



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA**

**ANÁLISIS DE ESPACIAMIENTOS MÍNIMOS DE UNA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS  
EN UNA REFINERÍA**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTA**

**INGRID DOROTEO REYES**



**CIUDAD DE MÉXICO**

**AÑO 2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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:** Profesor: **MARÍA RAFAELA GUTIERREZ LARA**

**VOCAL:** Profesor: **MODESTO JAVIER CRUZ GÓMEZ**

**SECRETARIO:** Profesor: **PAMELA NELSON EDELSTEIN**

**1er. SUPLENTE:** Profesor: **ALEJANDRA MENDOZA CAMPOS**

**2° SUPLENTE:** Profesor: **LUIS ANGEL MORENO AVENDAÑO**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.**

**ASESOR DEL TEMA:**

**DRA. PAMELA FRAN NELSON EDELSTEIN**

---

**SUSTENTANTE:**

**INGRID DOROTEO REYES**

---

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	6
RESUMEN .....	7
1. INTRODUCCIÓN .....	8
1.1 OBJETIVOS .....	10
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 PEMEX REFINACIÓN <sup>[18]</sup> .....	12
2.2 POLÍTICA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCIÓN AMBIENTAL DE PETRÓLEOS MEXICANOS <sup>[31]</sup> .....	12
2.3 ANÁLISIS DE RIESGOS <sup>[11]</sup> .....	13
2.4 HISTÓRICO DE ACCIDENTES EN REFINERÍAS <sup>[19,21]</sup> .....	19
2.5 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS <sup>[11]</sup> .....	21
2.6 MODELOS DE CONSECUENCIA Y EFECTO <sup>[11,13]</sup> .....	23
2.7 EFECTOS POR RADIACIÓN, SOBREPRESIÓN Y TOXICIDAD .....	31
2.8 PHAST <sup>[7]</sup> .....	35
3. ANÁLISIS DE ESPACIAMIENTOS MÍNIMOS.....	41
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS .....	42
3.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA .....	44
3.3 DOCUMENTACIÓN REVISADA.....	45
3.4 EVALUACIÓN DE ESPACIAMIENTOS ENTRE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS E INSTALACIONES INVOLUCRADAS .....	46
3.5 EVALUACIÓN DE ESPACIAMIENTOS ENTRE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS .....	50
3.6 EQUIPOS QUE NO CUMPLEN CON LOS ESPACIAMIENTOS MÍNIMOS. 56	
3.7 SIMULACIONES DE LOS ESCENARIOS RESULTANTES DE LA EVALUACIÓN DE ESPACIAMIENTOS .....	58
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	66
4.1 ANÁLISIS CONSECUENCIAS DE ESCENARIOS EN INSTALACIONES ALEDAÑAS.....	76

4.2 ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE ESCENARIOS EN LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS .....	77
5. CONCLUSIONES.....	81
6. REFERENCIAS.....	83
ANEXOS .....	87
DEFINICIONES.....	87
ARREGLO DE LOCALIZACIÓN DE EQUIPOS DE LA PLANTA DE AGUAS AMARGAS .....	91
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PLANTA DE AGUAS AMARGAS.....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Lineamientos para la selección de la fuerza de confinamiento .....	30
Tabla 2 Efectos por radiación térmica.....	31
Tabla 3 Efectos estimados debido a la sobrepresión.....	32
Tabla 4 Efectos observados debido a la concentración de H <sub>2</sub> S.....	34
Tabla 5 Efectos observados debido a la concentración de NH <sub>3</sub> .....	35
Tabla 6 Parámetros atmosféricos .....	37
Tabla 7 Diámetros equivalentes de fuga DEF.....	38
Tabla 8 Espaciamientos mínimos entre instalaciones industriales de proceso, almacenamiento y distribución.....	46
Tabla 9 Espaciamento de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas con respecto a instalaciones aledañas. ....	49
Tabla 10 Espaciamientos mínimos entre equipos dentro de plantas de proceso .....	51
Tabla 11 Equipos y edificios considerados para evaluación de espaciamientos mínimos .....	51
Tabla 12 Equipos no considerados para evaluación de espaciamientos mínimos .....	52
Tabla 13 Espaciamientos mínimos y de diseño entre los equipos de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas.....	55
Tabla 14 Equipos potencialmente afectados y equipos fuentes de riesgo.....	57

