Banco de reactores					P&ID	Figura	
Nodo	Reactores PFR							
Descripción del nodo	Reactores PFR					Fecha	25/09/2023	
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		<ul style="list-style-type: none"> -Fallo en el sistema de control de caudal - Aumento en la presión de descarga en las bombas dosificadoras 	<ul style="list-style-type: none"> -Derrames por exceder el volumen del reactor - Afectación en la calidad del prodcuto. 					<ul style="list-style-type: none"> - Verificar el indicador de presión en los tanques de alimentación - Implementar indicadores de flujo en los tramos de alimentación al reactor -Implementar un sistema de mantenimiento y control del caudal
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - La carga de reactivos en los tanques de alimentación es baja -Obstrucción de la línea de alimentación - Ruptura o fuga en el sistema de tubería de alimentación al reactor -Fallo en las válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación insuficiente en el reactor -Variaciones en la concentración de los reactivos - Disminución en la velocidad de reacción del proceso 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> -Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivos en los tanques de almacenamiento - Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación

Proyecto	Banco de reactores						P&ID	Figura
Nodo	Reactores PFR							
Descripción del nodo	Reactores PFR						Fecha	25/09/2023
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Falla en las bombas dosificadoras de alimentación	-Riesgo de sobrecalentamiento en el motor de la bomba de alimentación					- Implementar indicadores de flujo en los tramos de alimentación al reactor
MÁS	Temperatura	-Sobrecalentamiento del aceite térmico	- Reacciones no deseadas - Afectación en la velocidad de reacción del proceso -Variación de las condiciones óptimas de operación	-Sensor de temperatura -Indicador de temperatura	2	4	8D	-Realizar mantenimiento al sensor de temperatura ubicado en el reactor
		-Fallo en el sistema de control de temperatura - Mal control de reacciones exotérmicas	-Daños en el equipo					- Mantenimiento preventivo del indicador de temperatura - Verificar la temperatura y flujo de aceite térmico empleado en la calefacción. -Implementar un sistema de alarma cuando se detecten temperaturas anormales
MENOS		- El aceite térmico de calentamiento se encuentra por debajo de la temperatura óptima	- Disminución en la velocidad de reacción del proceso		2	4	8D	-Realizar mantenimiento al sensor de temperatura

Proyecto	Banco de reactores						P&ID	Figura
Nodo	Reactores PFR							
Descripción del nodo	Reactores PFR						Fecha	25/09/2023
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Fallo en el sistema de control de temperatura - Interrupción del suministro de calor	-Variación de las condiciones óptimas de operación - Mayor desgaste en el equipo					- Verificación del indicador de temperatura -Implementar un sistema de alarma cuando se detecten temperaturas anormales
MÁS	Presión	- Falla en las válvulas de alivio - Fallo en el sistema de control de presión -Aumento en la generación de gases de una reacción	-Sobrepresión en el tanque generando pérdida de contención. -Afectación de la velocidad de reacción -Pérdida de calidad del producto -Ruptura del reactor	-Indicador de presión	2	5	10E	- Implementar sistemas de alarma que detecten alta presión -Realizar mantenimiento a las válvulas de alivio - Regular la presión de descarga de las bombas dosificadoras
MENOS		- Fallo en el sistema de control - La presión de descarga de las bombas dosificadoras es baja	-Cavitación del sistema de bombeo de reactivo. - Disminución en la velocidad de reacción		2	3	6C	- Implementar alarmas que detecten presiones bajas -Mantenimiento preventivo al indicador de presión

Proyecto	Banco de reactores							
Nodo	Reactores PFR						P&ID	Figura
Descripción del nodo	Reactores PFR						Fecha	25/09/2023
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Fugas en las líneas de presión	-Variación de las condiciones óptimas de operación					- Regular la presión de descarga de las bombas dosificadoras -Realizar mantenimiento y revisión a las líneas de presión
MÁS	Velocidad	- Falla en el sistema de control de velocidad -Cambios en la carga de alimentación	- Exceso de mezclado en el interior del reactor -Variación de las condiciones óptimas de operación -Reacciones no deseadas -Derrames en el reactor	Sistema de agitación	2	3	6C	-Implementar sistemas de control para regular la velocidad - Implementar un programa de mantenimiento del sistema de agitación
MENOS		- Falla en el sistema de control de velocidad -Cambios en la carga de alimentación	- Mezcla inadecuada de los reactivos - Disminución en la eficiencia del proceso		2	3	6C	-Implementar sistemas de control para regular la velocidad - Implementar un programa de mantenimiento del sistema de agitación

Proyecto	Banco de reactores						P&ID	Figura
Nodo	Reactores PFR							
Descripción del nodo	Reactores PFR						Fecha	25/09/2023
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
OTRO	Composición	<ul style="list-style-type: none"> - Obstrucción en el sistema de tubería de alimentación al reactor - Problemas en el sistema de mezclado - Variación de la calidad de los reactivos 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor formación de subproductos - Baja calidad de producto - Disminución en la velocidad de reacción del proceso 	No presenta	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar control de calidad de los reactivos a utilizar. - Implementar un sistema de monitero para la composición con el fin de ajustar los flujos de los reactivos.

