



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

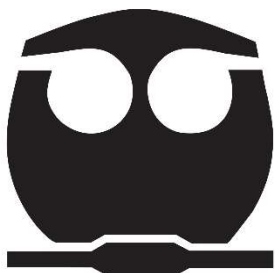
FACULTAD DE QUÍMICA

“EVALUACIÓN
DE RIESGOS PARA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:
SAHAD JANYLA ROSALES ORTEGA

ASESOR:
JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX,

2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: ISAIAS ALEJANDRO ANAYA Y DURAN

VOCAL: JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ

SECRETARIO: MARTIN RIVERA TOLEDO

1er. SUPLENTE: ALMA DELIA ROJAS RODRIGUEZ

2° SUPLENTE: ALEJANDRA MENDOZA CAMPO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: CONJUNTO E, EDIFICIO DE INGENIERÍA QUÍMICA, CUBÍCULO 6

ASESOR DEL TEMA: JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ

SUPERVISOR TÉCNICO (Si lo hay): N/A

SUSTENTANTE (S): SAHAD JANYLA ROSALES ORTEGA

Dedicatoria

A mis PADRES quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional ante cualquier situación. Agradezco infinitamente cada consejo, regaño, apoyo brindado ante cualquier situación que se me ha presentado, agradezco infinitamente que fueran duros conmigo cuando lo necesite, pues gracias al excelente trabajo que hicieron al educarme con firmeza y amor, hoy en día soy una mujer que logro superar las expectativas de todos.

A mis ABUELOS MATERNOS quienes nunca me dejaron sola en este camino y me brindaron su apoyo cada que lo necesite.

A mis HERMANOS, por apoyarme, brindarme apoyo incondicional y creer en mí. Particularmente quiero agradecer a mi HERMANO EDUARDO, ya que el tiempo que estuvo en espera de ingresar a la preparatoria el hacia un esfuerzo por levantarse a trabajar con mi padre cada mañana para que ni a mi hermana ni a mi nos faltara nunca para nuestros pasajes.

“El éxito no es un accidente. Es un trabajo duro, perseverancia, aprendizaje, estudio, sacrificio y, sobre todo, amor por lo que estás haciendo o aprendiendo a hacer.”

- D. Rockefeller

Tabla de contenido

CAPITULO 1	8
1.1 MOTIVACION.....	8
1.2 OBJETIVO	10
1.2.1 Objetivos Particulares	10
1.3 JUSTIFICACIÓN	11
1.4 GENERALIDADES	12
1.4.1 Proceso para el tratamiento de residuos.	12
1.4.2 Descripción del proyecto analizado.....	15
1.4.3 Generalidades del proyecto	16
1.4.4 Generalidades del proceso.	17
1.4.5 Descripción del proceso	17
1.5 METODOLOGÍA APLICADA	23
CAPITULO 2	24
2.1 MARCO TEÓRICO	24
2.1.2 Agotadores con vapor.	26
2.1.3 Agotadores con gas de chimenea.....	27
2.1.4 Agotadores de gas combustible	27
2.2 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS	28
2.2.1 ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERATIVIDAD (HAZOP)	33
2.2.2 Objetivo	34
2.2.3 Características	34
2.2.4 Previos al HAZOP.....	34
2.2.5 NODOS.....	35
2.2.6 Desviaciones a estudiar	35
2.2.7 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS	36
2.2.8 METODOLOGÍA PARA ELABORACIÓN DE ÁRBOL DE FALLAS.....	36

2.2.9 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	37
2.2.10 Criterios para Análisis de Consecuencias	38
CAPITULO 3	40
TRABAJO DE CAMPO	40
3.1 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS.....	40
3.1.1 Marco Jurídico Aplicable	41
3.1.2 Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo DOF 21-01-1997	41
3.1.3 Normas Oficiales Mexicanas.....	42
3.2 TABLA DE VERIFICACIÓN	43
3.2.1 Tabla De Activos	46
3.2.2 Riesgos Activos	48
3.2.3 Matriz De Riesgos	50
3.3 RECOMENDACIONES DE BUENAS PRÁCTICAS	51
3.3.1 Tabla de Recomendaciones	52
CAPITULO 4	53
4.1 ANÁLISIS DE ESCENARIOS HAZOP.....	53
4.1 Actividad Y Sistemas Analizados Con HAZOP	53
4.1.1 Matriz de Riesgos HAZOP	53
4.1.2 Matriz de Clases y Criterios de Jerarquización.....	55
4.1.3 ANÁLISIS APLICANDO MÉTODO HAZOP	56
4.1.4 Circuitos Seleccionados para Análisis HAZOP	56
4.1.5 Descripción de Circuitos para HAZOP	56
4.1.6 Hojas De Registro HAZOP	57
4.1.7 Circuito 1	57
4.1.8 Circuito 2	61
4.1.9 Circuito 3	63
4.1.10 Circuito 4	64
4.2 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS	65
4.2.1 Criterios Árbol de Fallas	65

4.2.2 Descripción de Escenarios.	67
4.2.3 Diagramas de Árbol de Fallas.	68
4.2.4 Hojas De Cálculo Aplicando Técnica de Conjuntos Mínimos.	68
4.2.5 Árbol De Fallas Para "Fuga De Agua Amarga En La Bomba De Descarga"	68
4.2.6 Árbol De Fallas Para "Bajo Nivel En La Torre De Agotamiento"	70
4.2.7 Diagramas Realizados Para Árbol De Fallas	73
4.2.8 Diagrama Árbol De Fallas Para "Fuga De Agua Amarga En Bomba De Descarga"	73
4.2.9 Diagrama Árbol De Fallas Para "Bajo Nivel En Torre De Agotamiento"	74
CAPITULO 5	75
5.1 CONCLUSIONES	75
5.2 BIBLIOGRAFÍA	76
ANEXOS.	77
ANEXO I	78
Diagrama De Flujo De Proceso (DFP)	78
Selección de Nodos En DFP	79
ANEXO II	80
Diagramas de Árbol de Fallas "Fuga de Aguas Amargas"	80
Diagramas de Árbol de Fallas "Bajo Nivel en Torre de Agotamiento"	81

CAPITULO 1

1.1 MOTIVACION

Las plantas de refinación de petróleo llevan a cabo una serie de procesos de separación aplicado al petróleo crudo, con la finalidad de separar los componentes útiles y adecuarlos para poder satisfacer las necesidades de la sociedad. El proceso de refinación de petróleo a su vez produce aguas amargas debido a la naturaleza del proceso mismo. Dichos efluentes cuentan con grandes cantidades de ácido sulfhídrico y amoniacos, los cuales tienen un fuerte impacto ambiental por lo cual es indispensable llevar a cabo un proceso para su tratamiento específico.

En la planta de tratamiento de aguas residuales es necesario utilizar algunos productos químicos como son gases ácidos o hidrocarburos ligeros volátiles, dichos productos intervienen en el proceso de forma directa logrando con ello el tratamiento de las aguas amargas, sin embargo los productos químicos utilizados durante el proceso son nocivos para la salud de no ser trabajados adecuadamente se podrían presentar escenarios de riesgos en la operación o personal, se requiere efectuar el análisis de riesgos con el fin de identificar los puntos débiles en el área y tomar medidas preventivas que eviten pérdidas humanas, ecológicas y económicas.

La planta de tratamiento en la cual se sustenta el presente trabajo, nos arrojó los indicativos para desarrollar y aplicar técnicas para familiarizarnos con el proceso del trabajo realizado y determinar los posibles riesgos laborales existentes que pudieran ocurrir, fundamentándose para tal fin en el alto porcentaje de accidentes ocurridos en México donde, a pesar de los avances en la reducción de accidentes las estadísticas siguen mostrando que son insuficientes o ineficaces las medidas establecidas en cada uno de los centros de trabajo.

En el 2009 se registraron en México mil 412 defunciones por riesgos laborales, así como 411 mil accidentes de trabajo, los cuales son la primera causa de incapacidad temporal en el país y representan el 81% de los riesgos registrados por el Instituto Mexicano del

Seguro Social (IMSS). Lo que corresponde a 2.3 millones de muertes al año¹. Además de los accidentes no registrados ante el seguro social por la falta de cultura e intereses de las propias empresas.

Sin embargo, los riesgos no sólo son latentes dentro de las instalaciones, un accidente podría dañar poblaciones aledañas y/o contaminar el ambiente en tal magnitud que los daños podrían ser irreversibles, generalmente este tipo de acontecimientos se dan a causa del mal manejo y de la poca importancia que se le da al uso de agentes químicos potencialmente dañinos.

A continuación, en la **Tabla 1**. Encontraremos algunos casos de Accidentes presentados en México, así como el impacto generado por el incidente.

Localidad	Origen del accidente	Productos involucrados	Muerto	Lesionados	Evacuados
Cd. México	Explosión Planta	Mercaptanos	-	>125	>100
Guadalajara	Explosión Alcantarillado	Hidrocarburos	206	1500	6500
S.L.P	Fuga	Butano	-	40	-
Cd. México	Fuga	Ácido Clorhídrico	-	200	500
México	Explosión	Paratión	-	300	-

Tabla 1 Accidentes en México con sustancias químicas²

El alcance de los accidentes con productos químicos depende en gran parte de la cuantía de la sustancia. Sin embargo, el utilizar y/o almacenar cantidades consideradas de ciertos productos químicos es, en la mayoría de los casos, esencial en el proceso productivo, como en las plantas de tratamiento de aguas residuales, donde el cloro es parte fundamental en el tratamiento del agua.

Por tal motivo es de vital importancia llevar acabo análisis de riesgo y examinar los procesos y procedimientos de trabajo permitiendo el conocimiento de todos aquellos riesgos a los que se encuentran expuestos los trabajadores, medio ambiente y comunidad en general.

¹ <http://www.gaceta.udg.mx/Hemeroteca/paginas/627/627.pdf>. Septiembre 2010

² ACCIDENTES QUÍMICOS: Estudios de Riesgos Químicos, Dirección de Protección Civil del Municipio de León

1.2 OBJETIVO

Llevar a cabo un análisis de riesgos detallado, donde se busca identificar y evaluar los riesgos potenciales que pueden ser presentados dentro de una planta de tratamiento de aguas amargas, partiendo de los documentos realizados en la ingeniería básica e ingeniería de detalle del proyecto. Realizar la evaluación de riesgos con el propósito de identificar los siniestros que podrían presentarse en la planta.

La identificación de siniestros probables servirá como base para la aplicación de acciones contingente ante un incidente de riesgo en la planta de tratamiento de aguas amargas.

1.2.1 Objetivos Particulares

- Realizar un análisis semicuantitativo de riesgos latentes en una planta de tratamiento de aguas amargas mediante la aplicación del análisis HAZOP
- Identificar escenarios hipotéticos de riesgos, realizar una evaluación de las consecuencias y proponer un plan de acción para el control de los siniestros.
- Realizar una lista de recomendaciones para aumentar la seguridad de la operación en la planta.
- Aplicar un análisis cuantitativo, utilizando la técnica de Árbol de Fallas y Análisis de Consecuencias.
- Establecer medidas de control para reducir los riesgos
- Crear una conciencia sobre la importancia de conocer todos los riesgos presentes dentro del ambiente laboral en la industria química.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Es importante realizar un análisis de riesgos adecuado, fundamentando el análisis sobre la información presentada en las bases de diseño, ingeniería básica, ingeniería de detalle del proyecto, esto permitirá minimizar los peligros que se puedan presentar en la operación de la planta, buscando evitar consecuencias negativas en la operación. Para la identificación de sinestros probables en la planta, se emplean metodologías aparentemente subjetivas, así como la aplicación de un software que muestra posibles escenarios.

Determinar la existencia de un verdadero riesgo va más allá de conformarse con ver documentos que avalen inspecciones, capacitaciones, mantenimientos, observar las instalaciones o las condiciones en que trabajan o entrevistar a los trabajadores sobre sus actividades cotidianas.

Algunos peligros y quizá los de mayor importancia muchas veces son pasados por alto o se encuentran ocultos debido a la falta de experiencia ya sea de procesos, procedimientos, normatividad etc.

La ocurrencia de incidentes peligrosos, puede ser presentado debido a diversas razones, sin embargo, la causa más común por la cual se presenta un incidente de riesgo, es debido al desconocimiento mismo de los riesgos presentes en el entorno.

El conocimiento del alcance que pudiese tener un evento de riesgo ayudara en la aplicación de las medidas adecuadas preventivas para salvaguardar la vida del personal, el ambiente y el capital de la planta. Lo anterior sustenta que la prevención es la base para evitar accidentes que causen daños irreparables.

1.4 GENERALIDADES

1.4.1 Proceso para el tratamiento de residuos.

Las plantas de refinación de petróleo llevan a cabo una serie de procesos de separación aplicado al petróleo crudo, con la finalidad de separar los componentes útiles y adecuarlos para poder satisfacer las necesidades de la sociedad. El proceso de refinación de petróleo a su vez produce aguas amargas debido a la naturaleza del proceso mismo. Dichos efluentes cuentan con grandes cantidades de ácido sulfhídrico y amoniacos, los cuales tienen un fuerte impacto ambiental por lo cual es indispensable llevar a cabo un proceso para su tratamiento específico.

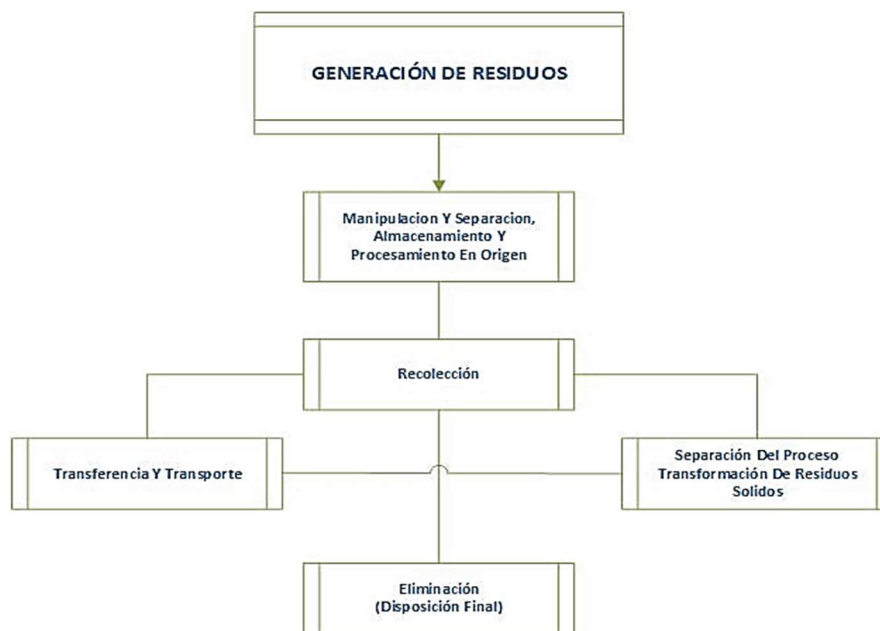


ILUSTRACIÓN 1 FUNDAMENTOS DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

A continuación, los pasos indicados en la Ilustración 1, se describen brevemente:

Generación de RSU: Se da principalmente en los hogares, oficinas o espacios públicos y ocurre cuando los materiales son identificados como inservibles o que ya no tienen ningún valor para las actividades en las que son utilizados, por lo que son desechados o

almacenados para su posterior disposición. De acuerdo con la SEMARNAT, en el 2011 se generaron poco más de 41 millones de ton de RSU en el país, tomando como referencia un promedio aproximado de 1 kg de RSU generado al día por cada habitante.³

Manejo, separación y almacenamiento de RSU: Involucra todas las actividades que van desde la generación de los residuos hasta que son colocados en depósitos apropiados para su recolección. Comúnmente, el manejo de residuos se refiere al traslado de los contenedores donde estos son depositados hasta el punto de recolección habitual. La separación incluye la identificación y clasificación manual de los residuos, la separación desde el lugar de generación ayuda en gran medida a la recolección, transferencia y disposición final de los RSU. El único estado de la República Mexicana en donde está reglamentada la recolección de residuos separados en inorgánicos y orgánicos es el Distrito Federal.⁴