Tabla 15 Escenarios de riesgo propuestos .....	60
Tabla 16 Zona intermedia de salvaguarda .....	66
Tabla 17 Resultados de los escenarios simulados.....	68
Tabla 18 Resultados de las Afectaciones entre equipos que no cumplen con los espaciamientos mínimos y edificios de la Planta .....	69
Tabla 19 Consecuencias Caso Más Probable 1.....	78
Tabla 20 Consecuencias Caso Más Probable 2.....	78
Tabla 21 Consecuencias Caso Alternativo 1.....	79
Tabla 22 Consecuencias Caso Alternativo 2.....	79
Tabla 23 Consecuencias Caso Alternativo 3.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Instalaciones Aledañas Planta de Tratamiento de Aguas Amargas .....	48
------------------------------------------------------------------------------	----

## RESUMEN

El Análisis de espaciamientos mínimos en una Planta de Proceso se realiza con el objetivo de dar cumplimiento a la Norma de Referencia de PEMEX (NRF-010-PEMEX-2014) “Espaciamientos Mínimos y Criterios para la Distribución de Instalaciones Industriales en Centros de Trabajo de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios”. Este análisis es realizado bajo la premisa de que:

*“El espaciamiento y distribución de equipos, plantas e instalaciones industriales en áreas donde existe la posibilidad de explosiones e incendios, es un requisito fundamental para prevenir, controlar o minimizar lesiones potenciales al personal y pérdidas materiales por accidentes, prevenir daños en la infraestructura y evitar el escalamiento de eventos adyacentes”*

En el presente trabajo de tesis se presenta una Metodología para realizar este Análisis en una Planta de Tratamiento de Aguas Amargas, además muestra de manera cualitativa la identificación y evaluación de las distancias que se tienen entre plantas, equipos de proceso y entre equipos y edificios principalmente de acuerdo a la norma de referencia.

Posteriormente se integra el análisis de consecuencias referido a los equipos que incumplen la norma, los resultados de las simulaciones elaboradas en el Software PHAST y la determinación de medidas de mitigación, así como las acciones necesarias con las cuales se pretende exista una disminución de las afectaciones a los equipos e instalaciones aledañas a los eventos, todo esto en la etapa de Diseño de la Planta.

# 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la industria petrolera ha registrado la mayor producción de petróleo en el país, por lo que se ha incrementado el procesamiento o refinación del petróleo en las refinerías ya establecidas. Esto también trae una mayor producción de aguas amargas originadas en las mismas plantas de refinación de petróleo, como consecuencia de la naturaleza del proceso. Estos efluentes con grandes cantidades de Ácido Sulfhídrico y Amoniaco, pueden causar grandes daños al medio ambiente, por eso se les da un tratamiento previo. Este tratamiento que es efectivo y eficiente, como cualquier otro proceso, no está exento de riesgos que pueden originar en determinadas circunstancias un accidente en la planta, por esta razón es necesario hacer un análisis de riesgos para asegurar el bienestar de trabajadores, medio ambiente e instalaciones.

En Plantas e Instalaciones el espaciamiento, distribución y ubicación del equipo de proceso debe planearse para minimizar riesgos al personal, las instalaciones y el medio ambiente. Para contar con instalaciones más seguras, protegiendo la integridad del personal y las instalaciones es necesario distribuir y espaciar los equipos considerando criterios de accesibilidad para los operadores para el mantenimiento de equipos, posibles eventos de riesgo por explosión, incendio o dispersión de materiales tóxicos, así como la localización precisa de los sistemas contra incendio. Bajo esa filosofía de diseño PEMEX Refinación aplica la norma NRF-010-PEMEX-2014, sobre “Espaciamientos mínimos y criterios para la distribución de instalaciones industriales en centros de trabajo de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios”.

Es importante que el desarrollo de los estudios de riesgo se realice de manera homogénea entre instalaciones similares, en virtud del beneficio que representa el poder comparar los resultados y recomendaciones, lo cual permite maximizar las medidas de seguridad y optimizar los recursos materiales y humanos para su instrumentación y control.



Una cultura fuerte en seguridad, salud y protección ambiental sustenta un sólido sistema de administración dentro del cual destaca la participación y el compromiso de las empresas quienes son responsables de eliminar las lesiones, reducir los incidentes ambientales, las emisiones totales y los desechos peligrosos, dando como resultado importantes ahorros para la industria.

En este trabajo de tesis se presenta una Metodología para la realización de un Análisis de Espaciamientos Mínimos a una Planta de Tratamiento de Aguas Amargas en su etapa de Diseño.

## 1.1 OBJETIVOS

### GENERAL

- ✓ Realizar el Análisis de Espaciamiento Mínimos en una Planta de Tratamiento de Aguas Amargas.