Tabla 54. HAZOP Banco de reactores - Nodo reactores PBR

Proyecto		Banco de reactores					P&ID	Figura
Nodo		Reactores PBR						
Descripción del nodo		Reactores PBR					Fecha	25/09/2023
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del banco de reactores						
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
NO	Flujo	- Tanques de alimentación vacíos	- No hay alimento en la entrada del reactor	Indicador de flujo	2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivos en los tanques de almacenamiento
		- Válvulas cerradas	- No se puede llevar a cabo la operación en el equipo					- Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación
		- Fallo en las bombas de alimentación	-Detención del proceso					- Implementar indicadores de flujo en los tramos de alimentación al reactor
		-Bloqueos en la línea de alimentación	-Contaminación de la mezcla					
MÁS		- Se excede la carga de reactivos en los tanques de alimentación	- Sobrealimentación en el interior del reactor		2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivos en los tanques de almacenamiento

		<ul style="list-style-type: none"> -Fallo en el sistema de control de caudal - Aumento en la presión de descarga en las bombas dosificadoras 	<ul style="list-style-type: none"> -Derrames por exceder el volumen del reactor - Afectación en la calidad del producto. 				<ul style="list-style-type: none"> - Verificar el indicador de presión en los tanques de alimentación - Implementar indicadores de flujo en los tramos de alimentación al reactor -Implementar un sistema de mantenimiento y control del caudal 	
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - La carga de reactivos en los tanques de alimentación es baja -Obstrucción de la línea de alimentación - Ruptura o fuga en el sistema de tubería de alimentación al reactor -Fallo en las válvulas - Falla en las bombas dosificadoras de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación insuficiente en el reactor -Variaciones en la concentración de los reactivos - Disminución en la velocidad de reacción del proceso -Riesgo de sobrecalentamiento en el motor de la bomba de alimentación 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> -Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivos en los tanques de almacenamiento - Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación - Implementar indicadores de flujo en los tramos de alimentación al reactor
MÁS	Temperatura	-Sobrecalentamiento del aceite térmico	<ul style="list-style-type: none"> - Reacciones no deseadas - Afectación en la velocidad de reacción del proceso 	sensor de temperatura	2	4	8D	-Realizar mantenimiento al sensor de temperatura ubicado en el reactor

		<ul style="list-style-type: none"> -Fallo en el sistema de control de temperatura - Mal control de reacciones exotérmicas 	<ul style="list-style-type: none"> -Variación de las condiciones óptimas de operación -Daños en el equipo 				<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento preventivo del indicador de temperatura - Verificar la temperatura y flujo de aceite térmico empleado en la calefacción. -Implementar un sistema de alarma cuando se detecten temperaturas anormales 	
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - El aceite térmico de calentamiento se encuentra por debajo de la temperatura óptima -Fallo en el sistema de control de temperatura - Interrupción del suministro de calor 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución en la velocidad de reacción del proceso -Variación de las condiciones óptimas de operación - Mayor desgaste en el equipo - Disminución en la conversión de la reacción 		2	4	8D	<ul style="list-style-type: none"> -Realizar mantenimiento al sensor de temperatura - Verificación del indicador de temperatura -Implementar un sistema de alarma cuando se detecten temperaturas anormales
MÁS	Presión	<ul style="list-style-type: none"> - Falla en las válvulas de alivio - Fallo en el sistema de control de presión -Aumento en la generación de gases de una reacción 	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrepresión en el tanque generando pérdida de contención. - Mayor desgaste en el equipo -Afectación de la velocidad de reacción 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar sistemas de alarma que detecten alta presión -Realizar mantenimiento a las válvulas de alivio - Regular la presión de descarga de las bombas dosificadoras

			<ul style="list-style-type: none"> -Fugas en las conexiones o sellos -Pérdida de calidad del producto -Ruptura del reactor 	Indicador de presión				
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Fallo en el sistema de control - La presión de descarga de las bombas dosificadoras es baja - Fugas en las líneas de presión 	<ul style="list-style-type: none"> -Cavitación del sistema de bombeo de reactivo. - Disminución en la velocidad de reacción -Variación de las condiciones óptimas de operación 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar alarmas que detecten presiones bajas -Mantenimiento preventivo al indicador de presión - Regular la presión de desacarga de las bombas dosificadoras -Realizar mantenimiento y revisión a las líneas de presión
MÁS	Velocidad	<ul style="list-style-type: none"> - Falla en el sistema de control de velocidad -Cambios en la carga de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> - Exceso de mezclado en el interior del reactor -Variación de las condiciones óptimas de operación -Reacciones no deseadas -Derrames en el reactor 	Sistema de agitación	2	4	8D	<ul style="list-style-type: none"> -Implementar sistemas de control para regular la velocidad - Implementar un programa de mantenimiento del sistema de agitación
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Falla en el sistema de control de velocidad -Cambios en la carga de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> - Mezcla inadecuada de los reactivos - Disminución en la eficiencia del proceso 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> -Implementar sistemas de control para regular la velocidad - Implementar un programa de

Tabla 55. HAZOP Banco de reactores - Nodo tanques de almacenamiento

Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
Proyecto Banco de reactores Nodo TK-901, TK-902,TK-903,TK-904 Descripción del nodo Tanques de almacenamiento Intención del nodo No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño P&ID Figura 17 Fecha 27/09/2023		<ul style="list-style-type: none"> - Fallas en los sistemas de control -Reacciones exotérmicas sin controlar 	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecalentamiento de los productos -Riesgo de ruptura de los tanques -Fugas en las conexiones -Daños en el equipo 	Sensor de temperatura	2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> -Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control - Implementar límites de temperatura en el sistema de control.
MÁS	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Fallo en el sistema de control -Interrupcion del suministro de calor que genera enfriamiento de los tanques 	<ul style="list-style-type: none"> -Ineficiencia del mezclado de alimento -Disminución de la calidad del producto 	Indicador de temperatura	2	2	4A	<ul style="list-style-type: none"> -Calibrar los sensores de temperatura - Inspecciones regulares y calibración adecuada de los elementos de calefacción y los intercambiadores de calor.