Recolección de RSU: Incluye el acopio de todos los tipos de RSU y su transporte hacia las estaciones de transferencia, o directamente a disposición final según sea el caso. De acuerdo con SEMARNAT, en el 2011 se recolectaron 104,000 ton de RSU diarias aproximadamente en todo el país, con un total de 14,000 vehículos recolectores.⁵

Transferencia y transporte: Se lleva a cabo la transferencia de los residuos de vehículos para su subsecuente transporte hacia las plantas de procesamiento y recuperación de materiales reciclables, o a los espacios de disposición final, en el caso de los residuos sólidos no reciclables. Según el SNIARN⁶, en el 2010 se contaba con 108 estaciones de transferencia y 241 centros de acopio registrados en todo el país.⁷

Procesamiento y transformación de los residuos sólidos: Los procesos de transformación se utilizan tanto para reducir el volumen y el peso de los residuos para su disposición final, como para recuperar productos reciclables que son enviados a plantas especializadas para cada tipo de material. En los últimos años se han incorporado plantas

³ (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

⁵ (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

⁶ SNIARN Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales)

⁷ (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

para recuperar productos de conversión y energía mediante procesos químicos (combustión) o biológicos (compostaje). Desafortunadamente en México, se tiene registro de pocos centros para aprovechar el contenido energético de la FORSU, incluso el compostaje aún es limitado⁸

Disposición Final: Actualmente, los rellenos sanitarios son el destino final de los residuos sólidos no reciclables que son apartados desde la generación, el manejo y separación, la recolección, la transferencia, e incluso los remanentes de las plantas de tratamiento de residuos (en el caso del DF). Un relleno sanitario moderno ya no es un simple tiradero, sino que es todo un método controlado de disposición de RSU. En México, se tienen registrados solamente 238 rellenos sanitarios, mientras que existen 1645 tiraderos a cielo abierto registrados en el 2010 según la SEMARNAT

El necesario tener un modelo de referencia con el cual sea posible comparar los resultados de las evaluaciones y verificar el alcance y validez de los mismos, por lo tanto, es necesario tener una alternativa tecnológica para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos municipales como la Digestión Anaerobia. Se tomará como referencia la tecnología BEKON Energy Technologies GmbH & CO fue fundada en 1992 en Alemania. Esta compañía es líder en la planeación, diseño, construcción y operación de plantas de biogás por lotes para la generación de electricidad a partir de residuos orgánicos, principalmente de la (FORSU)⁹.

⁹ BEKON Energy Technologies, 2012

Proceso para el diseño de una planta piloto de digestor anaerobio para FORSU

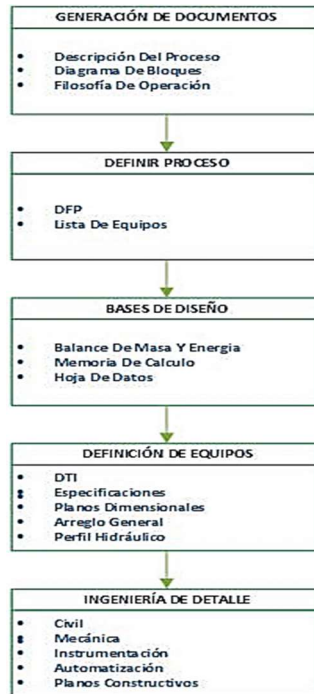


ILUSTRACIÓN 2 METODOLOGÍA PARA UNA PLANTA PILOTO DE DA PARA FORSU

1.4.2 Descripción del proyecto analizado.

El proyecto de una nueva Planta de Tratamiento de Aguas Amargas para la refinería “Francisco I Madero”, tiene por objetivo la remoción de ácido sulfhídrico y amoníaco contenido en aguas amargas. El proceso será llevado a cabo a partir del método de agotamiento con gas combustible, para el cual se utilizará una columna de platos con una sección de rectificación chimenea y una sección de agotamiento.

La planta será diseñada para una operación normal de 10,000 BPD de capacidad de carga de aguas amargas provenientes de cuatro procesos; tres hidrotratamientos de diésel UBA y de la planta de Recuperación de Azufre nueva. De las hidros, 2 son plantas nuevas y la tercera corresponde a la modernización de una existente, según lo establecido en las Bases de Diseño.

La planta de aguas amargas genera como producto principal agua desflemada (agotada) dentro de especificación ecológica, para su reúso en el desalado de las

plantas combinadas y en la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la refinería (lagunas de oxidación); adicionalmente, se obtiene una corriente de gas ácido con alto contenido de NH₃ y H₂S la cual se envía como carga a la Planta Recuperadora de Azufre nueva y el hidrocarburo a “slop” y a tanques de combustóleo.

El objetivo de la presente tesis, consiste en la identificación y evaluación de riesgos presentados en el proyecto, fundamentando el análisis de riesgos sobre la información presentada en las bases de diseño, ingeniería básica, ingeniería de detalle de la planta. Se realizó un análisis con el cual se identificarán los riesgos latentes del proyecto, exhibiendo las condiciones de seguridad real en la planta previa a la construcción de la misma. Con dicho análisis se busca obtener una base firme que establezca un entorno seguro en la operación de la planta.

1.4.3 Generalidades del proyecto

La meta consiste en remover las cantidades de H₂S y NH₃ contenidas en Aguas Amargas generando Agua Desflemada para rehúso en desalado de plantas, así como en la planta de tratamiento de aguas residuales en la refinería.

Planta de Tratamiento de Aguas Amargas

Generalidades de Operación de la Planta		
Operación Normal	10 000	BPD
Flujo Volumétrico	1 590	m ³ / Día
Operación Continua	365	Días / Año
	8 760	Horas / Año
Mantenimiento Requerido	33 – 60	Horas
Factor de Servicio	99.62 - 99.31	%
Alimentación	Aguas amargas provenientes de cuatro procesos; tres hidrotamientos de diésel UBA y de la planta de Recuperación de Azufre nueva.	
Impurezas H ₂ S	17 000	ppm/w
Impurezas NH ₃	12 000	ppm/w
SST	1.15	
Hidrocarburos	760	

1.4.4 Generalidades del proceso.

Corrientes totales 19

Equipos utilizados en el proceso:

- 1 Torre de Agotamiento
- 4 Tanques de almacenamiento
- 4 Intercambiadores de Calor
- 5 Bombas Características
- 2 Filtros de Carbón Activado

La torre agotadora cuenta con un sistema de recirculación (pumpa round), en lugar de un condensador, con el objetivo de reducir la corrosión del circuito de domo de la columna, y operar con una temperatura de domo de 92° C, para evitar problemas por formación de sales y proporcionar los flujos internos (reflujo) a la columna para efectuar la separación.

El proceso dispone de un paquete de filtración para eliminar partículas sólidas e hidrocarburos emulsionados en la carga, el tratamiento se hace justo antes de precalentarla.

1.4.5 Descripción del proceso

La corriente principal de Aguas Amargas, proviene de 4 procesos¹⁰ los cuales son provenientes de La Plantas de Hidrotratamiento de Diésel así como de la Refinería de Azufre, para una presión de 2.5 kg/cm² y una temperatura de 45°C.

El Tanque Separador FA-01 recibe una alimentación principal, bajo las condiciones de P y T antes mencionadas, el tanque FA-01 es un separador trifásico, donde se acumula y se lleva a cabo una ligera desgasificación de gases ácidos, así como de hidrocarburos ligeros volátiles que llegan a estar presentes en algunas corrientes de aguas amargas. Los vapores liberados en el Tanque FA-01 se envían a desfogue ácido, donde se interconecta a una línea de gas combustible quien es la encargada de mantener una presión de 0.5 Kg/cm² para el tanque FA-01.

¹⁰ **Corriente Principal:** La corriente principal de Aguas Amargas es proveniente de 4 procesos. Tres Hidrotratamientos de Diésel UBA así como de La planta de Recuperación de Azufre

Si la presión es mayor de 0.5 kg/cm², el control de presión en rango dividido abre la válvula liberando gases al desfogue ácido y cierra la válvula de admisión de gas combustible. Cuando la presión es menor a 0.5 kg/cm² el control de presión cierra la válvula del desfogue ácido y abre la válvula de inyección de gas combustible, para restablecer la presión de 0.5 kg/cm². El valor de presión anterior se estableció buscando liberar en el separador FA-01, la mayor cantidad posible de gases ácidos e hidrocarburos ligeros.

En el Tanque FA-01, el hidrocarburo líquido contenido en el agua amarga se separa formando una capa superior que derrama hacia una cámara de aceite delimitada por dos mamparas, en la cual, al llegar al nivel máximo, se drena el hidrocarburo separado mediante una válvula accionada por un interruptor de nivel del tipo on/off. El aceite recuperado en este tanque se envía al **Tanque de Aceite “Slop” FA-02**, para su acumulación; los gases desprendidos en el tanque se atrapan en el **Filtro de Carbón Activado FG-02**.

Para las operaciones de mantenimiento e inspección del tanque FA-02 se dispone del Eyector de la Fosa de Tanque de Aceite “slop”, EE-01X, el cual evacua los líquidos que pudieran haber caído al interior de la fosa.

En FA-01, el agua amarga del primer compartimiento se comunica por medio de un vaso comunicante con el tercer compartimiento. En la tercera cámara (agua amarga) el extremo del vaso comunicante está proyectado hasta el nivel normal del líquido y el agua, ya libre de aceite, se envía a control de nivel, mediante la **Bomba de Transferencia de Agua Amarga GA01/R**, a una presión de 3.5 kg/cm². El **Tanque de Agua Amarga FB-01**, el cual contribuye a la operación estable de la planta de aguas amargas al permitir el envío de flujo constante.

FLUJO BPD DISEÑO 10,000 NORMAL 10,000 MÍNIMO 6,000 tiempo adicional para la separación de los hidrocarburos que pudieran estar presentes en las aguas amargas. El tiempo de residencia entre niveles mínimo y normal es de 33 horas y entre mínimo y máximo es de 2 días y medio.

El Tanque de Agua Amarga FB-01 está equipado con una membrana flotante para minimizar la emisión de vapores orgánicos volátiles (VOC's) y de sulfuro de hidrógeno (H₂S); para manejar los vapores que rebasan el sello de la membrana y evitar emisiones de contaminantes a la atmósfera se cuenta con el **Filtro de Carbón del Tanque de Agua Amarga FG-03**.

La membrana flotante cuenta en su parte inferior con un colector de hidrocarburos unido a una manguera interna, la cual está conectada a la boquilla que se localiza en la parte inferior del tanque, el hidrocarburo recuperado en el colector se purga en forma manual abriendo la válvula que permite su paso hacia el **Tanque de Aceite Slop FA-02**, la extracción es eventual y debe suspenderse cuando ya no se detecta hidrocarburos en la mirilla.

Cuando el hidrocarburo colectado en el **Tanque FA-02** alcanza el nivel máximo se envía mediante la **Bomba de Hidrocarburos de Aguas Amargas GA-05**, como aceite recuperado a límite de batería a una presión de 5.0 kg/cm² y una temperatura de 40°C. La corriente de agua amarga proveniente del **Tanque de Agua Amarga FB-01** se envía al **Paquete de Filtración PA-01**, mediante la **Bomba de Alimentación de Agua Amarga GA-02/R** a una presión de 7.0 kg/cm². El Paquete de Filtración es un adecuado medio de separación de sólidos de alta eficiencia; donde se remueven las partículas sólidas que lleve el agua amarga y también incluye un sistema de coalescedores que elimina trazas de hidrocarburos presentes en el agua.

La línea de entrada al paquete PA-01, cuenta con una línea para desviar el equipo en situaciones de mantenimiento.

Del **Paquete de filtración PA-01**, la corriente de agua amarga, libre de sólidos se envía, a una presión de 6.0 kg/cm², al **Pre calentador de Carga/Fondos del Agotador EA-01 A/D**, por el lado de tubos, donde se precalienta hasta una temperatura de 108 °C con la corriente de fondos del agotador. Posteriormente, se alimenta al plato 11 del **Agotador de Agua Amarga DA-01**, expandiéndose y

vaporizándose parcialmente, fluyendo el líquido hacia el fondo de la torre y los vapores hacia el domo.

La corriente de alimentación se administra a control de flujo en cascada con un controlador de nivel en el tanque FB-01.

El Agotador DA-01¹¹ Opera a una presión en el domo de 1.15 kg/cm² y en el fondo de 1.45 kg/cm² la temperatura de operación en el domo es 92 °C y el fondo es de 126 °C.

El agua agotada en el fondo de la torre tiene concentraciones máximas de 20 ppm (peso) de NH₃ y 5 ppm (peso) de H₂S.

El vapor requerido para el agotamiento se genera por la vaporización parcial del líquido que se envía al **Rehervidor del Agotador EA-02 (tipo termosifón horizontal)**, el cual utiliza vapor saturado de baja presión de 3.5 kg/cm² como medio de calentamiento.

El flujo de vapor saturado de baja presión se alimenta a control de flujo, en cascada con el control de temperatura que toma señal del plato 40 de la torre, la cual se establece en 126.4°C. El efluente que sale del **Rehervidor EA-02**, presenta una vaporización de 20 % mol, y retorna al agotador a través de una boquilla colocada abajo del último plato del fondo.

La Torre de Agotamiento DA-01 tiene flexibilidad para operar con vapor de baja presión cuando el **Rehervidor EA-02** salga a mantenimiento¹².

El condensado efluente del Rehervidor del Agotador EA-02 se envía al **Tanque de Sello de Condensado Fa-09x** del Rehervidor donde posteriormente será enviado al Paquete de **Recuperación de Condensado Aceitoso PA-02X**¹³, se

¹¹ **Agotador DA-01:** Columna de **41 platos de válvulas** y cuenta con **10 platos en la sección de rectificación**, incluido el plato chimenea y **31 platos en la sección de agotamiento.**

¹²**Mantenimiento de EA-02:** Cuando se presenta dicho suceso, la admisión de vapor se hace a control de flujo y opera en cascada de la misma forma descrita para la operación del Rehervidor.

¹³ **PA-02X:** En el Paquete de Recuperación de Condensado Aceitoso se obtiene finalmente un condensado frío

obtiene finalmente el condensado a una temperatura de 55°C y una presión de 5.5 kg/cm² para su envío a L.B.¹⁴

El reflujo del agotador consta de una extracción parcial que se toma del plato número 10 por medio de la **Bomba de Reflujo del Agotador GA-03/R**¹⁵. Posteriormente, el reflujo se pasa por el **Enfriador de Reflujo del Agotador EC-01**¹⁶ (**Aero enfriador**), donde es retornado posteriormente al primer plato de la torre.

La temperatura se regula variando la inclinación de las aspas del ventilador. *El reflujo tomado del Plato Chimenea (Plato 10, Torre DA-01) se fija mediante un control de flujo (Fijado en cascada con el control de temperatura de la línea de domos de la torre).*

El vapor recuperado en la sección de Domos de la Torre DA-01 (gas ácido amoniacal) se envía a la nueva Planta Recuperadora de Azufre a 92 °C y 0.90 kg/cm²

Envío de gas ácido amoniacal a Planta Recuperadora de Azufre. (Consideraciones Importantes)

Esta línea de transporte hacia la Planta Recuperadora de Azufre, debe contar con trazado eléctrico para mantener la temperatura a un mínimo de 85 °C para evitar la cristalización de las sales amoniacales (dentro y fuera de L.B.), esta línea cuenta con una derivación¹⁷.

¹⁴**Envío a L.B.:** Una vez enviado a L.B. el condensado frío es integrado a la red de condensado en la refinería.

¹⁵**Bomba GA-03/R:** Utiliza un sistema de control de nivel, protegiendo la Bomba que es detenida por un interruptor cuando detecta muy bajo nivel en el plato de extracción.

¹⁶**Enfriador de Reflujo EC-01:** A la salida de EC-01 se cuenta con un control de temperatura que mantiene la temperatura constante en 60 °C.

¹⁷**Derivación en Línea de envío del Gas ácido Amoniacal:** Esta línea cuenta con una desviación que le permita enviar estos gases al desfogue ácido cuando se presente una sobrepresión en el agotador.