### PARTICULARES

- ✓ Identificar las distancias que se tienen entre equipos y edificios de la Planta considerados en la planeación original de la distribución de Plantas en la Refinería.
- ✓ Determinar equipos y edificios que no cumplen con los espaciamientos requeridos por la norma.
- ✓ Realizar un análisis de consecuencias para los equipos que incumplen con la norma (mediante el uso del Software PHAST).
- ✓ Presentar las afectaciones por radiación, sobrepresión y toxicidad, así como las salvaguardas con las que se cuenta en cada escenario de riesgo.
- ✓ Indicar cuáles son las medidas adicionales que es necesario implementar para incrementar la protección al personal y minimizar los efectos sobre las instalaciones y el medio ambiente.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Distribuir y espaciar equipos y edificios en Plantas de Proceso con sustento en la Norma de Referencia NRF-010-PEMEX-2014, permite una menor exposición al fuego, menor daño por explosión, mayor dilución de nubes de material tóxico, facilitar el acceso al equipo y maquinaria para construcción, operación, mantenimiento, inspección y extinción de incendios, con el fin de prevenir, controlar y minimizar lesiones potenciales al personal y pérdidas materiales por accidentes.

Por lo tanto, en la etapa de Diseño de la Planta se debe realizar un Análisis de espaciamientos entre los equipos de proceso y entre equipos y edificios con el fin de determinar los que no cumplen con los espaciamientos requeridos por la norma.

Los casos en los que no sea posible cumplir con los espaciamientos mínimos, se debe realizar un análisis de consecuencias para determinar las afectaciones por estos en la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas y en caso de requerirse indicar las medidas adicionales que es necesario aplicar con el fin de dar protección al personal, instalaciones y medio ambiente.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 PEMEX REFINACIÓN <sup>[18]</sup>

Petróleos Mexicanos (Pemex), es la empresa nacional de México facultada para realizar la conducción central y la dirección estratégica de las actividades que abarca la industria petrolera, en los términos que le confiere la Constitución en el ramo del petróleo; por tal motivo asume la responsabilidad de abastecer el mercado nacional de productos del petróleo, gas natural y materias primas para la industria petroquímica. Para el cumplimiento de sus objetivos opera a través de cuatro organismos subsidiarios, cada uno de los cuales tiene por finalidad el desarrollo específico de las principales áreas que conforman el campo de acción de Pemex, siendo éstos: Pemex Exploración y Producción, Pemex Refinación, Pemex Gas y Petroquímica Básica y Pemex Petroquímica. Las funciones básicas de Pemex Refinación son los procesos industriales de refinación, elaboración de productos petrolíferos y derivados del petróleo, su distribución, almacenamiento y venta de primera mano.

### 2.2 POLÍTICA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCIÓN AMBIENTAL DE PETRÓLEOS MEXICANOS <sup>[31]</sup>.

El Sistema Integral para Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental (SIASPA), es el medio para dar cumplimiento a la Política de Seguridad Industrial y Protección Ambiental de Petróleos Mexicanos (PEMEX). Dicha política refleja la visión y los objetivos de PEMEX en relación con la Seguridad Industrial y la Protección Ambiental y constituye el marco dentro del cual se circunscribirán las acciones, objetivos y metas en ambos campos.

## **2.2.1 SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL <sup>[31]</sup>.**

Por su naturaleza, las operaciones en la industria petrolera son susceptibles de generar riesgos de seguridad y de salud en sus trabajadores. Es por ello, que PEMEX se compromete a administrar estos riesgos para proteger la seguridad de sus empleados y sus instalaciones, así como la salud de todos aquellos que participan de manera directa o indirecta en sus operaciones tales como trabajadores, empleados, contratistas, visitantes y de las comunidades cercanas a los centros de trabajo.

### **2.2.1.1 ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS <sup>[31]</sup>.**

Pemex reducirá los riesgos de Seguridad Industrial y Protección Ambiental asociados con sus actividades de exploración, producción, proceso, transporte, almacenamiento y manejo de productos y desechos. Estos riesgos deberán ser evaluados, vigilados y administrados para lograr un buen desempeño en estos dos importantes aspectos, así como alcanzar los objetivos económicos de la empresa. Pemex incorporará la reducción del riesgo en el diseño, construcción, modificación y operación de sus instalaciones y en el proceso y uso de sus productos. Mantendrá, en todo momento, una capacidad de respuesta efectiva para atender los accidentes y emergencias que pudieran ocurrir.