Proyecto		Banco de reactores			P&ID		Figura 17	
Nodo		TK-901, TK-902,TK-903,TK-904			Fecha		27/09/2023	
Descripción del nodo		Tanques de almacenamiento						
Intención del nodo		No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
			-Disminución en la eficiencia de los intercambiadores de calor -Daños en el equipo					- Mantenimiento de los sistemas de control -Implementar sistemas de alarma
MÁS	Nivel	-Fallo en el sistema de control -Flujo de entrada excesivo	- Desbordamiento del tanque -Sobrepresion en el sistema que puede generar daños en los equipos -Fugas en las conexiones del tanque	Indicador de nivel situado en el tanque	2	4	8D	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de nivel en el tanque. - Implementar un control del flujo de entrada
MENOS		-Fallo en el sistema de control	-Alimentación insuficiente					2

Proyecto	Banco de reactores			P&ID	Figura 17			
Nodo	TK-901, TK-902,TK-903,TK-904			Fecha	27/09/2023			
Descripción del nodo	Tanques de almacenamiento							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvuardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Flujo de entrada insuficiente	-Variabilidad en la calidad del producto					- Tener un control del flujo de entrada -Implementar sistemas de alarma para detectar la disminución de nivel en el tanque
MÁS	Presión	-Fallo en el sistema de control -Aumento no deseado de presión	-Sobrepresión en el tanque generando riesgo de ruptura y fugas - Riesgo de explosión	- Indicador de presión	2	5	10E	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control - Tener un control del flujo de entrada -Implementar un sistema de alarma para detectar incrementos inusuales de presión
MENOS		-Fallo en el sistema de control de presión	- Reducción de la velocidad de reacción		2	4	8D	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control

Proyecto	Banco de reactores			P&ID	Figura 17			
Nodo	TK-901, TK-902,TK-903,TK-904			Fecha	27/09/2023			
Descripción del nodo	Tanques de almacenamiento							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Fallo en la válvula de entrada -Fugas en la línea de presión	-Pérdida de calidad -Interrupción del proceso					-Inspeccionar las valvulas de alivio de presión - Tener un control del flujo de entrada -Implementar un sistema de alarma para detectar disminuciones inusuales de presión
NO	Flujo	- Válvulas cerradas - Fallo en las bombas de alimentación -Bloqueos en la línea de alimentación	-Fuga en el sistema de tuberías -Detención del proceso -Contaminación de la mezcla	Indicador de flujo	2	3	6C	-Realizar supervisiones periódicas durante la carga de reactivos en los tanques de almacenamiento - Verificar que las válvulas se encuentran abiertas - Realizar mantenimiento y limpieza en las tuberías.
MÁS		-Cambios en la velocidad de agitación -Fallo en los sistemas de control de caudal	- Sobrealimentación en el interior del reactor -Desbordamiento del tanque		2	3	6C	- Implementar indicadores de flujo. -Implementar un sistema de mantenimiento y control del caudal

Proyecto	Banco de reactores			P&ID	Figura 17			
Nodo	TK-901, TK-902,TK-903,TK-904			Fecha	27/09/2023			
Descripción del nodo	Tanques de almacenamiento							
Intención del nodo	No sobrepasar el 80% de la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvuardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS		-Obstrucción de la línea de alimentación -Fallo en las válvulas - Falla en las bombas de alimentación.	- Alimentación insuficiente hacia los tanque -Variaciones en la concentración de los reactivos y productos		2	3	6C	-Implementar sistemas de alarma de nivel -Implementar sistema de mantenimiento para la bomba de alimentación - Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación

Tabla 56. HAZOP Banco de reactores - Nodo TK-905, TK-906

Proyecto	Banco de reactores			P&ID	Figura 17			
Nodo	TK-905 y TK-906			Fecha	27/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque del fluido calefactor							
Intención del nodo	Límite a las condiciones del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
NO	Flujo	- Válvula cerrada	- No se puede iniciar el proceso de calentamiento	Indicador de flujo	2	3	6C	- Asegurarse de que el aceite este almacenado en las condiciones que requiere
		- Fallo en el sistema de alimentación	-No hay recirculación de aceite					-Implementar un sistema de alarma para fallos en la bomba
MÁS	Flujo	-Bomba de recirculación apagada	-Pérdida de eficiencia del proceso	Indicador de flujo	2	4	8C	-Mantenimiento preventivo del sistema de alimentación
		-Válvula abierta incorrectamente.	- Sobrecaentamiento del sistema					- Realizar verificaciones y calibraciones de los equipos medidores de flujo
MÁS	Flujo	- Cambios en las condiciones del proceso	-Sobrepresión en la tubería	Indicador de flujo	2	4	8C	- Instalar dispositivos de protección de emergencia
		- Exceso de carga de aceite	-Posible desbordamiento del tanque					- Implementar sistemas de alarma
			- Más costos de operación					-Tener un registro de los flujos de entrada

Proyecto	Banco de reactores			P&ID	Figura 17			
Nodo	TK-905 y TK-906			Fecha	27/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque del fluido calefactor							
Intención del nodo	Límite a las condiciones del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Válvula parcialmente cerrada. - Obstrucción en las tuberías que suministran el aceite térmico. - Fallo en la bomba de aceite 	<ul style="list-style-type: none"> - Detención del proceso - Suministro de calor insuficiente - Pérdida de temperatura en el sistema, afectando la eficiencia del proceso 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar un sistema de respaldo que pueda asumir la carga en caso de disminución del flujo. - Implementar sistemas de alarma - Realizar mantenimiento de las válvulas
MÁS	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Fallas en medidor de temperatura - Fallo en la bomba de distribución. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sobre calentamiento de los productos - La bomba soporta una temperatura de fluido máxima de 35°C, y el aceite a ser fluido calefactor va a circular a una temperatura mucho mayor, lo cual va a generar rotura del sello de la bomba, generando una pérdida de contención del aceite, que al ser un fluido 	Sensor de temperatura	5	5	25E	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Realizar una revisión a ver si se puede cambiar el sello de la bomba, de no ser posible hay que reemplazar la bomba debido a que las consecuencias de el