El Agua Desflemada¹⁸ abandona el fondo del agotador DA-01 a 126.4 °C y 1.45 kg/cm² y posteriormente pasa por el lado coraza del **Pre calentador de carga/fondos del agotador EA-01 A/D**, en donde cede calor hasta 56.4 °C.

Después se envía mediante la **Bomba de Fondo del Agotador GA-04/R**, hacia L. B. con dos destinos. *Primer destino Desaladoras, en donde se envía a 56.7°C y 5.7 kg/cm² o bien Segundo destino la Planta de Tratamiento de Agua Residual, donde es enviado previamente por el Enfriador de Fondos del Agotador EA-03 A/B*, para reducir su temperatura a 40°C, es enviado a una presión de 5.0 kg/cm². **(En ambos casos el envío se hace a control de nivel para proteger la bomba GA-04.)**

La calidad del agua tratada en la planta es tal que su concentración máxima en ppm (peso) es 5 para H₂S y 20 ppm de NH₃, respectivamente. Para cumplir con la especificación anterior no se requiere controlar el pH del fondo de la **agotadora DA-01**, la eliminación de gases ácidos se logra por equilibrio físico; sin embargo, previendo que a futuro las restricciones ecológicas se vuelvan más estrictas, se ha dejado una boquilla para inyección de solución cáustica sobre la línea de retorno del Rehervidor, cuando sea necesario desplazar el equilibrio químico para lograr la separación deseada.

¹⁸ **Agua Desflemada: Producto Final**

1.5 METODOLOGÍA APLICADA

A continuación, se describe en forma general la metodología utilizada en el presente análisis de riesgos:

Para la identificación de peligros se utilizan tablas de verificación, realizadas por la secretaria del Trabajo y Previsión Social (STPS)¹⁹, en las cuales se obtiene información de documentos, observación y entrevistas al personal. Cada rubro tiene una ponderación con el fin de medir el porcentaje de cumplimiento en las normas, y de esta manera, identificar las condiciones de riesgo latentes en la Planta.

Previamente identificados los peligros, se definen los riesgos a los que está expuesta la Planta y se ponderan, en este caso con el Método MOSLER, en el cual se utilizan una serie de criterios para analizar y evaluar los riesgos con el fin de calcular su respectiva clase y en función del valor obtenido de la evaluación del mismo, clasificarlos

Una vez jerarquizados los riesgos, se realiza el análisis del riesgo con mayor nivel de riesgo. En este estudio se utiliza HAZOP como herramienta de análisis, con el objeto de detectar fallas técnicas del sistema o de procedimiento en la operación del mismo y proponer el evento para la simulación.

Posteriormente es aplicado un proceso deducible, para determinar las combinaciones de eventos indeseables que se pueden presentar a nivel de planta. Para dicho análisis fue aplicado el Análisis de Árbol de fallas, con el objetivo de identificar las causas potenciales de falla en la planta antes de que ocurran.

Para finalizar el análisis de riesgos presentes en la planta se realizó un análisis de consecuencias, para posteriormente presentar un análisis completo de los resultados obtenidos con los métodos mencionados.

¹⁹ Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2019).

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/469996/Capitulo_I_VP.pdf. 2019, de STPS Sitio web:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/469996/Capitulo_I_VP.pdf

CAPITULO 2

2.1 MARCO TEÓRICO

Las aguas amargas son efluentes provenientes de diversos tipos de procesos realizados en la industria petroquímica y de refinería petrolera. Las aguas residuales provenientes de dichos procesos destacan debido a su esquema de compuestos altamente contaminantes con un alto nivel de toxicidad. Compuestos tóxicos como son los fenoles, nitrógeno amoniacal, grasas, aceites, cianuro, hidrocarburos, son algunos de los componentes que pueden ser encontrados para dicho tipo de agua residual, debido a los compuestos tóxicos contenidos es necesario realizar un tratamiento adecuado del efluente buscando evitar serios impactos ambientales.

Actualmente en la industria de refinación petrolera uno de sus objetivos es reducir las cantidades de agua fresca utilizada durante el proceso, por lo cual requieren de plantas de tratamiento con las cuales se busca obtener un efluente que cumpla con los requerimientos de calidad necesarios para su reúso. (Gasim et al, 2012; Pombo et al. 2013)

Para la remoción de los contaminantes presentes en las aguas residuales, han sido desarrollados diversos tipos de tratamiento los cuales comprenden desde la aplicación de técnicas de tratamiento biológico hasta procesos físico-químicos, la selección del tipo de tecnología más eficiente para el tratamiento de las aguas depende principalmente de las características en la configuración del proceso que es llevado a cabo.

Dentro de los tratamientos de agua residual son encontrados tres procesos principales,

- Tratamiento por intercambio iónico
- Tratamiento por oxidación con Aire
- Tratamiento por Agotadores.

El desarrollo de la ingeniería del proyecto para la nueva planta de tratamiento de la refinería “Francisco I Madero” aplica el tratamiento por agotadores.

2.1.1 Tratamiento por agotadores

Existen diversos métodos que son aplicados en la industria petroquímica para facilitar el agotamiento de ácidos sulfúricos y disminuir la proporción contenida de nitrógeno amoniacal a partir de corrientes de aguas amargas, dichas corrientes son utilizadas en columnas de destilación atmosférica o al vacío, en donde es posible la remoción de los compuestos.

El proceso de desorción es llevado en una torre de agotamiento la cual contiene una alimentación en domos con un flujo de agua amarga, el agua entra en contacto con el vapor suministrado por los fondos de la torre con ayuda del rehervido de la misma. Los procesos de desorción se basan en el arrastre de un gas disuelto en un líquido, mediante la aplicación de un gas inerte es posible eliminar el líquido contenido en la mezcla. Las aguas Amargas alcanzan su punto de ebullición en condiciones de bajas presión por lo cual es posible realizar la separación de H₂S y NH₃, el vapor es elevado a la sección de condensados en la torre, los gases obtenidos son enviados a una presión controlada hacia la unidad de recuperación de azufre, el líquido recolectado en el fondo de la torre es reutilizada o enviada a descarga.

Del proceso de desorción obtenemos agua desflemada, la cual cuentan con cantidades considerables de materia orgánica, compuestos fenólicos y material nitrogenado, algunas refinerías utilizan el agua desflemada en procesos de desalación del crudo sin embargo debido al alto contenido de contaminantes en el efluente no es posible reusar del líquido nuevamente durante el proceso, por lo cual se debe realizar un tratamiento de agua residual.

2.2.1 Factores que influyen en el funcionamiento de los Agotadores.

El funcionamiento de los agotadores para las aguas amargas puede ser agrupado en cuatro categorías generales:

- Contaminantes alimentados
- Eficiencia del agotador
- Disposición en domos
- Disposición en fondos

Otros factores que afectan el funcionamiento de la torre como son la temperatura de alimentación, velocidad de alimentación, velocidad de vapor, temperatura y presión del agotado, son factores determinantes al momento de establecer las funciones en la torre.

2.1.2 Agotadores con vapor.

En la industria de refinería el uso de torres de agotamiento con vapor tiene como objetivo reducir el número de contaminantes contenidos en los condensados amargos, buscando dar una aplicación adicional a las corrientes o bien retornar el efluente acuoso en aguas públicas.

Los agotadores con vapor pueden ser encontrados de tipo *agotador con vapor con reflujo* o bien *agotadores con vapor sin reflujo*.

La alimentación amarga para los agotadores con vapor, es precalentada y posteriormente trasladada al domo del agotado, en los fondos de la columna se encuentra el gas amargo contenido con vapores y contaminantes el cual deja el domo del agotador parcialmente condensado.

Los agotadores con reflujo cuentan con un condensado el cual es recolectado y combinado en la alimentación, mientras que el gas amargo es llevado a unidades de recuperación, el agua obtenida del proceso de agotamiento es drenada por los fondos. Para los agotadores sin reflujo no se cuenta con un sistema de condensación por lo cual los gases obtenidos son enviados directamente al quemador.

La remoción de contaminantes mediante agotamiento con vapor puede llegar a ser de 99 % a 100 % para el H₂S, 95 % a 99 % de amoníaco y finalmente 50 % a 70 % de fenoles contenidos.

2.1.3 Agotadores con gas de chimenea.

La aplicación de agotadores con gas de chimenea muestra su efectividad principalmente en la remoción de sulfuros, partiendo de un proceso de desulfuración de gases basándose en la absorción mediante soluciones alcalinas para la remoción irreversible de SO₂. El material absorbente que es recuperado por el método de agotamiento con gas de chimenea puede ser llevado a un medio acuoso o bien un medio seco, el material recolectado puede formar subproductos comerciables.

2.1.4 Agotadores de gas combustible

Los agotadores de gas combustible son aplicados en la remoción de sulfuros y amoníaco, dichos agotadores realizar una separación efectiva de los componentes a partir de la inyección de ácido la cual realiza la remoción de sulfuros contenidos en la mezcla, obteniendo como resultado una solución con alto contenido amoniacal.

La aplicación de ácidos en el agua amarga antes del agotamiento produce una fijación del NH₃ formando NH₄Cl, el amoníaco formado en el proceso de hidrolisis presentado por la adición de un ácido, genera una separación de 90 % a 99 % de H₂S, por lo cual es posible su remoción.

2.2 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

Llevar a cabo una metodología de análisis cuantitativo en riesgos, radica en la aplicación de herramientas sistematizadas y especializadas, con las cuales es posible identificar, caracterizar y evaluar los diferentes riesgos presentes en el área del proceso. Cada técnica de análisis de riesgos cuenta con aspectos comunes y diferenciados, con lo cual es posible caracterizar las técnicas de análisis de riesgos en 3 principales grupos los cuales son:

- Métodos Comparativos
- Métodos Generalizados
- Índices de Riesgo

Métodos Comparativos.

Basados en experiencia acumulada para un determinado campo de análisis, histórico de campo, registro de accidentes, listas de comprobación, formato de códigos etc. Son algunos de los documentos requeridos durante la aplicación de método comparativo.

La información recolectada por el analista es aplicada en los siguientes casos:

- Códigos estándares y normas (CeyN)
- Lista de verificación o check list (CL)
- Análisis histórico de accidentes (AHA)
- Revisiones de seguridad (RS)
- Auditorias de seguridad (AS)

Métodos Generalizados.

Esquemas de razonamiento lógico basados en una relación de causa y efecto, con lo cual es posible la identificación y evaluación total de los riesgos presentes para un determinado proceso, la aplicación de métodos generalizados será enlistados a continuación:

- Análisis Hazop (Hazop)
- Análisis modo de falla y efecto (FMEA)

- Árbol de fallas (FTA)
- Árbol de sucesos (ETA)
- Análisis de causa-efecto (ACE)

Índices de Riesgos.

Los índices de riesgos se basan en jerarquizar los riesgos para asignar penalizaciones o bonificaciones según las características del proceso de esta forma serán identificadas las áreas de mayor concentración de riesgo, dichas áreas requieren de un análisis a profundidad, así como medidas de seguridad complementarias, los métodos aplicados son:

- Índice Dow
- Índice Mond

Los índices de riesgos (Índice Dow, Índice Mond) convergen a una evaluación objetiva de la probabilidad de que se presente un incidente de incendio, explosión o radiactividad para el caso del Índice Dow. El índice Mond considera los efectos de sustancias tóxicas por contacto cutáneo o inhalación, por lo cual hace referencia a la toxicidad de las sustancias encontradas en la planta.

Un criterio para la selección de la metodología de análisis a desarrollar, es la etapa del proyecto que se desea analizar. Cada grupo principal cuenta con diferentes técnicas de análisis que pueden ser desarrolladas y aplicadas por el analista a su conveniencia.

A continuación, se mostrarán las ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de análisis para métodos comparativos y métodos generalizados.

Grupo: Métodos Comparativos.

METODO	ETAPA	OBJETIVO	VENTAJA	DESVENTAJA
CL Check List	1 - 6,8	Permitir que, de forma sistemática se puedan evaluar e identificar las vulnerabilidades/oportunidades de los activos, procedimientos no automatizados, procedimientos automatizados y procesos de transmisión de información.	Facilita la inspección Asegura el enfoque Actúa como plan de muestreo Guía para verificar los procesos Asegura el alcance Documento fácil de llenar	Puede ser vista como intimidatoria Requiere tiempo en su diseño para evaluar adecuadamente Puede contener deficiencias de formato
AHA Análisis histórico de accidentes	3,5,7	Poder identificar peligros de forma cuantitativa, basado en una búsqueda de información sobre todos los accidentes ocurridos en el pasado.	Basado en casos reales Simple Bajo costo de ejecución Enfoque directo Equipo de trabajo mínimo	Solo toma n cuenta casos reales importantes La documentación puede no encontrarse completa o disponible La aplicación de históricos similares puede no ser acertada
RS Revisión de seguridad	3-6	Identificar problemas no previstos en operación. Identificar deficiencias de equipos o acciones inapropiadas.	Reduce la probabilidad de accidentes	La aplicación del método RS, requiere largos periodos de tiempo, ya que es necesario reunir a todos los participantes del entorno.
AS Auditoria de seguridad	3-6	Detectar amenazas internas y externas en las instalaciones Detectar riesgos actuales y futuros en el sitio.	Se practica dentro de la propia empresa Se tiene acceso total de información y documentos Identifica errores en todas las áreas	Los ejecutores pueden caer en medios coercitivos, por lo cual existe la posibilidad de sesgo.

Grupo: Métodos Generalizados.

METODO	ETAPA	OBJETIVO	VENTAJA	DESVENTAJA
HAZOP Análisis de peligros y operabilidad	2-7	Identificar riesgos de seguridad en instalaciones Identificar problemas de operación	Se obtiene un análisis detallado del proceso Identifica los riesgos presentes Propone un plan de acción	Requiere de un grupo numeroso de personas para su aplicación Requiere mucho tiempo para su elaboración Tiene un grado de complejidad alto para su análisis Requiere extensas sesiones de trabajo.
FMEA Análisis de modo de falla y efecto	2,3,5-7	Identifica deficiencias en el diseño del proceso y corregir a través de los análisis posibles incidentes de falla	Disminución de fallos Reducción de perdidas Aumento de confiabilidad de productos Señala características de control Proporciona información útil	Carece de precisión Puede arrojar resultados equivocados Frecuentemente la evaluación es subjetiva e imprecisa por falta de información
FTA Análisis de árbol de fallas	2,3,5-7	Identifica y analizar los factores que llevan a un evento no deseado	Método de análisis sistemático puede ser elaborado cualitativamente o cuantitativamente Permite tomar acciones correctivas o preventivas según se requiera.	Dependiendo de la complejidad del AF puede requerir de un software para su elaboración Solo incluye estados binarios, por lo cual no es dinámico

ETA Análisis del árbol de sucesos	2,3,5-7	Representar gráficamente la secuencia de eventos para mitigar sus consecuencias.	Identifica un esquema de escenarios de fallas Permite graficar una secuencia de falla	Para poder ser usado como parte de una evaluación sistemática debe ser complementado por otro método que asegure la identificación de los eventos relevantes. Únicamente se analizan eventos de falla o éxito.
ACE Análisis de causa-efecto	2,3,5-7	Identificar las posibles causas de un problema específico.	Proporciona un agrupamiento claro de las causas potenciales del problema, lo que permite centrarse directamente en el análisis del mismo. Poca complejidad	Se pueden dejar de contemplar algunas causas potenciales importantes. Puede ser complicado definir subdivisiones principales. Se requiere un mayor conocimiento del proceso

La combinación de las técnicas antes mencionadas proporciona mayor confiabilidad en los resultados obtenidos para la identificación y evaluación de riesgos. Un criterio para la selección de la metodología de análisis a desarrollar, es la etapa del proyecto que se desea analizar.

A continuación, se mostrará una tabla con los criterios para seleccionar las técnicas según la etapa del proyecto.