Proyecto	Banco de reactores			P&ID	Figura 17			
Nodo	TK-905 y TK-906			Fecha	27/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque del fluido calefactor							
Intención del nodo	Límite a las condiciones del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Sobrecalentamiento del fluido de calefacción	combustible puede ocasionar explosión, nubes de vapor, piscina de fuego, chorro de fuego y dispersión de contaminantes. -Alteración de los productos -Mayor consumo energético -Daños en el equipo					derrame de este aceite son catastróficas para la salud de los trabajadores, la infraestructura y el medio ambiente, pudiendo generar pérdidas irreparables. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control - Implementar límites de temperatura en el sistema de control.
MENOS		- Fallo en el sistema de calefacción	- Disminución en la eficiencia del proceso		2	3	6C	-Calibrar los sensores de temperatura - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso.

Proyecto	Banco de reactores			P&ID	Figura 17			
Nodo	TK-905 y TK-906			Fecha	27/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque del fluido calefactor							
Intención del nodo	Límite a las condiciones del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Problemas en el suministro de energía	- Mayor consumo de energía -Solidificación de productos -Daños en el equipo					- Mantenimiento de los sistemas de control -Implementar sistemas de alarma
MÁS	Presión	- Sobrecalentamiento de aceite - Ajuste incorrecto de la válvula de presión	-Sobrepresión en el tanque generando riesgo de ruptura y fugas	Indicador de presión	2	4	8D	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control -Inspeccionar las valvulas de alivio de presión
		- Aumento significativo del flujo y/o temperatura en el tanque	- Mayor desgaste en el equipo					- Tener un control del flujo de entrada
MENOS		- Fugas en el tanque -Ajuste incorrecto de la válvula de presión	-Cavitación del sistema de bombeo -Interrupción del proceso					

Proyecto	Banco de reactores			P&ID	Figura 17			
Nodo	TK-905 y TK-906			Fecha	27/09/2023			
Descripción del nodo	Tanque del fluido calefactor							
Intención del nodo	Límite a las condiciones del proceso							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Obstrucción de la entrada de aire al tanque	-Variación de las condiciones óptimas de operación					valores anormales de presión en el tanque. -Asegurarse de que las entradas de aire estén libres de obstrucciones

Tabla 57. HAZOP Tren de evaporadores - Nodo E-1001

Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
<p>Proyecto Tren de evaporadores Nodo E-1001 Descripción del nodo Evaporador de tubos verticales modo de operación (simple efecto) Intención del nodo Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador</p> <p style="text-align: right;">P&ID Figura 19 Fecha 25/09/2023</p>								
NO	Flujo	-Bloqueos en la línea de alimentación - Válvulas cerradas HV-1014, HV-1062 - Fallo en las bombas de alimentación	- No hay alimento en la entrada del evaporador - Sobrecalentamiento del evaporador -Detención del proceso de evaporación	Indicador de flujo	2	3	6C	- Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación - Verificar que las válvulas se encuentran abiertas -Implementar un programa de mantenimiento para la bomba de alimentación y línea de alimentación
MÁS		- Apertura incorrecta de las válvulas HV-1014, HV-1062 -Fallo en el sistema de control de flujo - Aumento en la presión de descarga en las bombas dosificadoras	- Mayor producción de vapor debido a la sobrealimentación -Derrames por exceder el volumen en el evaporador -Saturación del sistema de condensación		2	3	6C	- Implementar controladores de flujo en los sistemas de alimentación del evaporador -Implementar un sistema de mantenimiento y control del caudal -Realizar inspecciones en las bombas

Proyecto	Tren de evaporadores			P&ID	Figura 19			
Nodo	E-1001			Fecha	25/09/2023			
Descripción del nodo	Evaporador de tubos verticales modo de operación (simple efecto)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> -Obstrucción de la línea de alimentación -Mala apertura o cierre de las válvulas HV-1014, HV-1062 - Falla en las bombas dosificadoras de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción en la generación de vapor -Aumento en la temperatura del sistema -Riesgo de sobrecalentamiento en el motor de la bomba de alimentación 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación - Implementar sistemas de control de flujo para detectar anomalías -Realizar inspecciones en las bombas
MÁS	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> -Fallo en el sistema de control de temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento del evaporador - Afectación en la calidad del producto -Daños en el equipo 	<ul style="list-style-type: none"> -Sensor de temperatura 	2	4	8D	<ul style="list-style-type: none"> -Realizar mantenimiento regular a los controladores - Mantenimiento preventivo del indicador de temperatura -Implementar un sistema de alarma cuando se detecten temperaturas anormales
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - Mayor flujo de vapor de servicio 						
		<ul style="list-style-type: none"> -Fallo en el sistema de control de temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución en la velocidad de evaporación -Afectación de la producción 	<ul style="list-style-type: none"> -Indicador de temperatura 	2	4	8D	<ul style="list-style-type: none"> -Realizar mantenimiento al sensor de temperatura - Verificación del indicador de temperatura