ETAPA		CL	AHA	RS	AS	IR	HAZOP	FMEA	ETA	FTA	ACE
1	Diseño conceptual	X				X					
2	Ingeniería de Detalle	X					X	X	X	X	X
3	Operación de planta piloto	X	X	X	X		X	X	X	X	X
4	Construcción/ pre-arranque	X		X	X		X				X
5	Operación de planta	X	X	X	X		X	X	X	X	X
6	Expansión o modificación	X		X	X	X	X	X	X	X	X
7	Investigación de incidentes		X				X	X	X	X	X
8	Desmantelar	X									

Tomando en cuenta que el objetivo del proyecto es la aplicación de técnicas de análisis en una nueva planta de tratamiento, es necesario considerar que el proyecto desarrollado en el presente escrito únicamente cuenta con documentos e información hasta la etapa de Ingeniería de detalle.

Por lo cual a continuación se muestra la tabla con los criterios para la selección de técnicas contenidas a la etapa de ingeniería de detalle.

ETAPA	CL	AHA	RS	AS	IR	HAZOP	FMEA	ETA	FTA	ACE
Diseño conceptual	X				X					
Ingeniería de Detalle	X					X	X	X	X	X

El contenido mostrado en la Tabla nos indica que para nuestro caso de estudio es posible aplicar las siguientes técnicas: Check List, Indicadores de riesgo, Hazop, Análisis de modo de falla y efecto, Árbol de sucesos y Árbol de fallas.

En la búsqueda de una adecuada aplicación en las técnicas de análisis y considerando la complejidad de desarrollo en las técnicas, el presente proyecto únicamente realiza 4 de las 7 técnicas que pueden ser aplicadas para este proyecto.

En la Tabla encontramos resaltadas en color rojo las técnicas de análisis seleccionadas, considerando las ventajas y desventajas con las que cuenta cada técnica de análisis, a su vez se consideró la complejidad de desarrollo y precisión para identificar los riesgos como criterios de selección al momento de aplicar dichas técnicas.

El desarrollo completo de los métodos aplicados se encuentra explicada a detalle a lo largo del documento.

2.2.1 ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERATIVIDAD (HAZOP)

El método HAZOP, (“HAZard and OPerability” Riesgo y operatividad) o análisis de Riesgo y Operatividad, involucra la investigación de desviaciones del intento de diseño o propósito de un proceso, se concentra en identificar tanto riesgos como problemas de operatividad.

El procedimiento del HAZOP, involucra tener una descripción y documentación completa del sistema a analizar y sistemáticamente cuestionar cada parte, para identificar como se pueden producir desviaciones en el sistema. Una vez identificados, se hace una evaluación, para determinar si tales desviaciones y sus consecuencias, pueden tener un efecto negativo en la seguridad del personal y operación eficiente de la Planta.

En el proceso del HAZOP, lo esencial es el cuestionamiento y análisis sistemático, el uso de palabras clave para enfocar la atención del grupo sobre las desviaciones y sus posibles causas.

Esta metodología aplica todas las combinaciones relevantes de palabras claves a la planta o sistema bajo estudio, para descubrir los riesgos potenciales es importante destacar que, debido al nivel de riesgo, dicha metodología se aplicó únicamente en el proceso de cloración debido al grado de riesgo que este podría representar

La aplicación del método HAZOP demanda la elaboración de un formato único el cual será utilizado por el analista, dicho formato es elaborado acorde a las necesidades del sistema de análisis, con el objetivo de analizar y cuestionar sistemáticamente cada sección del sistema.

La ejemplificación del formato aplicado durante el análisis HAZOP del presente trabajo es mostrado a continuación:

TABLA 2 FORMATO HAZOP

Causa	Consecuencia	Protección	Recomendación	Palabra Guía	Desviación

2.2.2 Objetivo

La aplicación del Método HAZOP, consiste en la aplicación de un estudio cualitativo de seguridad. El desarrollo del ejercicio práctico del análisis HAZOP, es aplicado a las bases de diseño e ingeniería desarrollada para una instalación nueva. El objetivo del método es localizar los puntos vulnerables en la instalación y realizar el ajuste requerido en la ingeniería del proyecto para de esta forma poder continuar con la construcción de la planta.

Identificar los puntos débiles en el proyecto durante el desarrollo de Ingeniería de Detalle, permite acciones correctivas que evitaren situaciones de riesgo para el personal y capital de la planta.

La aplicación del método HAZOP muestra todas las variables que pueden afectar al proceso, por lo cual es posible el diseño de medidas preventivas ante la aparición del evento.

2.2.3 Características

El análisis basa su aplicación en una serie de palabras guía con las cuales es posible identificar las desviaciones que se puedan presentar y de esta forma analizar las causas, consecuencias y posibles acciones correctivas

Para un buen análisis HAZOP se requiere de un equipo multidisciplinario, quienes se encargan de exponer todas las soluciones posibles para tomar la mejor acción correctiva ante el evento en cuestión.

2.2.4 Previos al HAZOP

Cuando se decide poner en práctica el método HAZOP, la obtención de un resultado exitoso, depende de una recolección detallada de información del proyecto. Documentos como son DTI'S, DFP, bases de diseño, manuales de operación, deben ser perfectamente estudiados y comprendidos por la persona o personas que realizarán la aplicación del método.

Es importante contar con documentación adicional al proyecto nuevo, los registros históricos de incidentes o accidentes, registros de calibraciones, pruebas y mantenimientos de equipos, manuales de operación y mantenimiento, información de control y planes de emergencia, normatividad interna, local, nacional, así como sus estándares, etc.

2.2.5 NODOS

Un NODO, corresponde a un punto localizado en el proceso, caracterizado por contener valores específicos para las variables del proceso.

Los criterios para la selección de un nodo consideran fundamentalmente puntos en el proceso que sean susceptibles a variaciones significativas en alguna de las variables de proceso.

2.2.6 Desviaciones a estudiar

Es necesario realizar un planteamiento sistemático de las desviaciones que pueden presentar las variables del proceso.

El algoritmo consiste en:

- Asignar a cada variable una palabra guía
- Encontrar todas las combinaciones posibles entre la palabra guía y la variable del proceso
- Todas las desviaciones que no cuenten con un sentido lógico serán descartadas como riesgo para el nodo al que se le aplica el análisis.

Las palabras guía son utilizadas como foco de atención para el analista, ya que resaltan las desviaciones y problemas potenciales del nodo.

Los parámetros o variables al ser combinados con la palabra guía, mostrarán el aspecto particular del diseño o bien el aspecto operacional

Existen otros conceptos que pueden ser aplicados durante el análisis según los requerimientos del analista.

Intención: Describe la operación normal en ausencia de desviaciones

Desviación: Cualquier falla que altere las condiciones de diseño

Causa: Razón de la desviación

Consecuencia: Originadas del efecto proporcionado por la desviación

Recomendaciones: Consideran las consecuencias y proponen una solución en caso de ser requerida.

2.2.7 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

El análisis de árbol de fallas (FTA), es una técnica cuantitativa de riesgos, nos proporciona la probabilidad a la frecuencia con que puede ocurrir un evento indeseable, que llamaremos evento culminante o escenario potencial de accidente.

El evento culminante se puede dar mediante la combinación de fallas de un equipo, de sus componentes o fallas de operación.

La probabilidad o frecuencia del evento culminante se determina sumando las frecuencias o probabilidades.

La técnica FTA usa puertas de entrada y salida, las cuales son representadas por símbolos y por letras Y u O.

2.2.8 METODOLOGÍA PARA ELABORACIÓN DE ÁRBOL DE FALLAS

La construcción del árbol de fallas parte de la selección de un evento indeseable el cual será tomado como el evento dentro de la estructura del árbol de fallas.

Partiendo del evento culminante como puerta de entrada para la elaboración del árbol, se realiza una estructura de compuertas lógicas que vincula el evento culminante con otros eventos básicos. Los eventos básicos son referidos a diseños inadecuados, deterioros o fallas en equipos y líneas en mantenimiento.

Los eventos culminantes pueden ser vinculados a eventos de falla, los cuales cuentan con ramificaciones adicionales que deben ser desarrolladas hasta la obtención de un evento básico.

La simbología utilizada para la elaboración del Árbol de Fallas incluye la puerta de entrada como inicio del desarrollo del esquema, “Y” es utilizado para indicar el producto de eventos presentes mientras que “O” indicara la suma de eventos básicos y eventos que no pueden generar un desarrollo de fallas secundarias o ajenas al sistema.

Durante la construcción del esquema del árbol de fallas se debe identificar el tipo de falla que se pueda presentar durante el desarrollo del análisis, ya que existen fallas primarias, secundarias y de mando.

Las fallas primarias, representa un diseño inadecuado o deterioro de equipo y son indicadas con un círculo

Las fallas secundarias, representan fuerzas ajenas al sistema y son indicadas con un rombo

Las fallas de mando, representan fallas en un componente o equipo debido a condiciones que rebasen los límites de operación establecidos.

2.2.9 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

El análisis de consecuencias es una técnica que identifica las posibles trayectorias que puede tomar un evento de riesgo que involucre sustancias peligrosas. El desarrollo del análisis es aplicado para cuantificar la magnitud y el alcance de los efectos sobre persona, equipos y ambiente.

La evaluación se realiza sobre los efectos que derivan en toxicidad de sustancias, problemas con altos niveles de presión, altos niveles de radiación, causados por la combustión de un material.

El análisis de consecuencias es desarrollado a través de una serie de etapas, las cuales permiten determinar y cuantifican la magnitud del evento, las etapas atravesadas durante el desarrollo del análisis serán las siguientes:

- Selección de un evento
- Especialización de escenarios
- La determinación de la mecánica de liberación de eventos
- La determinación de la dispersión del material
- La cuantificación de las consecuencias para el entorno
- Elaboración de recomendaciones
- Documentación del análisis

Es importante considerar que la manifestación de un accidente o acontecimiento de riesgo puede traer consigo efectos secundarios como incendio o explosiones, también se debe considerar la probabilidad de la aparición de una serie de accidentes en cadena. La magnitud de las consecuencias presentadas por un efecto dependerá de factores que deben ser considerados para el análisis

2.2.10 Criterios para Análisis de Consecuencias

La evaluación de las consecuencias se realiza para un escenario accidental probable, los escenarios son clasificados según el tipo de peligro que presentan, los cuales son:

- Escenarios de tipo térmico
- Escenarios de tipo mecánico
- Escenario tipo químico para sustancias toxicas

Escenarios de tipo térmico:

Incendio de Chorro, el cual es producido cuando un líquido inflamable se fuga de su contenedor provocando un charco

Llamarada, cuando el material volátil es descargado a la atmosfera

Dardo de fuego, cuando un gas licuado es descargado a presión y entra en contacto con una fuente de ignición.

Bola de fuego, es el resultado de la ignición de una mezcla líquido con vapor flamable con descarga en la atmosfera

Escenarios de tipo mecánico:

Explosión de nube inflamable no confinada, son originadas de un fenómeno estrictamente físico como la ruptura en un tanque. También se puede presentar de la explosión de una reacción química.

Explosión confinada de vapor, son originadas en el aire

Explosión de vapores en expansión, cuando de forma repetitiva se pierde el confinamiento de un recipiente contenido por un líquido sobrecalentado

Escenarios de tipo químico para sustancias tóxicas.

Escenarios asociados a la concentración de sustancias emitidas en el ambiente:

Chorro turbulento

- Dispersión instantánea
- Dispersión continua
- Dispersión transitoria
- Dispersión neutra
- Dispersión de gases pesados

Nube tóxica, es originada cuando un material tóxico se fuga sin ser detectado, generando una nube de gas tóxico.

Una vez que son identificados los efectos de los accidentes se establecen las consecuencias sobre la población.

Las consecuencias pueden tener diversas características las cuales son clasificadas según su tipo como se indica a continuación.

1. Radiación térmica. Quemaduras de diverso grado
2. Onda de choque.
 - Daños directos
 - Ruptura de tímpano
 - Aplastamiento de caja torácica
 - Daños indirectos
 - Desplazamiento del cuerpo
 - Por impacto de fragmentos
 - Heridas a causa de astillamiento

3. Productos Tóxicos. Intoxicación de moderada a grave según el caso.

Las consecuencias sobre los equipos pueden encontrarse tabulados para algunos casos como las ondas de choque o bien pueden ser determinados mediante métodos semi empíricos.

Las consecuencias generadas sobre el entorno aparecerán a mediano- largo plazo por lo cual su estimación requiere de un modelo diferente.

CAPITULO 3

TRABAJO DE CAMPO

3.1 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Identificar los riesgos latentes delimitados a un entorno, proporciona los fundamentos necesarios para la valoración y evaluación de los riesgos en la planta. Dentro de esta primera etapa son identificados y enlistados los peligros, partiendo de la normatividad requerida por el Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del trabajo, así como de las Normas Oficiales Mexicanas.

La lista de verificación o Checklist desarrollada para el análisis del proyecto en la refinería “Francisco I Madero”, fue elaborada según los criterios enlistados por la secretaria del Trabajo y Previsión Social (STPS). La tabla 2, cuenta con las ponderaciones asignadas por norma, durante esta primera etapa se muestra el estatus de riesgos encontrados en la planta para las condiciones de diseño presentadas en el proyecto. Con la información obtenida se realizó una valoración preliminar con la cual se midió el nivel de cumplimiento normativo por cada sector en la planta.

3.1.1 Marco Jurídico Aplicable

La normatividad aplicable de acuerdo a las instalaciones y proceso en la Planta de tratamiento de aguas residuales son las siguientes:

3.1.2 Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo DOF 21-01-1997

Título Segundo - Condiciones de seguridad.

- Capítulo Primero: Edificios y locales.
- Capítulo Segundo: Prevención, protección y combate de incendios.
- Capítulo Tercero: Equipo, maquinaria, recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas.
- Capítulo Cuarto: Instalaciones eléctricas.
- Capítulo Sexto: Manejo, transporte y almacenamiento de materiales en general, y sustancias químicas.

Título Tercero - Condiciones de higiene.

- Capítulo Primero: Ruido y vibraciones.
- Capítulo Tercero: Sustancias químicas contaminantes sólidas, líquidas o gaseosas. Capítulo Cuarto: Agentes contaminantes biológicos. Capítulo Noveno: Equipo de protección personal.
- Capítulo Decimoprimer: Servicios para el personal.
- Capítulo Decimosegundo: Orden y la limpieza.

Título Cuarto - Organización de la seguridad e higiene en el trabajo.

- Capítulo Segundo: Comisiones de seguridad e higiene en el trabajo.
- Capítulo Tercero: Avisos y estadísticas de accidentes y enfermedades de trabajo. Capítulo Cuarto: Programas de seguridad e higiene en el trabajo.
- Capítulo Quinto: Capacitación 3.

3.1.3 Normas Oficiales Mexicanas

NOM-001-STPS-1999, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-condiciones de seguridad e higiene.

NOM-002-STPS-2000, Condiciones de seguridad, prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo.

NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo.

NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.

NOM-006-STPS-2000, Manejo y almacenamiento de materiales-condiciones y procedimientos de seguridad.

NOM-009-STPS-1999, Equipo suspendido de acceso- instalación, operación y mantenimiento-condiciones de seguridad.

NOM-010-STPS-1993, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.

NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.

NOM-017-STPS-1993, Relativa al equipo de protección personal para los trabajadores en los centros de trabajo.

NOM-018-STPS-2000, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.

NOM-019-STPS-1993, Constitución y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.

NOM-020-STPS-2002, Recipientes: sujetos a presión y calderas: funcionamiento- condiciones de seguridad.

NOM-021-STPS-1994. Relativa a los requerimientos y características de los informes de los riesgos de trabajo que ocurran, para integrar las estadísticas.

NOM-022-STPS-1999, Electricidad estática en los centros de trabajo - condiciones de seguridad e higiene.

NOM-026-STPS-1998, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

3.2 TABLA DE VERIFICACIÓN

En las siguientes tablas se muestran los rubros evaluados para identificar los peligros existentes de acuerdo a un porcentaje asignado para cada uno de ellos.

TABLA 3 CRITERIOS DE JERARQUIZACIÓN

LISTA DE VERIFICACIÓN RESUMIDA	
CÓDIGO	SIGNIFICADO
A	Ya se tomó en cuenta
B	No aplicado
C	Requiere estudio con mayor profundidad

TABLA 4 CHECK LIST

PREGUNTA	CÓDIGO			OBS.
	A	B	C	
LOCALIZACIÓN				
Se Estableció La Separación De Unidades A Partir De Una Evaluación De Riesgos		X		INDISPENSABLE
Existen Obstrucciones Peligrosas, Sobre O Bajo El Terreno Suficientes Carreteras Y Corredores	X			
Salidas Y Accesos De Emergencia En Número A La Amplitud Suficiente		X		INDISPENSABLE
Espacios Suficientes Para Líneas Elevadas De Servicios (Electricidad, Vapor, Agua, Aire Comprimidos)	X			
Existen Plataformas Adecuadas Para Operaciones De Mantenimiento De Seguridad		X		INDISPENSABLE
Consideraron Cercanías De Las Fuentes De Ignición	X			
Los Vientos Dominantes (Respecto A Fuentes De Ignición)	X			
Resistencia Adecuada En El Suelo Para Cargas De Operación	X			
Cargas Máximas Indicadas	X			
Drenajes Adecuado	X			
Control/Protección Ante Inundaciones		X		INDISPENSABLE
Instalaciones De Carga Y Descarga Ubicadas Lejos De Las Vías Principales	X			
NAVES Y EDIFICACIONES				
Escaleras, Salidas De Emergencia, Pasillos		X		INDISPENSABLE
Grúas, Elevadores Diseñadas Con Salvaguardas		X		INDISPENSABLE
Señales Para Cualquier Obstáculo En El Paso		X		INDISPENSABLE
Ventilación Adecuada	X			
Iluminación Adecuada	X			
Calefacción/Refrigeración Adecuada	X			

Requiere Acceso Al Tejado			X	
EQUIPOS Y PROCESOS				
Considero Posibilidad De Interferencia Entre Operaciones Adyacentes	X			
Almacenamiento Adecuado De Materiales Especiales	X			
Materiales Con Manejo Especial	X			
Materiales Afectados Por Condiciones Climatológicas			X	INDISPENSABLE
Materia Prima Y Productos, Clasificados Y Etiquetados	X			
Posibilidad De Vapores	X			
¿Se Han Identificado Todas Las Características De Peligro De Las Sustancias?	X			
Explosión Del Personal O De Agentes Adversos A Cada Instalación			X	INDISPENSABLE
Uso De Campanas De Extracción	X			
Equipo De Protección Personal			X	INDISPENSABLE
Generación De Cargas Estáticas			X	INDISPENSABLE
Características De Acumulación De Carga Eléctrica			X	INDISPENSABLE
Uso De Puesto De Tierra (Análisis Del Suelo)			X	INDISPENSABLE
Protección Contra Explosiones		X		INDISPENSABLE
Sistemas De Alivio De Presión	X			
Posibilidad De Contrapresiones	X			
Precauciones Especiales De Ventilación	X			
Protección De Válvulas Por Taponeo Y Uso De Manómetros	X			
Precauciones Para Vaciado Rápido De Recipientes En Caso De Emergencia			X	INDISPENSABLE
Diseño De Valores Máximos De Operación	X			
Factores De Seguridad Para Presiones, Temperaturas, Flujos, Niveles De Proceso	X			
Condiciones Peligrosas En Caso De Fallas En Los Equipos			X	INDISPENSABLE
Principales Fallas Humanas Que Se Puedan Presentar			X	INDISPENSABLE
Consecuencias De Fallo De Una O Más Unidades	X			
Protección Para Correos, Poleas, Equipo Móvil En General			X	INDISPENSABLE
Dispositivos De Alivios De Presión En Líneas De Descarga	X			
Accesibilidad A Todos Los Equipos, Especialmente Los Críticos			X	INDISPENSABLE
Protección De Líneas De Descarga, Succión, Bombas De Proceso	X			
Bloque Gradual O Súbito De Conducciones			X	INDISPENSABLE
Procedimientos De Toma De Muestras	X			
Diagrama De Flujo Actualizado	X			
Respuesta Para Equipos O Componentes Críticos			X	INDISPENSABLE
Equipo Eléctrico A Prueba De Explosiones			X	INDISPENSABLE
Energización De Los Equipos Pasivos O Activos			X	INDISPENSABLE
Trato Adecuado De Residuos	X			
Procedimiento Estricto De Control De Calidad	X			
Procedimiento Establecido De Comunicación Entre Supervisores			X	INDISPENSABLE

INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL			
Válvulas E Instrumentación Bien Identificadas	X		
Pruebas Regulares De Alarmas Y Equipos De Protección	X		
Todos Los Controles Son Automáticos De Fallo Seguro	X		
Protección Contra Arranque Automático Tras La Parada	X		
Política Para Cambios En Parámetros De Control		X	INDISPENSABLE
Uso De Equipo Estándar Adecuado	X		
Convivencia De Instrumentación O Sistemas De Protección		X	INDISPENSABLE
Estimación De Posibles Retraso En La Respuesta De Los Equipos		X	
Efectos Sobre Control De La Planta, Servicio De Mantenimiento	X		
Sistema De Paro En Caso De Falla Eléctrica	X		
ACCIONES DE EMERGENCIA			
Duchas Y Lava Ojos		X	INDISPENSABLE
Equipo De Proyección		X	INDISPENSABLE
Interruptores De Emergencia		X	INDISPENSABLE
Privación De Planta De Energía Letrica		X	INDISPENSABLE
Integridad De La Sala De Control		X	INDISPENSABLE
Extintores		X	INDISPENSABLE
Rociado Automático		X	INDISPENSABLE
Detectores De Incendios		X	INDISPENSABLE
Detectores De Humo		X	INDISPENSABLE
Contención De Derrames		X	INDISPENSABLE
Instalación De Alarmas		X	INDISPENSABLE
Material De Emergencia Útil		X	INDISPENSABLE
Algoritmo Para Cuenta Exacta Del Personal		X	INDISPENSABLE
Documentación Sobre Seguridad De Materiales Utilizados		X	INDISPENSABLE
Plan De Emergencia		X	INDISPENSABLE

3.2.1 Tabla De Activos

TABLA 5 TABLA ACTIVOS

TABLA PARA ESTIMAR LA PROBABILIDAD	
VALOR	DESCRIPCIÓN
Bajo (1)	La amenaza se materializa a lo sumo una vez cada año.
Medio (2)	La amenaza se materializa a lo sumo una vez cada mes.
Alto (3)	La amenaza se materializa a lo sumo una vez cada semana.
VALOR	TABLA PARA ESTIMAR EL IMPACTO
Bajo (1)	El daño derivado de la materialización de la amenaza no tiene consecuencias relevantes para la organización.
Medio (2)	El daño derivado de la materialización de la amenaza tiene consecuencias reseñables para la organización.
Alto (3)	El daño derivado de la materialización de la amenaza tiene consecuencias graves reseñables para la organización.
CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL RIESGO	
Riesgo <= 12	La organización considera el riesgo poco reseñable.
Riesgo > 13	La organización considera el riesgo reseñable y debe proceder a su tratamiento.

TABLA 6 AMENAZAS EN ACTIVOS

CÓDIGO	Amenazas 1
Fu	Fuego
Ex	Explosiones
Re	Daños Tratamiento De Residuos
DN	Desastres Naturales

CÓDIGO	Amenazas 2
F	Fugas
FID	Introducción De Falsa Información (Diseño)
AID	Alteración De La Información (Diseño)
CID	Corrupción De La Información (Diseño)
Dinf	Destrucción De Información

CÓDIGO	Amenazas 3
SCE	Sobre Carga Eléctrica
CTH	Condiciones Inadecuadas De Temperatura O Humedad
FSC	Fallo De Servicios De Comunicaciones
ISS	Interrupción De Otros Servicios Y Suministros Esenciales
DI	Desastres Industriales

CÓDIGO	Amenazas 4
FA	Fallo De Almacenamiento
ME	Errores De Mantenimiento De Equipos
EH	Errores Humanos
RM	Retraso En Mantenimiento
CB	Cuellos De Botella
PE	Pérdida De Equipos
FP	Falta De Personal
AP	Abuso De Privilegios De Acceso
ANA	Acceso No Autorizado
FS	Fallo Elementos De Seguridad (Lava Ojos, Regaderas, Etc.)
FIC	Fallo De Instrumentos De Control
FEV	Fallo En Escape De Ventilación De Vapores
AT	Accidentes De Trabajo (Personal)
ASS	Alimentación Sobre Limite Sulfuros
ASN	Alimentación Sobre Limite Nitratos
ASH	Alimentación Sobre Limite Hidrocarburos
IPCN	Inoperacion De La Planta Condiciones Normales

CÓDIGO	Amenazas 5
EP	Errores De Personal
EE	Errores De Equipo
EC	Errores De Configuración
EID	Errores Ingeniería De Detalle
EU	Errores De Ubicación (Equipos)

CÓDIGO	Amenazas 6
PP	Paro De Planta
PE	Paro De Equipos
PD	Personal Desacuerdo

3.2.2 Riesgos Activos

TABLA 7 RIESGOS

IDENTIFICADOR	ACTIVO	VALOR	AMENAZAS	PROB	IMPACTO	RIESGO	PRIORIDAD	OBS.	
MODELO A	A1	Perdida de ordenadores	1	PE, DN, SCE, ISS, AP, ANA, PD	2	3	6		
	A2	móvil(es) principalmente para telefonía	1	PE, DN, SCE, ISS, AP, ANA, PD	2	3	6		
	A3	conexión a Internet e incluso wifi	1	FSC, ISS, RM, EE	2	3	6		
MODELO B	B1	ordenadores y conexión a Internet (con wifi)	1	FSC, ISS, RM, EE	2	2	4		
	B2	dispositivos de comunicación	4	PE, DN, SCE, ISS, AP, ANA, PD	2	3	24	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	B3	Software requerido por planta	2	PE, DN, SCE, ISS, AP, ANA, PD	2	2	8		
	B4	Equipo de oficina	1	PE, DN, SCE, ISS, AP, ANA, PD	3	1	3		
MODELO C	C1	Servidores y ordenadores	1	PE, DN, SCE, ISS, AP, ANA, PD	2	3	6		
	C2	dispositivos móviles con datos	1	PE, DN, SCE, ISS, AP, ANA, PD	2	1	2		
	C3	Herramientas comerciales	1	ISS, PE	1	1	1		
	C4	Herramientas en la nube para la empresa	1	FSC, ISS, RM, EE	2	2	4		
MODELO D	D1	Terreno	5	Fu, Ex, Re, Dn, F, FID, DI, EU	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	D2	Edificios	5	Fu, Ex, Re, Dn, F, FID, DI, EU, AID, Dinf, SCE, CYH, FSC, ISS, DI, EH, FA, AP, ANA, FIC, FEV, ASS, ASN, ASH, IPCN, EC, EID	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	D3	Maquinaria de desplazamiento	3	EU, EE, EP	2	2	12		
	D4	Planta eléctrica	5	Fu, Ex, DN, SCE, DI, EH, IPCN, EE	1	3	15		

M O D E L O	E1	Tanques	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,6	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E1.1	FA-01	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,6	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E1.2	FA-02	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,7	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E1.3	DA-01	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,8	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E1.4	FB-01	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,9	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E2	Intercambiadores	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,10	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E2.1	EA-01 AD	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,11	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E2.2	EA-02	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,12	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E2.3	EA-03 AB	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,13	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E2.3	EC-01	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,14	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E3	Bombas	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,15	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E3.1	GA-01/R	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,16	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E3.2	GA-02/R	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,17	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E3.4	GA-03/R	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,18	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E3.5	GA-04/R	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,19	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E3.6	GA-05	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,20	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción
	E4	Paquetes de Filtraciones	5	Fu,Ex,DN,AMENAZAS 2,3,4,5,21	1	3	15	Alto Riesgo	Requiere Plan de Acción

3.2.3 Matriz De Riesgos

TABLA 8 MATRIZ DE RIESGOS

Matriz de Riesgos

Gravedad					Frecuencia
4	3	2	1		
6	4	3	1	1	
7	6	4	3	2	
9	7	6	4	3	
10	9	7	6	4	

Niveles de Frecuencia		
1	Frecuente	Más de Una Vez al Año
2	Ocasional	Puede Ocurrir Varias Veces
3	Posible	Se Espera Una o más Veces
4	Importante	No se Espera que Ocurra

Nivel de Gravedad			
Numero	Gravedad	Aspecto	Descripción
1	Catastrófico	Personas	Perdida De Una O Más Vidas Fuera De La Refinería
		Instalaciones	Daños Mayores A \$25,000,000
		Medio Ambiente	Fuga Mayor Que Requiera Limpieza Fuera De La Refinería
		Operación	Paro De La Refinería
2	Mayor	Personas	Lesionado Fuera De Refinería Y Una Perdida De Vida Dentro De La Refinería
		Instalaciones	Daños Por Un Monto De Entre \$2,500,00 A \$25,000,000
		Medio Ambiente	Fuga Mayor Que Requiera Limpieza Fuera De La Refinería
		Operación	Paro De Más De Una Planta
3	Significativo	Personas	Varios Lesionados Dentro De La Refinería
		Instalaciones	Daños Por Un Monto De Entre \$250,000 Y \$25,000,000
		Medio Ambiente	Fuga Mayor Que Requiera Limpieza Dentro De La Planta
		Operación	Paro De Una Planta
4	Importante	Personas	Un Lesionado Dentro De La Refinería
		Instalaciones	Daños Por Menos De \$250,000
		Medio Ambiente	Fuga Menor
		Operación	Paro De Equipo O Sección De La Planta

3.3 RECOMENDACIONES DE BUENAS PRÁCTICAS

TABLA 9 MATRIZ DE RIESGOS

Matriz de Clases de Riesgos					
Gravedad				Frecuencia	
4	3	2	1		
C	B	A	A		1
D	C	B	A		2
D	D	C	B		3
D	D	D	C	4	

CRITERIOS PARA JERARQUIZAR LAS RECOMENDACIONES			
NUMERO	CLASE	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
1 a 3	A	Inaceptable	El riesgo debe mitigarse con controles de Ing. y/o administrativos hasta un riesgo C o menos, dentro de un periodo de 6 meses
4	B	Indeseable	El riesgo debe mitigarse con controles de Ing. y/o administrativos hasta un riesgo C o menos, dentro de un periodo de 12 meses
6	C	Aceptable con Controles	Debe verificarse que los procedimiento o controles estén en su lugar
7 a 10	D	Aceptable	No se requiere mitigar el riesgo

3.3.1 Tabla de Recomendaciones

TABLA 10 GLOSARIO DE TABLA 10 RECOMENDACIONES

GLOSARIO	
CÓDIGO	SIGNIFICADO
F	Frecuencia
P	Persona
I	Instalación
MA	Medio Ambiente
O	Operación
GR	Grado de Riesgo
D	Descripción

TABLA 11 RECOMENDACIONES

ESCENARIO	Gravedad						D
	F	P	I	MA	O	GR	
Instalar Filtros De Carbón En La Descarga De La Válvula De Seguridad	2	C	D	C	D	C	Aceptable con Controles
Instalar Sellos Dobles En La Bombas De Alimentación	2	C	D	C	D	C	Aceptable con Controles
Instalar Circuitos Cerrados Para Recolectar La Descarga	2	C	D	C	D	C	Aceptable con Controles
Configuración Para Operación De Bomba Por Bajo Flujo De Descarga	2	C	C	C	D	C	Aceptable con Controles
Uso De Tapones Solidos En Tapas De Intercambiadores	2	C	D	C	D	C	Aceptable con Controles
Uso De Tapones En Purgas Y Ventaneos Solidos	2	C	D	C	D	C	Aceptable con Controles
Adquirir Detectores Personales De H2S Para Personal Operativo	3	D	D	D	D	D	Aceptable
Continuar Con Mantenimiento Preventivo Dinámico	3	D	D	D	D	D	Aceptable
Continuar Con Mantenimiento Preventivo Mecánico	3	D	D	D	D	D	Aceptable
Programa De Rotación De Equipos Mecánicos	3	D	D	D	D	D	Aceptable
Mantenimiento Preventivo De Instrumentación	3	D	D	D	D	D	Aceptable
Programa De Mantenimiento Preventivo De Instrumentación Intercambiadores	3	D	D	D	D	D	Aceptable
Sellos Dobles En Bombas De Alimentación	3	D	D	D	D	D	Aceptable

CAPITULO 4

4.1 ANÁLISIS DE ESCENARIOS HAZOP

Habiendo realizado la jerarquización de los riesgos, y conociendo el de mayor prioridad para su análisis de acuerdo a la evaluación, se procede a identificar la desviación de mayor afectación, para ello, se utilizó la metodología HAZOP, con el objeto de detectar fallas técnicas o de procedimiento del sistema o en la operación del mismo.