Proyecto	Tren de evaporadores				P&ID	Figura 19		
Nodo	E-1001				Fecha	25/09/2023		
Descripción del nodo	Evaporador de tubos verticales modo de operación (simple efecto)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Interrupción del suministro de calor	- Mayor desgaste en el equipo - Disminución en la conversión de la reacción					-Implementar un sistema de alarma cuando se detecten temperaturas anormales
MÁS	Presión	- Falla en la válvula de alivio HV-1013 - Fallo en el sistema de control de presión	-Sobrepresión en el evaporador que puede causar ruptura de sellos y tubería	Indicador de presión	2	4	8D	- Implementar sistemas de alarma que detecten alta presión -Realizar mantenimiento a las válvula de alivio - Regular la presión de descarga de las bombas dosificadoras
		-Bloqueos en la línea de vapor	- Mayor desgaste en el equipo					
MENOS		- Fallo en el sistema de control - La presión de descarga de las bombas dosificadoras es baja - Falla en la válvula de alivio HV-1013	-Cavitación del sistema de bombeo de reactivo. - Disminución en la velocidad de evaporación -Variación de las condiciones óptimas de operación		2	3	6C	- Implementar alarmas que detecten presiones bajas -Mantenimiento preventivo al indicador de presión - Regular la presión de descarga de las bombas dosificadoras

Proyecto	Tren de evaporadores						P&ID	Figura 19
Nodo	E-1001						Fecha	25/09/2023
Descripción del nodo	Evaporador de tubos verticales modo de operación (simple efecto)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- Fugas en las líneas de presión						-Realizar mantenimiento y revisión a las líneas de presión
MÁS	Nivel	- Fallo en el sistema de control de nivel -Incremento en la carga de alimentación -Mal funcionamiento de las válvulas de control	-Variación de las condiciones óptimas de operación -Riesgo de arrastre de líquido hacia el sistema de vapor -Derrames en el evaporador	Indicador de nivel	2	3	6C	-Implementar sistemas de alarma para detectar niveles altos -Revisión y calibración de los medidores de nivel -Mantenimiento preventivo a las válvulas de control
MENOS		-Fallo en las bomba de alimentación P-1001. P1002 -Mal funcionamiento de las válvulas de control -Pérdida de líquido por exceso de evaporación	-Riesgo de sobrecalentamiento del evaporador -Daños en el equipo -Pérdida de eficiencia del proceso		2	3	6C	-Implementar sistemas de alarma para detectar niveles bajos -Mantenimiento preventivo a las válvulas de control -Mantenimiento a las bombas de alimentación

Tabla 58. Hazop tren de evaporadores - Nodo E-1002

Proyecto		Tren de evaporadores					P&ID	Figura 19
Nodo		E-1002					Fecha	25/09/2023
Descripción del nodo		Evaporador de tubos horizontales modo de operación (simple efecto)						
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
NO	Flujo	-Bloqueos en la línea de alimentación - Válvulas cerradas HV-1020, HV-1084 - Fallo en la bomba de alimentación P-1003	- No hay alimento en la entrada del evaporador - Sobrecalentamiento del evaporador -Detención del proceso de evaporación	Indicador de flujo	2	3	6C	- Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación - Verificar que las válvulas se encuentran abiertas -Implementar un programa de mantenimiento para la bomba de alimentación y línea de alimentación
		-Fallo en el sistema de control de flujo -Aumento de flujo de entrada de líquido - Aumento en la presión de descarga	- Sobrealimentación en el interior del evaporador -Riesgo de arrastre de líquido no evaporado hacia el sistema de vapor - Afectación en la calidad del producto.					-Implementar sistemas de monitoreo para detectar cambios anormales en el flujo -Revisión de las válvulas de control -Realizar inspecciones en las bombas

Proyecto	Tren de evaporadores						P&ID	Figura 19
Nodo	E-1002						Fecha	25/09/2023
Descripción del nodo	Evaporador de tubos horizontales modo de operación (simple efecto)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		en las bombas dosificadoras						
MENOS		-Obstrucción de la línea de alimentación -Mala apertura o cierre de las válvulas HV-1020, HV-1084 -Falla en las bombas dosificadoras de alimentación	- Reducción en la generación de vapor -Riesgo de sobrecalentamiento -Posible formación de sólidos en el interior del evaporador		2	3	6C	- Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación - Implementar sistemas de control de flujo para detectar anomalías -Realizar inspecciones en las bombas -Realizar mantenimiento a las válvulas
MÁS	Temperatura	-Fallo en el sistema de control de temperatura	-Sobrecalentamiento del evaporador - Afectación en la calidad del producto		2	4	8D	-Realizar mantenimiento regular a los controladores
		- Mayor flujo de vapor de servicio	-Daños en el equipo	-Sensor de temperatura				- Mantenimiento preventivo del indicador de temperatura -Implementar un sistema de alarma cuando se

Proyecto	Tren de evaporadores						P&ID	Figura 19
Nodo	E-1002						Fecha	25/09/2023
Descripción del nodo	Evaporador de tubos horizontales modo de operación (simple efecto)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
								detecten temperaturas anormales
MENOS		-Fallo en el sistema de control de temperatura - Disminución en la temperatura del vapor suministrado	- Disminución en la velocidad de evaporación -Afectación de la producción - Mayor desgaste en el equipo -Riesgo de condensación en el evaporador	-Indicador de temperatura	2	4	8D	-Realizar mantenimiento al sensor de temperatura - Verificación del indicador de temperatura -Implementar un sistema de alarma cuando se detecten temperaturas anormales
MÁS	Presión	- Falla en las válvulas de alivio - HV-1019 - Fallo en el sistema de control de presión	-Sobrepresión en el evaporador que puede causar ruptura de sellos y tubería - Mayor desgaste en el equipo -Afectación de la velocidad de reacción	Indicador de presión	2	5	10E	- Implementar sistemas de alarma que detecten alta presión -Realizar mantenimiento a las válvulas de alivio - Regular la presión de descarga de las bombas dosificadoras
		-Bloqueos en la línea de vapor						
MENOS		- Fallo en el sistema de control	-Cavitación del sistema de bombeo de reactivo.		2	3	6C	- Implementar alarmas que detecten presiones bajas

Proyecto	Tren de evaporadores						P&ID	Figura 19
Nodo	E-1002						Fecha	25/09/2023
Descripción del nodo	Evaporador de tubos horizontales modo de operación (simple efecto)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		- La presión de descarga de las bombas dosificadoras es baja - Fugas en las líneas de presión	- Disminución en la velocidad de evaporación -Variación de las condiciones óptimas de operación					-Mantenimiento preventivo al indicador de presión - Regular la presión de descarga de las bombas dosificadoras -Realizar mantenimiento y revisión a las líneas de presión
MÁS	Nivel	- Fallo en el sistema de control de nivel -Incremento en la carga de alimentación -Mal funcionamiento de las válvulas de control	-Variación de las condiciones óptimas de operación -Riesgo de arrastre de líquido hacia el sistema de vapor -Derrames en el evaporador	Indicador de nivel	2	4	8D	-Implementar sistemas de alarma para detectar niveles altos -Revisión y calibración de los medidores de nivel -Mantenimiento preventivo a las válvulas de control
MENOS		-Fallo en las bomba de alimentación P-1002. P1003	-Riesgo de sobrecalentamiento del evaporador		2	3	6C	-Implementar sistemas de alarma para detectar niveles bajos

Proyecto	Tren de evaporadores		
Nodo	E-1002		
Descripción del nodo	Evaporador de tubos horizontales modo de operación (simple efecto)	P&ID	Figura 19
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador	Fecha	25/09/2023

<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Mal funcionamiento de las válvulas de control -Pérdida de líquido por exceso de evaporación	-Daños en el equipo -Pérdida de eficiencia del proceso					-Mantenimiento preventivo a las válvulas de control -Mantenimiento a las bombas de alimentación

Tabla 59. HAZOP Tren de evaporadores - Nodo E-1003

Proyecto		Tren de evaporadores					P&ID	Figura 19
Nodo		E-1003					Fecha	25/09/2023
Descripción del nodo		Evaporador de chaqueta (simple efecto)						
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
NO	Flujo	- Válvulas cerradas HV-1027, HV-1009	- No hay alimento en la entrada del evaporador	Indicador de flujo	2	3	6C	- Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación
		- Fallo en las bombas de alimentación -Obstrucción en la línea de alimentación	- Sobrecalentamiento del evaporador -Detención del proceso de evaporación					- Verificar que las válvulas se encuentran abiertas -Mantenimiento preventivo para la bomba de alimentación y línea de alimentación
MÁS	Flujo	- Aumento de flujo de entrada de líquido -Válvula abierta incorrectamente - Aumento en la presión de descarga en las bombas dosificadoras	- Sobrealimentación en el interior del evaporador -Derrames por exceder el volumen del evaporador - Afectación en la calidad del prodcuto.	Indicador de flujo	2	3	6C	-Implementar sistemas de monitoreo para detectar cambios anormales en el flujo -Revisión de las válvulas de control -Realizar inspecciones en las bombas

Proyecto	Tren de evaporadores			P&ID	Figura 19			
Nodo	E-1003			Fecha	25/09/2023			
Descripción del nodo	Evaporador de chaqueta (simple efecto)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS		<ul style="list-style-type: none"> - La carga de alimento que parte del tanque es baja -Obstrucción de la línea de alimentación - Ruptura o fuga en el sistema de tubería de alimentación al evaporador -Fallo en las válvulas - Falla en las bombas dosificadoras de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación insuficiente en el evaporador -Afectación en el proceso de evaporación - Disminución en la velocidad de reacción del proceso 		2	3	6C	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar mantenimiento y limpieza en la tubería de alimentación - Implementar un sistema de control de flujo
	MÁS	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> -Fallo en el sistema de control de temperatura - Mayor flujo de vapor de servicio 	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento del evaporador - Afectación en la calidad del producto -Daños en el equipo 	Sensor de temperatura	2	4	8D

Proyecto	Tren de evaporadores				P&ID		Figura 19	
Nodo	E-1003				Fecha		25/09/2023	
Descripción del nodo	Evaporador de chaqueta (simple efecto)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							<i>Recomendaciones</i>
MENOS		-Fallo en el sistema de control de temperatura	- Disminución en la velocidad de evaporación -Afectación de la producción		2	2	4B	-Realizar mantenimiento al sensor de temperatura
		- Interrupción del suministro de calor	- Mayor desgaste en el equipo					-Implementar un sistema de alarma para detectar temperaturas anormales
MÁS	Presión	- Falla en las válvulas de alivio V-1026	-Sobrepresión en el evaporador que puede causar ruptura de sellos y tubería	Indicador de presión	2	3	6C	- Implementar sistemas de alarma que detecten alta presión
		- Fallo en el sistema de control de presión	- Mayor desgaste en el equipo					-Realizar mantenimiento a las válvulas de alivio - Regular la presión de descarga de las bombas dosificadoras
		-Bloqueos en la línea de vapor	-Afectación de la velocidad de reacción -Pérdida de calidad del producto					