Fueron seleccionados dos escenarios para mostrar la sucesión de causas que desencadenarían al evento culminante de fuga y daños. los escenarios mostrados fueron seleccionados arbitrariamente.

4.1 Actividad Y Sistemas Analizados Con HAZOP

4.1.1 Matriz de Riesgos HAZOP

TABLA 12 MATRIZ DE RIESGOS HAZOP

Matriz de Riesgos					
Gravedad					
4	3	2	1		Frecuencia
6	4	3	1	1	
7	6	4	3	2	
9	7	6	4	3	
10	9	7	6	4	
Niveles de Frecuencia					
1	Frecuente	Más de Una Vez al Año			
2	Ocasional	Puede Ocurrir Varias Veces			
3	Posible	Se Espera Una o más Veces			
4	Importante	No se Espera que Ocurra			

Nivel de Gravedad			
Numero	Gravedad	Aspecto	Descripción
1	Catastrófico	Personas	Perdida De Una O Más Vidas Fuera De La Refinería
		Instalaciones	Daños Mayores A \$25,000,000
		Medio Ambiente	Fuga Mayor Que Requiera Limpieza Fuera De La Refinería
		Operación	Paro De La Refinería
2	Mayor	Personas	Lesionado Fuera De Refinería Y Una Pérdida De Vida Dentro De La Refinería
		Instalaciones	Daños Por Un Monto De Entre \$2,500,00 A \$25,000,000
		Medio Ambiente	Fuga Mayor Que Requiera Limpieza Fuera De La Refinería
		Operación	Paro De Más De Una Planta
3	Significativo	Personas	Varios Lesionados Dentro De La Refinería
		Instalaciones	Daños Por Un Monto De Entre \$250,000 Y \$25,000,000
		Medio Ambiente	Fuga Mayor Que Requiera Limpieza Dentro De La Planta
		Operación	Paro De Una Planta
4	Importante	Personas	Un Lesionado Dentro De La Refinería
		Instalaciones	Daños Por Menos De \$250,000
		Medio Ambiente	Fuga Menor
		Operación	Paro De Equipo O Sección De La Planta

4.1.2 Matriz de Clases y Criterios de Jerarquización.

TABLA 13 MATRIZ DE CLASES DE RIESGOS

Matriz de Clases de Riesgos					
Gravedad				Frecuencia	
4	3	2	1		
C	B	A	A		1
D	C	B	A		2
D	D	C	B		3
D	D	D	C	4	

Criterios para Jerarquizar las Recomendaciones			
Numero	Clase	Descripción	Observaciones
1 a 3	A	Inaceptable	El riesgo debe mitigarse con controles de Ing. y/o administrativos hasta un riesgo C o menos, dentro de un periodo de 6 meses
4	B	Indeseable	El riesgo debe mitigarse con controles de Ing. y/o administrativos hasta un riesgo C o menos, dentro de un periodo de 12 meses
6	C	Aceptable con Controles	Debe verificarse que los procedimiento o controles estén en su lugar
7 a 10	D	Aceptable	No se requiere mitigar el riesgo

4.1.3 ANÁLISIS APLICANDO MÉTODO HAZOP

4.1.4 Circuitos Seleccionados para Análisis HAZOP

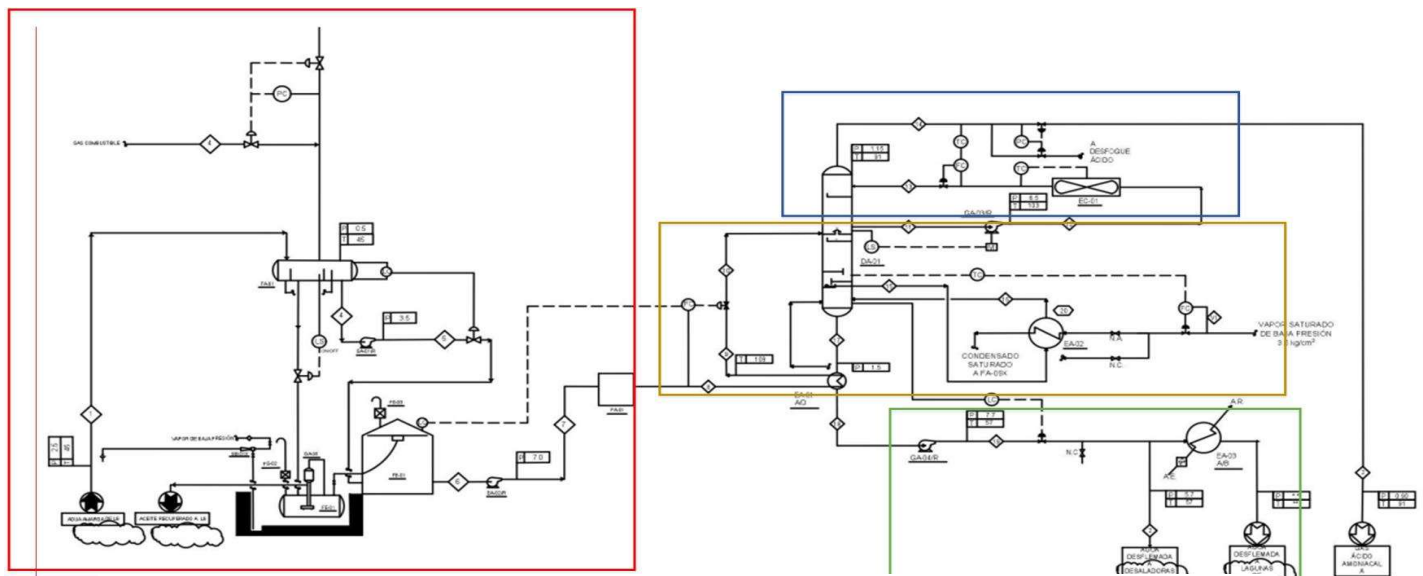


ILUSTRACIÓN 3 CIRCUITOS SELECCIONADOS EN DFP

4.1.5 Descripción de Circuitos para HAZOP

Circuitos Seleccionados para HAZOP	
CIRCUITO	NOMBRE
1	De carga de Agua Amarga
2	De Desorción de Ácido Sulfhídrico
3	De Agua Desfleada
4	Reflujo de la Torre de Agotamiento

Diagramas Utilizados en HAZOP		
Circuito	Nº Diagrama	Nombre del Diagrama
1	401	Carga de Aguas
1	402	Almacén de Aguas
2	404	Agotador
3	405	Reflujo Agotador
4	406	Tanque Slop

4.1.6 Hojas De Registro HAZOP

4.1.7 Circuito 1

TABLA 14 REGISTRO HAZOP CIRCUITO 1

PLANTA	Agotador de Aguas Amargas	CIRCUITO	1	De descarga de agua amarga
NODO	Tanque FA-01	Producto		Agua Amarga e Hidrocarburos

1. Bajo Nivel de Acumulador FA-01				LOI: 5%	LOS:	LSI:	LSS: 35%				
CAUSA	CONSECUENCIA	PROTECCIONES	RECOMENDACIÓN	F	G	R	CLASE				
1 Falla De Controlador 2	Bajo Flujo De Succión De Bomba	Programa De Mantenimiento Preventivo	NA	2	3	6	D				
	Cavitación Y Daños De Sello Mecánico Presión De Vacío Y Colapso De Tanque Acumulación Fugas De Aguas Amargas Exposición Del Personal A Altas Concentraciones De Acido Contaminación Ambiental	En Descargas De Las Bombas Hs Para Arranque Y Paro De Bombas Dividir El Controlador De Presión		3	6	9					
2 Bajo Nivel De Hidrocarburo	Envío A SLOP	Programa De Mantenimiento Preventivo Para Instrumentación	NA	2	4	7	D				
3 Alto Nivel De Hidrocarburos	Arrastre De Hidrocarburos A La Torre De Agotamiento	Programa De Mantenimiento De Equipo Mecánico	NA	2	4	7	D				
	Aprisionamiento De Torre Baja La Temperatura De Fondos En La Torre	Relevo De La Bomba Controlador Arranque En Automático Desde SCD		3	4	9					

4 Alto Nivel De Aguas Amargas Por Fallo De Bomba	Incremento De Nivel En Hidrocarburos Envió De Agua Amarga A SLOP No Hay Flujo A Tanque Acumulador	Programa De Mantenimiento De Equipo Mecánico Bomba De Relevo Alarma Por Bajo Nivel		2 3	3 4	6 9	D
5 Alto Nivel De Agua Amarga Por Fallo De Controlador	Incremento De Nivel En Hidrocarburos Envió De Agua Amarga A SLOP Sobre Carga A Disparador De Bomba De Transferencia	Prevención Mantenimiento De Instrumentación Bomba Relevo		2 3	3 4	6 9	D
6 Tapón En Bomba De Succión	Bajo Flujo De Succión De Bomba Cavitación Y Daños De Sello Mecánico Fugas De Aguas Amargas Exposición Del Personal A Altas Concentraciones De Acido Contaminación Ambiental	Indicadores De Presión		2 3	3 4	6 9	D
7 Bajo Nivel En Tanque De Acumulación	Bajo Flujo De Succión De Bomba Cavitación Y Daños De Sello Mecánico Fugas De Aguas Amargas Exposición Del Personal A Altas Concentraciones De Acido Contaminación Ambiental	Indicador De Nivel Controlador Con Alarma De Nivel Indicador Visual De Nivel Mascarillas Contra Suministros De Aire		2 3	3 4	6 9	D
8 Falla En La Bomba De Hidrocarburos	Venteo De Ácido Sulfúrico Contaminación Ambiental	Programa De Mantenimiento Dinámico Bomba De Relevo Válvula De Seguridad Indicador Visual De Nivel Indicador De Nivel		2	3	6	D
9	Contaminación Ambiental		Instalar Filtro De Carbón	1	4	6	C

Descarga A Altura Del Tanque En El Domo	Malos Olores			1	4	6	
10 Taponamiento En Coladera	Cavitación Y Daños De Sello Mecánico Fugas De Aguas Amargas Daños Al Personal Contaminación Ambiental Alto Nivel De Tanque De Almacenamiento	Programa De Manteniendo Dinámico Indicador Visual De Nivel Indicador De Nivel	Sellos Dobles En Las Bombas Detectores Personales De H2S	2	3	6	C
11 Bajo Nivel En Tanque De Balance	Cavitación Y Daños De Sello Mecánico Fugas De Aguas Amargas Daños Al Personal Contaminación Ambiental	Indicador Visual De Nivel Indicador De Nivel Equipo De Aire Automatizo Recorrido De Campo	Sellos Dobles En Las Bombas	2	3	6	C
12 Obstrucción En Tubos De Precaalentado	Represión De La Descarga Daño Mecánico Por Represionamiento Fugas De Aguas Amargas Contaminación Ambiental Bajo Flujo En La Torre Paro De Planta	Programa De Reparación De Planta Indicadores De Descarga Válvula De Seguridad	Sellos Dobles En Las Bombas Instalar Circuito Cerrado Para Recolectar Descarga	2	3	6	C
13 Falla En Cerrado Del Válvulas	Represión De La Descarga Daños Sello Mecánico Fugas De Aguas Amargas Daño A Personal Contaminación Ambiental Bajo Flujo De Torre	Programa De Mantenimiento Instrumentación Indicadores De Descarga Paro De La Bomba	Sellos Dobles En Las Bombas Instalar Circuito Cerrado Para Recolectar Descarga	2	3	6	C
14 Degollamiento Del	Fugas De Aguas Amargas Daños Al Personal	NA	NA	3	3	7	D

Arreglo Del Auto Sello Del Al Bomba	Contaminación Ambiental						
15 Daños De Arreglo De Venteo O Purga	Fuga De Aguas Desflemadas Daños Al Personal Contaminación Ambiental	NA	Tapones Solidos En Tapas	3	2	6	C

4.1.8 Circuito 2

TABLA 15 REGISTRO HIZO CIRCUITO 2

PLANTA	Agotador de Aguas Amargas	CIRCUITO 2	Desorción de Acido
NODO	Torre Agotadora	Producto	Agua Amarga

Desviación	1. Bajo Nivel de Acumulador FA-01	LOI: 5%	LOS:	LSI:	LSS: 35%
-------------------	--	----------------	-------------	-------------	-----------------

CAUSA	CONSECUENCIA	PROTECCION	RECOMENDACIÓN	F	G	R	CLASE
1 Falla En Bomba	Daños Internos En Agotador Paro De Planta	Programa De Mantenimient o Preventivo Mecánico Bomba Relevo Alarma De Alto Nivel Indicador Visual De Nivel	Programa De Mantenimiento Preventivo Rotación De Equipo	3	3	7	D
2 Fallo En Cerrado De Válvula	Daños Internos En Agotador Paro De Planta	Programa De Mantenimient o Preventivo De Instrumentos	Programa De Mantenimiento Preventivo	3	3	6	D
3 Taponamiento En Tubos De Precaentado De Agua Desflemda	Daños Internos En Agotador Bajo Flujo De Succión De Bomba Cavitación Y Daños En Sello Mecánico Incremento De Consumo De Vapor	Bypass Por Bancos De Cambiadores	Programa De Mantenimiento Preventivo	2	4	7	D
4 Fallo De Controlador	Bajo Flujo De Succión De Bomba	Programa De Mantenimient o	Programa De Mantenimiento Preventivo	2	3	6	D

, Abriendo Válvula Al 100%	Cavitación Y Daños En Sello Mecánico Fuga De Aguas Desflemada	Indicador Visual De Nivel Indicador De Presión En Descargas De Bombas					
5 Falla De Control De Temperatura	Daños Internos En Agotador Paro De Planta	Alarma Por Alta Temperatura Indicadores De Campo Y	Programa De Mantenimiento Preventivo	2	3	6	D
6 Falla De Reflujo En El Domo	Daños Internos En Agotador Envió De Acido Al Desfogue Paro De Planta Contaminación Ambiental	Programa De Mantenimiento o Bypass De La Válvula Bomba Relevó	Programa De Mantenimiento Preventivo	2	3	6	D
7 Fallo En Cerrado De Válvulas De Alimentación De Vapor	Baja Presión De La Torre Daños Internos En Agotador Paro De Planta	Dirección De Válvula Programa De Mantenimiento o Alarma De Bajo Flujo De Vapor Alarma Por Baja Presión En Torre	Programa De Mantenimiento Preventivo	2	3	6	D
8 Fallo En Cerrado De Válvulas De Salida De Condensador	Baja Presión De La Torre Daños Internos En Agotador Paro De Planta	Dirección De Válvula Programa De Mantenimiento o Alarma De Bajo Flujo De Vapor Alarma Por Baja Presión En Torre	Programa De Mantenimiento Preventivo	2	4	7	D