Proyecto		Tren de evaporadores					P&ID	Figura 19
Nodo		E-1003					Fecha	25/09/2023
Descripción del nodo		Evaporador de chaqueta (simple efecto)						
Intención del nodo		Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS		- Fallo en el sistema de control	-Cavitación del sistema de bombeo de reactivo.		2	3	6C	- Implementar alarmas que detecten presiones bajas -Mantenimiento preventivo al indicador de presión - Regular la presión de descarga de las bombas dosificadoras -Realizar mantenimiento y revisión a las líneas de presión
		- La presión de descarga de las bombas dosificadoras es baja	- Disminución en la velocidad de evaporación					
		- Fugas en las líneas de presión	-Variación de las condiciones óptimas de operación					
MÁS	Nivel	- Fallo en el sistema de control de nivel	-Variación de las condiciones óptimas de operación	Indicador de nivel	2	3	6C	-Implementar sistema de alarma para detectar variaciones en el nivel -Controlar la carga de alimentación
		-Cambios en la carga de alimentación	-Reacciones no deseadas -Derrames en el evaporador					

Proyecto	Tren de evaporadores				P&ID		Figura 19	
Nodo	E-1003				Fecha		25/09/2023	
Descripción del nodo	Evaporador de chaqueta (simple efecto)							
Intención del nodo	Límite a las condiciones requeridas del proceso sin afectaciones a la integridad del evaporador							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MENOS		- Falla en el sistema de control de nivel -Cambios en la carga de alimentación	- Mezcla inadecuada de los reactivos -Posible sobrecalentamiento del evaporador - Disminución en la eficiencia del proceso		2	3	6C	-Implementar sistema de alarma para detectar variaciones en el nivel -Controlar la carga de alimentación

Tabla 60. HAZOP Biorreactor - Nodo Biorreactor

Proyecto	Biorreactor Bionet F1				Fecha		13/09/2023	
Nodo	Biorreactor Bionet F1							
Descripción del nodo	Biorreactor							
Intención del nodo	No sobrepasar la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
NO	Flujo de aire	- Fallo en el sistema de suministro	- Limitación de la disponibilidad de oxígeno	indicador de flujo	2	3	6C	-Implementar un programa de mantenimiento riguroso para el suministro de aire

Proyecto	Biorreactor Bionet F1							
Nodo	Biorreactor Bionet F1							
Descripción del nodo	Biorreactor				Fecha			
Intención del nodo	No sobrepasar la capacidad de diseño				13/09/2023			
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
			-Afectación negativa para el proceso de fermentación aerobica - Desgaste del equipo					-Realizar verificaciones en el equipo
MÁS		-Fallo en el sistema de control.	-Aumento en la concentración de oxígeno del biorreactor -Afectación negativa de la fermentación - Daños en el equipo		2	3	6C	- Realizar verificaciones y calibraciones de los equipos medidores de flujo - Implementar sistemas de alarma
MENOS		-Fallo en el sistema de control - Limitación en la disponibilidad de oxígeno.	- Detención del proceso -Afectación de la fermentación aerobica		2	3	6C	-Implementar un sistema de mantenimiento para el control de flujo - Implementar sistemas de alarma
NO	Flujo de nutrientes	- Fallo en el sistema de alimentación	- Crecimiento de microorganismos insuficiente	indicador de flujo	2	3	6C	-Implementar un programa de mantenimiento riguroso para el suministro de nutrientes.

Proyecto	Biorreactor Bionet F1							
Nodo	Biorreactor Bionet F1							
Descripción del nodo	Biorreactor					Fecha		
Intención del nodo	No sobrepasar la capacidad de diseño							
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
			-Afectación negativa para el proceso de producción de biomasa					
MÁS		-Fallo en el sistema de alimentación.	-Sobrealimentación de los microorganismos -Afectación negativa de la producción.		2	3	6C	-Implementar un programa de mantenimiento para el sistema de alimentación
MENOS		-Fallo en el sistema de alimentación	- Crecimiento de microorganismos limitado -Afectación negativa para el proceso de producción de biomasa		2	3	6C	-Implementar un programa de mantenimiento para el sistema de alimentación
MÁS	Temperatura	- Fallas en los sistemas de control	- Inactivación de los microorganismos	Sensor de temperatura	2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura.

Proyecto	Biorreactor Bionet F1							
Nodo	Biorreactor Bionet F1							
Descripción del nodo	Biorreactor						Fecha	13/09/2023
Intención del nodo	No sobrepasar la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
			-Afectación negativa de la producción					- Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control - Implementar límites de temperatura en el sistema de control.
MENOS		- Fallas en los sistemas de control -Problemas en el suministro de energía	- Disminución en la eficiencia del proceso -Crecimiento lento de los microorganismos -Producción lenta		2	2	4A	-Calibrar los sensores de temperatura - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control -Implementar sistemas de alarma
MÁS	Nivel	- Fallo en el sistema de control	- Desbordamiento del biorreactor	indicador de nivel	2	4	8D	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de nivel. - Implementar un sistema de control de nivel

Proyecto		Biorreactor Bionet F1						
Nodo		Biorreactor Bionet F1						
Descripción del nodo		Biorreactor				Fecha		
Intención del nodo		No sobrepasar la capacidad de diseño						
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
		-Obstrucción en el sistema de drenaje	-Daños en el equipo -Riesgos ambientales					- Mantenimiento preventivo en los sistemas de control
MENOS		- Fallas en el sistema de control -Fugas en el sistema de suministro	-Crecimiento de los microorganismos limitado - Afectación negativa de la producción -Pérdida en la calidad de producto -Disminución de la eficiencia del proceso		2	4	8D	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control -Implementar un sistema de detección de fugas - Implementar un sistema de control de nivel -Implementar sistemas de alarma
MÁS	Presión	- Fallo en el sistema de control	-Riesgo de ruptura del biorreactor	indicador de presión	2	4	8D	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control -Inspeccionar las valvulas de alivio de presión