4.1.9 Circuito 3

TABLA 16 REGISTRO HIZO CIRCUITO 3

PLANTA	Agotador de Aguas Amargas	CIRCUITO 3	Agua Desfleada al limite				
NODO	De línea de succión de la bomba a enfriador y salida limite	Producto	Agua Desfleada				
Desviación	Bajo Flujo de succión	LOI: 5%	LOS: LSI: LSS: 35%				
CAUSA	CONSECUENCIA	PROTECCIONES	RECOMENDACIÓN	F	G	R	CLASE
1 Taponamiento de coladeras y bombas de succión	Cavitación y daño de sellos Fuga de Agua desfleada Contaminación de área	Programa de mantenimiento Bomba relevo Indicador de presión Alarma por alto nivel	Uso de sellos dobles para las bombas	2	3	6	D
2 Fallo en cerrado de válvulas de salida de agua desfleada	daños sello mecánico fuga de agua desfleada	Programa de mantenimiento dinámico alarma por alto nivel	sellos dobles en bombas	2	3	6	D
3 Daños al arreglo de venteo	fuga de agua desfleada contaminación ambiental	NA	Sustituir purgas por tapones	3	2	6	C
4 Daños al arreglo de venteo en campana de cambiador	fuga de agua desfleada contaminación ambiental	NA	Sustituir purgas por tapones	3	2	6	C

4.1.10 Circuito 4

TABLA 17 REGISTRO HIZO CIRCUITO 4

PLANTA	Agotador de Aguas Amargas	CIRCUITO 4	Reflujo de la torre de agotamiento
NODO	Reflujo de torre a bomba a enfriador	Producto	Agua Amarga

Desviación	Alto Reflujo	LOI: 5%	LOS:	LSI:	LSS:35%
-------------------	---------------------	----------------	-------------	-------------	----------------

CAUSA	CONSECUENCIA	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES	F	G	R	CLASE
1 Fallas De Aire En La Válvula	Enfriamiento De Domo Agua Desflemada Fuera De Especificaciones	Controlador Indicador En Línea De Flujo	NA	2	3	6	D
2 Plato De Succión Quede Sin Nivel	Cavitación Y Daños De Sello Mecánico Fuga De Aguas Amargas Exposición Al Personal Contaminación Ambiental	Alarma Por Bajo Nivel Indicador De Nivel Disparo Por Bajo Nivel En El Plato De Succión Indicador Local De Nivel	NA	2	3	6	D
3 Falla De Bomba De Reflujo	Baja Temperatura De Domos Agua Desflemada Fuera De Especificaciones	Bomba Relevo Controlador Indicador En Línea De Flujo Alarma Por Bajo Reflujo	NA	1	3	6	D

4.2 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

4.2.1 Criterios Árbol de Fallas

La elaboración del árbol de fallas parte de identificar grupos de sucesos que puedan presentar un evento culminante. Dichos grupos son denominados conjuntos de separación, los cuales una vez identificados pueden ser manipulados para su simplicidad ya que los conjuntos de separación cuentan con subconjuntos adyacentes, de esta forma es posible llegar de un conjunto de separación a un conjunto mínimo, donde el conjunto mínimo no contiene otros conjuntos.

Partiendo de que un grupo de sucesos es denominado como un conjunto, es posible describir el análisis de árbol de fallas mediante una expresión equivalente del algebra de Boole.

Para la elaboración del presente árbol de fallas es aplicado un análisis de conjuntos mínimos, la cual consiste en la manipulación de la estructura lógica del árbol a partir de la identificación de todas las combinaciones de eventos básicos presentes los cuales incidirán en el evento culminante.

Aplicando la regla del algebra Booleana para el cálculo del árbol de fallas es posible obtener una estructura lógica del árbol de fallas originada a partir de la obtención del conjunto mínimo.

Se llego a la obtención de dos escenarios para la aplicación de la técnica FTA. Los escenarios descritos muestran la sucesión de causas que desencadenarían un evento culminante de fuga y daños.

TABLA 18 CRITERIOS AF

Escenario	Descripción
1	Fuga de agua amarga de la bomba de carga 401
2	Bajo nivel de la Torre DA-01

Criterios para Asignación de Probabilidades a los Eventos Básico

Probabilidad	Frecuencia Probable
1	Inminente
1.00E-01	Muy Probable
1.00E-03	Probable
1.00E-05	Poco Probable
1.00E-07	Improbable
1.00E-09	No Existe Probabilidad

4.2.2 Descripción de Escenarios.

Se llegó a la selección de dos escenarios posible mediante conjuntos mínimos para la aplicación de la técnica FTA. Los escenarios descritos muestran la sucesión de causas que desencadenarían un evento culminante de fuga y daños.

El proyecto para la implementación de una planta nueva aún se encuentra en desarrollo, por lo cual no es posible realizar un análisis formal con uso de registros históricos.

Por tal motivo fueron seleccionados dos escenarios arbitrarios de incidentes que pudiesen presentarse. En la Tabla 18 serán descritos los escenarios a analizar.

TABLA 19 DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS

Descripción de Escenarios para FTA		
Escenario	Causa	Consecuencia
1. Fuga de agua amarga en la bomba de carga	La bomba puede presentar fugas, por represionamiento en la carga ya sea por bloqueos cerrados, por cierre de válvula con afectaciones en el sello mecánico o por empuje mal instalado	El incremento de la presión de la descarga, puede resultar en fugas de agua amarga exponiendo al personal a altas concentraciones de ácido sulfhídrico provocando lesiones o inclusive la muerte así como la presencia de una contaminación ambiental
2. Bajo nivel en la torre agotadora	Una de las causas puede ser debido a una falla en el FA-01, al mandar a abrir la válvula. Otra posible causa es que no manden carga las plantas desulfuradora	Si hay bajo nivel en la torre puede ocasionar daños en los tubos del EA-02 y daños en los sellos FA-02x

4.2.3 Diagramas de Árbol de Fallas.

La construcción del FTA considero todas las posibles causas que pudiesen llevar a un evento culminante, después de un tratamiento mediante conjuntos mínimos se construye el árbol de fallas reducido el cual es equivalente al primero diferenciándose por la eliminación de causas de falla común.

A continuación, se muestra la relación de los diagramas de árbol en la Tabla 19

TABLA 20 RELACIÓN DE DIAGRAMAS

Relación de los Diagramas de Árbol de Fallas	
Numero	Nombre
1	Análisis de árbol de fallas de fuga de agua amarga en la bomba de carga
2	Análisis de árbol de fallas por bajo nivel en la torre

4.2.4 Hojas De Cálculo Aplicando Técnica de Conjuntos Mínimos.

4.2.5 Árbol De Fallas Para “Fuga De Agua Amarga En La Bomba De Descarga”

A continuación, se describe el desarrollo del FTA mediante la formación de conjuntos de separación, con la cual será posible obtener al final una formación de conjuntos mínimos. En la tabla 20 se muestra la separación de conjuntos, posteriormente es aplicada la ecuación de nivel para la construcción del árbol de fallas reducido, así como el cálculo de la probabilidad del evento culminante con los conjuntos mínimos, la Tabla 21 contendrá la información sobre la probabilidad de ocurrencia.

“FUGA DE AGUA AMARGA EN LA BOMBA DE DESCARGA”

TABLA 21 EXPRESIÓN BOOLEANA PARA BOMBA DE DESCARGA

Expresión Booleana	
1	T = M1+M2+M3
2	T = B1+M4+B2+M5+B3+B4+M6+B5+M7
3	T = M8+B6+M9+B4+B7+B8+B9+B10+B11+M10+B12
4	T = B13+B14+B4+B7+B8+M11+B15
5	T = B13+B14

“FUGA DE AGUA AMARGA EN LA BOMBA DE DESCARGA”

TABLA 22 PROBABILIDAD DE QUE SEA PRESENTADO UN EVENTO PARA EL ESCENARIO

Eventos Básicos con sus Probabilidades			
Código		Evento	Probabilidad
B	1	Caída En El Bloqueo De Descarga	1.00E-05
B	2	Alta Presión En La Torre	1.00E-03
B	3	Inspección Menor A La Adecuada	1.00E-03
B	4	Falta De Capacitación Y Adiestramiento	1.00E-03
B	5	Obstrucción En Filo De Succión	1.00E-05
B	6	Falla Aire De Instrumentos	1.00E-05
B	7	Distracción Operador	1.00E-03
B	8	Falla En Toma De Decisiones	1.00E-07
B	9	Especificaciones Inadecuadas	1.00E-05
B	10	Falla De Control De Calidad	1.00E-03
B	11	Refacciones Insuficientes	1.00E-03
B	12	Por Error Humano Cierre De Válvulas	1.00E-03
B	13	Mantenimiento	1.00E-05
B	14	Falsa Señal LIC	1.00E-03
B	15	Falla Alarma LAH	1.00E-05

“FUGA DE AGUA AMARGA EN LA BOMBA DE DESCARGA”

TABLA 23 CÁLCULO DE CONJUNTOS MÍNIMOS Y PROBABILIDAD PARA

Calculo de Conjuntos Mínimos			
Conjunto (iguales)		Probabilidad	Porcentaje
C1	B1	1.00E-05	0.124
C2	B2	1.00E-03	12.361
C3	B3	1.00E-03	12.361
C4	B4	1.00E-03	12.361
C5	B5	1.00E-05	0.124
C6	B6	1.00E-05	0.124
C7	B7	1.00E-03	12.361
C8	B8	1.00E-07	0.001
C9	B9	1.00E-05	0.124
C10	B10	1.00E-03	12.361
C11	B11	1.00E-03	12.361
C12	B12	1.00E-03	12.361
C13	B13	1.00E-05	0.124
C14	B14	1.00E-03	12.361
C15	B15	1.00E-05	0.124
Probabilidad		8.09E-03	(0.8 Veces en 100 años)
Frecuencia		8.09E-03	Veces al año

4.2.6 Árbol De Fallas Para “Bajo Nivel En La Torre De Agotamiento”

A continuación, se describe el desarrollo del FTA mediante la formación de conjuntos de separación, con la cual será posible obtener al final una formación de conjuntos mínimos. En la tabla 23 se muestra la separación de conjuntos, posteriormente es aplicada la ecuación de nivel para la construcción del árbol de fallas reducido, así como el cálculo de la probabilidad del evento culminante con los conjuntos mínimos, la Tabla 24 contendrá la información sobre la probabilidad de ocurrencia.

"BAJO NIVEL EN LA TORRE DE AGOTAMIENTO"

TABLA 24 EXPRESIÓN BOOLEANA PARA TORRE DE AGOTAMIENTO

Expresión Booleana	
1	$T = B1 + M1 + M2 + M3 + M4$
2	$T = (B2 * B3) + M5 + M6 + B4 + M7 + M8 + B5 + M9 + M10 + B6$
3	$T = M7 + M8 + M9 + B10 + B11 + B12 + M11$
4	$T = B8 + B9 + B10 + B11 + B14 + B15$

"BAJO NIVEL EN LA TORRE DE AGOTAMIENTO"

TABLA 25 CÁLCULO DE CONJUNTOS MÍNIMOS Y PROBABILIDAD PARA TORRE DE AGOTAMIENTO

Eventos Básicos con sus Probabilidades	
Evento	Probabilidad
Obstrucción De Filtros	1.00E-05
Mantenimiento	1.00E-03
Incrustaciones	1.00E-03
No Flujo De Agua Amarga	1.00E-03
Falsa Señal	1.00E-05
Falla Eléctrica	1.00E-05
Refacciones Inadecuadas	1.00E-03
Diseño Inapropiado	1.00E-07
Revisión Del Diseño	1.00E-05
No Se Aplica M.A.A	1.00E-03
M.P.P Deficiente	1.00E-03
Falta De Entrenamiento Técnico	1.00E-05
Distracción Del Operador	1.00E-03
Obstrucción De Filtros	1.00E-05

“BAJO NIVEL EN LA TORRE DE AGOTAMIENTO”

TABLA 26 CÁLCULO DE CONJUNTOS MÍNIMOS Y PROBABILIDAD PARA TORRE DE AGOTAMIENTO

Calculo de Conjuntos Mínimos			
Conjunto mínimo		Probabilidad	Porcentaje
C1	B1	1.00E-05	0.16529
C2	B2 *B3	1.00E-08	0.00017
C4	B4	1.00E-07	0.00165
C5	B5	1.00E-05	0.16529
C6	B6	1.00E-03	16.52893
C7	B7	1.00E-03	16.52893
C8	B8	1.00E-05	0.16529
C9	B9	1.00E-03	16.52893
C10	B10	1.00E-03	16.52893
C11	B11	1.00E-05	0.16529
C12	B12	1.00E-03	16.52893
C13	B13	1.00E-03	16.52893
C14	B14	1.00E-05	0.16529
Probabilidad		6.05E-03	0.6 Veces en 100 años

4.2.7 Diagramas Realizados Para Árbol De Fallas

4.2.8 Diagrama Árbol De Fallas Para “Fuga De Agua Amarga En Bomba De Descarga”

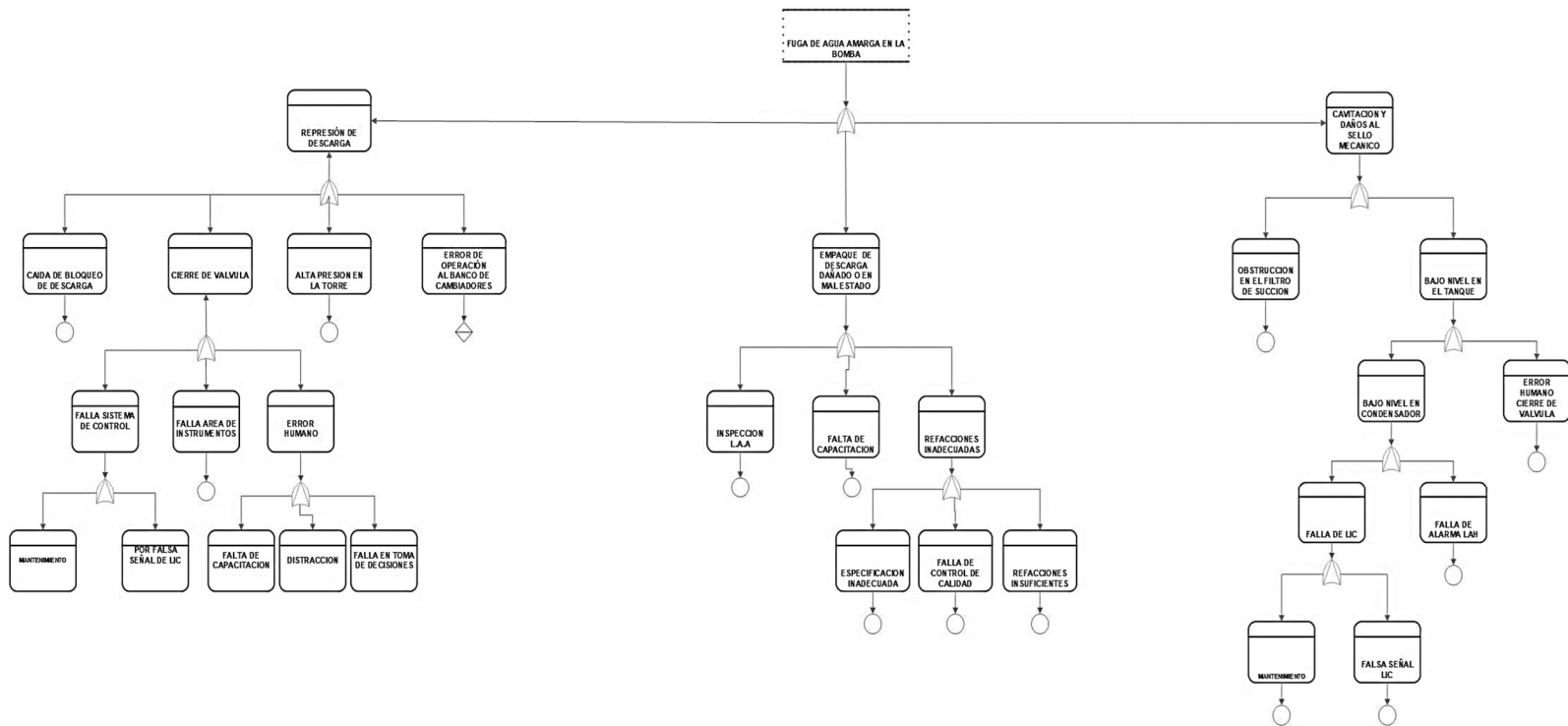


ILUSTRACIÓN 4 ÁRBOL DE FALLAS “FUGA DE AGUA AMARGA EN BOMBA DE DESCARGA”