Proyecto	Biorreactor Bionet F1							
Nodo	Biorreactor Bionet F1							
Descripción del nodo	Biorreactor					Fecha		
Intención del nodo	No sobrepasar la capacidad de diseño							
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
								- Tener un control del flujo de entrada -Implementar un control de temperatura para evitar el sobrecalentamiento
MENOS		- Fallo en el sistema de control	-Reducción de la eficiencia del proceso -Interrupción del proceso	indicador de presión	2	4	8D	-Mantenimiento preventivo para detectar y prevenir fugas en el sistema

Tabla 61. HAZOP Reactor de alta presión - Nodo reactor de alta presión

Proyecto		Reactor de alta presión						
Nodo		Reactor de alta presión						
Descripción del nodo		reactor			Fecha			
Intención del nodo		No sobrepasar la capacidad de diseño						
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
MÁS	Temperatura	- Fallo en el sistema de control	- Sobrecalentamiento del reactor -Reducción de la productividad -Daños en el equipo	Controlador de temperatura	2	2	4A	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de temperatura. - Realizar monitoreo constante de la temperatura durante el proceso. - Mantenimiento de los sistemas de control - Implementar límites de temperatura en el sistema de control.
		- Fallo en el sistema de control	-Ralentización de las reacciones -Disminución de la producción -Daños en el equipo					2

Proyecto	Reactor de alta presión							
Nodo	Reactor de alta presión							
Descripción del nodo	reactor				Fecha			
Intención del nodo	No sobrepasar la capacidad de diseño							
Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	F	I	Valoración-Riesgo	Recomendaciones
Palabra guía	Parámetro							
MÁS	Nivel	-Fallo en el sistema de control de nivel	-Desbordamiento del reactor -Daños en los equipos -Daños ambientales	Indicador de nivel	2	4	8D	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de nivel en el reactor. - Implementar medidas de control de nivel
MENOS		-Fallo en el sistema de control de nivel	-Daños en el equipo -Interrupción del proceso -Afectación negativa de las reacciones químicas		2	3	6C	-Implementar sistemas de alarma para detectar la disminución de nivel en el tanque - Implementar medidas de control de nivel
MÁS	Presión	- Fallo en el sistema de control de presión	-Sobrepresión en el reactor generando riesgo de ruptura y fugas	indicador de presión	2	4	8D	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control -Implementar un sistema de alarma para detectar incrementos inusuales de presión
MENOS		- Fallo en el sistema de	- Reducción de la velocidad de reacción	indicador de presión	2	3	6C	- Mantenimiento preventivo de los sistemas de control

Proyecto	Reactor de alta presión							
Nodo	Reactor de alta presión							
Descripción del nodo	reactor				Fecha		13/09/2023	
Intención del nodo	No sobrepasar la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		control de presión	-Interrupción del proceso					-Implementar un sistema de alarma para detectar disminuciones inusuales de presión

Tabla 62. HAZOP Tanques de almacenamiento CUBO

Proyecto		Tanques de almacenamiento CUBO						
Nodo		Tanque de almacenamiento de agua						
Descripción del nodo		Tanque de almacenamiento de agua				Fecha		27/09/2023
Intención del nodo		No sobrepasar la capacidad de diseño						
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
MÁS	Nivel	-Aumento en el flujo de agua -Fallo en la válvula de control -Precipitaciones continuas	- Desbordamiento del tanque -Desperdicio de agua -Riesgo de inundación	indicador de nivel	2	3	6C	-Instalar un sistema de alarma para detectar aumentos de nivel en el tanque. -Verificar el funcionamiento de la válvula de control - Implementar un control del flujo de entrada
MENOS		-Flujo de entrada de agua insuficiente -Disminución de las precipitaciones	-Reducción en la eficiencia del proceso por falta de agua para tratamiento -Detencion del proceso que puede generar incumplimiento en la normativa de tratamiento de aguas		2	4	8D	- Tener un control del flujo de entrada -Implementar sistemas de alarma para detectar la disminución de nivel en el tanque
NO	Flujo de agua	- Obstrucción en las tuberías	-Interrupción del suministro de agua a los tanques	indicador de flujo	2	3	6C	-Realizar mantenimiento preventivo a la bombas y tuberías

Proyecto	Tanques de almacenamiento CUBO							
Nodo	Tanque de almacenamiento de agua							
Descripción del nodo	Tanque de almacenamiento de agua				Fecha	27/09/2023		
Intención del nodo	No sobrepasar la capacidad de diseño							
<i>Desviación</i>		<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Salvaguardas</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>Valoración-Riesgo</i>	<i>Recomendaciones</i>
<i>Palabra guía</i>	<i>Parámetro</i>							
		-Fallo eléctrico de la bomba	-Detención del proceso de tratamiento de aguas					- Implementar un sistema de detección de fallos en la válvula
MÁS		-Mayor caudal de entrada de agua -Aumento en la velocidad de operación de las bombas	-Sobrecarga en las bombas -Daños en las bombas por exceder la capacidad de diseño -Interrupción del proceso de tratamiento de aguas		2	4	8D	- Realizar mantenimiento preventivo a las bombas y tuberías - Implementar sistemas de control de caudal y flujo -Realizar análisis de la capacidad del sistema
MENOS		- Obstucción en las tuberías - Fallos en las bombas	- Reducción del suministro de agua que puede detener el proceso -Sobrecarga en las bombas		2	4	8D	- Realizar mantenimiento preventivo a las bombas y tuberías - Implementar sistemas de control de flujo