4.2.9 Diagrama Árbol De Fallas Para “Bajo Nivel En Torre De Agotamiento”

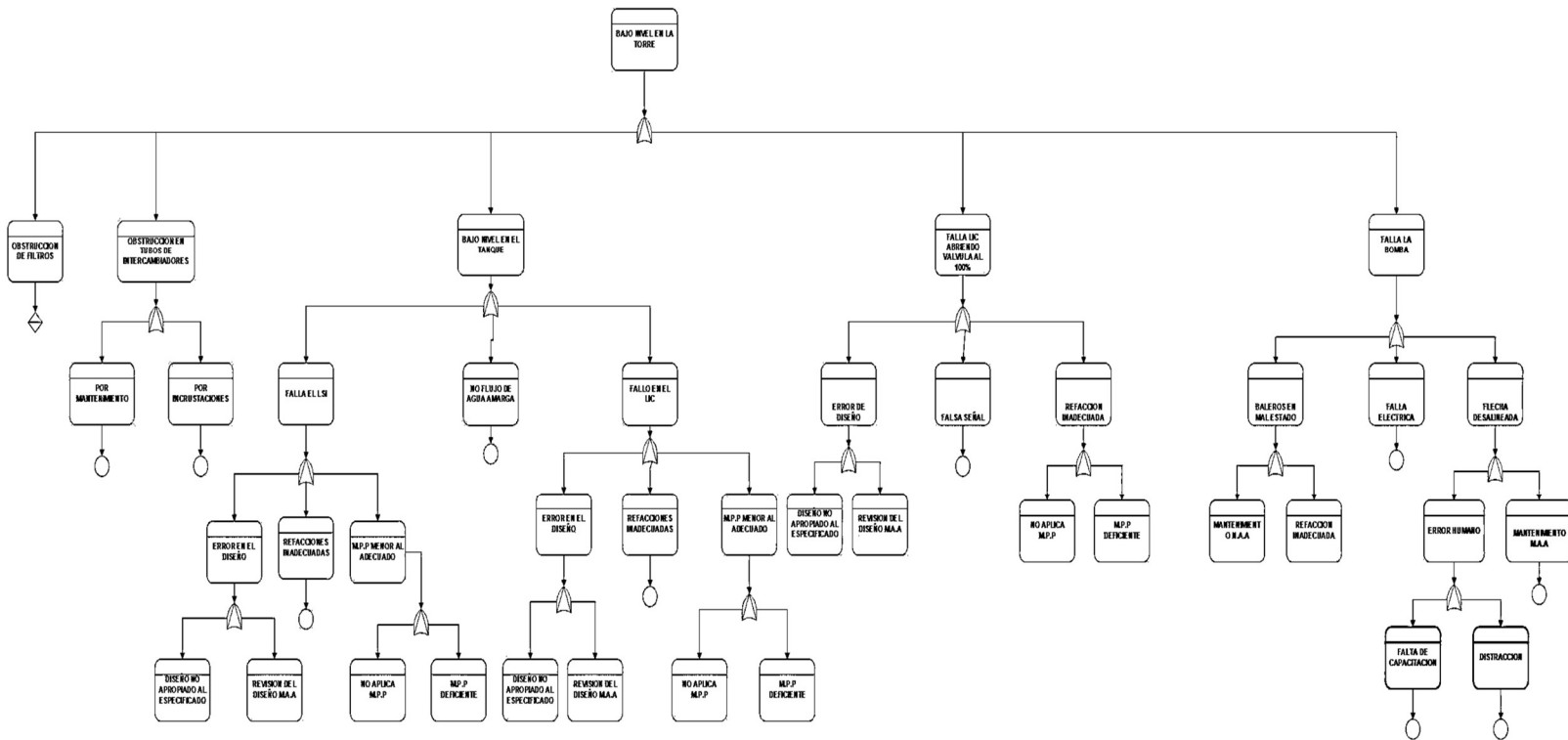


ILUSTRACIÓN 5 ÁRBOL DE FALLAS "BAJO NIVEL EN TORRE DE AGOTAMIENTO"

CAPITULO 5

5.1 CONCLUSIONES

El realizar un análisis de riesgos detallado es sumamente complejo, aplicar tablas, analizar si cumple o no para determinar si hay algún peligro, usar metodologías aparentemente subjetivas, e introducir en un software elementos conocidos para mostrar el escenario que podría presentarse. Sin embargo, el determinar la existencia de un verdadero riesgo va más allá de conformarse con ver documentos que avalen inspecciones, capacitaciones, mantenimientos, observar las instalaciones o las condiciones en que trabajan o entrevistar a los trabajadores sobre sus actividades cotidianas.

Algunos peligros y quizá los de mayor significancia se encuentran ocultos, y el trato y la confianza que se les brinde a los trabajadores son de vital importancia para descubrirlos.

La ocurrencia de los sucesos, puede ser presentada debido a fallas en el personal quienes no reportan los acontecimientos en tiempo

El conocimiento y difusión del alcance que pudiese tener un acontecimiento, así como la aplicación de las adecuadas medidas preventivas salvaguarda la vida, el ambiente y el capital. Lo anterior sustenta que la prevención es la base para evitar accidentes que causen daños irreparables

5.2 BIBLIOGRAFÍA

ANGÜIS TERRAZAS Victoriano, “Sistema de Seguridad Integral”, Editorial Color, 1ra edición, México 1998.

CASAL Joaquín y MONTIEL Helena, “Análisis de riesgo en instalaciones industriales”, Editorial Alfa omega, 4ta edición, Madrid 2002.

CENAPRED, “Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en la República Mexicana” 2002.

HERNÁNDEZ ZÚÑIGA Alfonso, “Seguridad e higiene industrial”, Editorial Limusa, México 1999.

MARTÍNEZ PONCE DE LEON, “Introducción al análisis de Riesgos”, Editorial Megabyte 4ta edición, 1998.

MOSQUERA Genaro, “Análisis de riesgo industrial”, Editorial Universidad Central de Venezuela, 1ra edición, Venezuela 2000.

RIDLEY John & CHANNING John, “Safety at Work”, Editorial Butterwork Heinemann, 6ta edition, Oxford 2003.

RODELLAR LISA Adolfo, “Seguridad e higiene en el trabajo”, Editorial Marcombo, 1ra edición, España 1988.

Compendio de material de la “Certificación en Seguridad Integral”, 2009.

Mesografía

Página electrónica del Servicio de Administración Tributaria www.sat.gob.mx/sitio_internet/asistencia_contribuyente/informacion_frecuente/salarios_minimos/, octubre 2010.

Página electrónica de la Ley del Instituto Mexicano del Seguro Social academia.uat.edu.mx/sutuat/Documentos/LeySeguroSocial.pdf. octubre 2010.

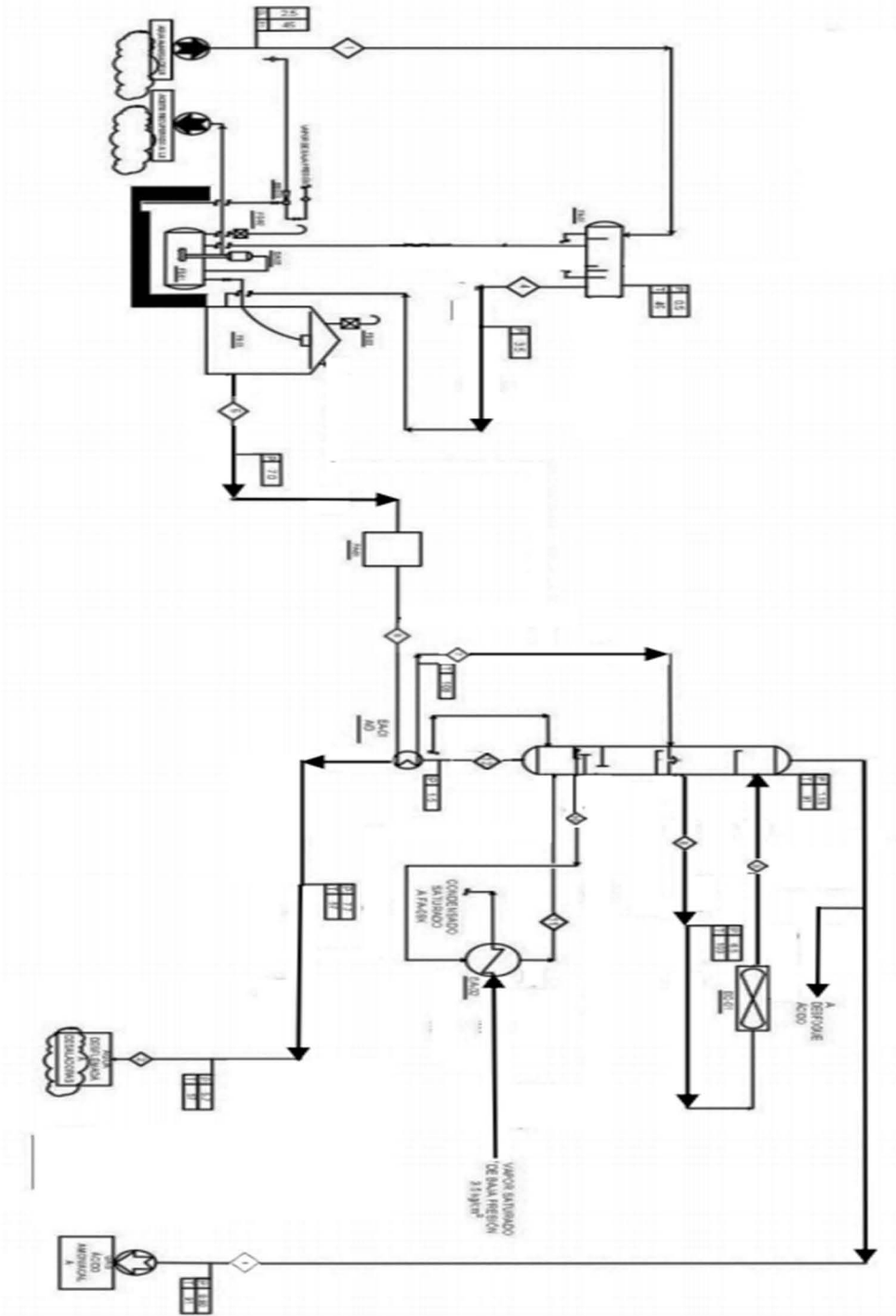
Página electrónica del Instituto Mexicano del Seguro Social www.imss.mx. Octubre 2010.

Página electrónica de la Secretaria del Trabajo y Previsión Social www.stps.gob.mx, octubre 2010.

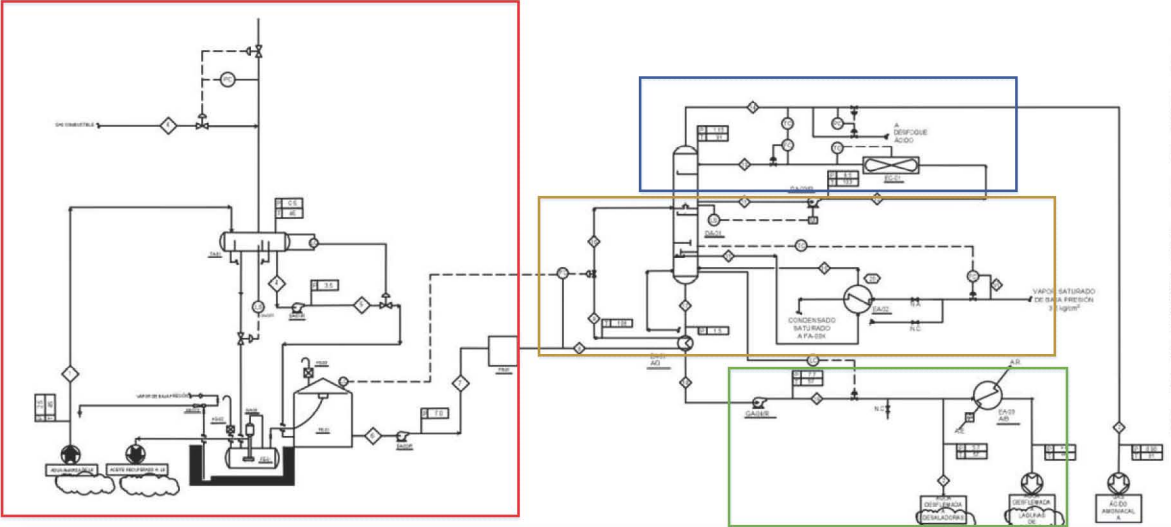
ANEXOS.

ANEXO I

Diagrama De Flujo De Proceso (DFP)

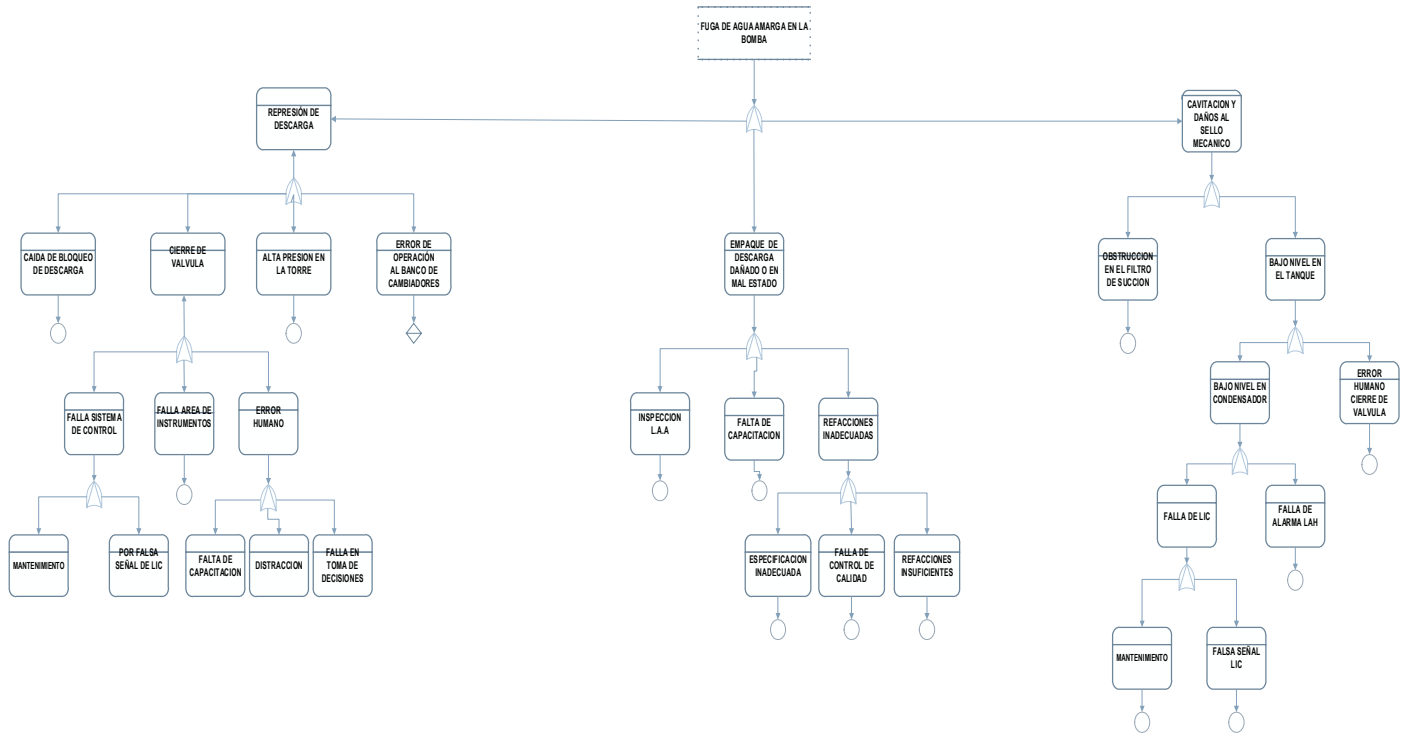


Selección de Nodos En DFP



ANEXO II

Diagramas de Árbol de Fallas “Fuga de Aguas Amargas”



Diagramas de Árbol de Fallas “Bajo Nivel en Torre de Agotamiento”