## **2.3 ANÁLISIS DE RIESGOS <sup>[11]</sup>.**

El Análisis de riesgos es una metodología que se aplica de manera sistemática y organizada para identificar las debilidades asociadas al diseño u operación del equipo y/o proceso, por medio de la aplicación de una serie de técnicas que identifican escenarios de riesgos que podrían conducir a consecuencias indeseables como daños a un sistema, a las personas, al medio

ambiente o a la propiedad de la industria; y determinan las medidas para controlar esos riesgos y eliminar o en su defecto, mitigar sus consecuencias.

Por ello es necesario que la identificación de los riesgos se realice al ciclo de vida de una planta como son las etapas de: concepción del proyecto, investigación y desarrollo, diseño, construcción de la planta, puesta en marcha, operación, modificaciones en el proceso, paros periódicos y finalmente en el desmantelamiento.

Debido a los accidentes industriales y al avance de las industrias, los requerimientos de estos estudios se mantienen en constante implementación y se ve presente en el desarrollo de Software para la simulación de análisis de riesgos, mediante la alimentación de datos al programa, logrando diferentes escenarios, y el reporte de los mismos con información muy detallada.

### **2.3.1 ACCIDENTE <sup>[16]</sup>.**

Un accidente es cualquier acontecimiento que implica una desviación intolerable sobre las condiciones de diseño de un sistema. Específicamente cualquier suceso, tal como una emisión, fuga, vertido, incendio o explosión, que sea consecuencia de un desarrollo controlado de una actividad industrial, que pueda causar una situación de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública, inmediata o diferida, para las personas, el medio ambiente y los bienes, ya sea en el interior o en el exterior de las instalaciones, y que estén implicadas unas o varias sustancias peligrosas.

Los accidentes graves generalmente se relacionan con los siguientes tipos de fenómenos:

De tipo térmico: radiación térmica.

De tipo mecánico: ondas de presión y proyección de fragmentos.

De tipo químico: emisión a la atmósfera o vertido de sustancias.

### 2.3.2 CÓDIGOS Y NORMAS DE SEGURIDAD <sup>[15]</sup>.

Las reglamentaciones internacionales y nacionales proporcionan el ímpetu para los esfuerzos industriales por poner programas de administración de seguridad, incluyendo programas administrativos, evaluación de los peligros y análisis de riesgos, programas de control efectivo y verificación rutinaria.

Puestos en marcha, estos elementos pueden reducir en mayor grado la probabilidad de que más de un sistema de seguridad en un proceso falle al mismo tiempo. La experiencia histórica ha demostrado que los accidentes importantes casi siempre están asociados con la falla de al menos dos sistemas de seguridad o respaldo.

Los códigos y normas de seguridad (o estándares) son los estatutos que dictan el procedimiento para efectuar la técnica de análisis para la evaluación de una planta de determinado proceso, las cuales se basan en normas internacionales, nacionales, locales y estándares complementados con la experiencia, con el fin de dar los lineamientos para el diseño, fabricación, distribución, instalación, operación y desmantelamiento de la planta; esto mediante el apoyo de los manuales de operación.

Entre los códigos y normas más importantes a nivel internacional (así como alguno de sus apartados) se encuentran:

**OSHA** (Occupational Safety and Health Administration).

- **29 CFR 1910.119** Ayuda a garantizar lugares de trabajo seguros y saludables (Gestión de la Seguridad de los Procesos Químicos altamente peligrosos), que contiene los requisitos para la gestión de los riesgos asociados a los procesos que utilizan productos químicos altamente peligrosos.

## **EPA** (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos)

- **40 CFR 68.** Establece la lista de sustancias reguladas y las cantidades límite, así como los requisitos para los propietarios u operadores de fuentes estacionarias en relación con la prevención de liberaciones accidentales.

## **API** (American Petroleum Institute)

- **API 581.** Establece programas de inspección para análisis de Riesgos para Equipo a Presión (Risk-Based Inspection Technology)
- **API 2218.** Prácticas contra Incendio en Plantas Petroquímicas (Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants)

Entre los códigos y normas nacionales, se encuentran:

**LGEEPA** (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente) Formulación y conducción de la política ambiental y la expedición de normas oficiales mexicanas y demás instrumentos previstos en esta Ley.

## **NOM** (Normas Oficiales Mexicanas)

- **NOM-002-STPS-2010.** Condiciones de Seguridad. Prevención y Protección Contra Incendios en los Centros de Trabajo.
- **NOM-010-STSPS-1999.** Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.
- **NOM-018-STPS-2015.** Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.



- **NOM 020-STPS-2011.** Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas. Funcionamiento y Condiciones de Seguridad.
- **NOM-028-STPS-2012.** Sistema para la Administración del Trabajo- Seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas.

Entre las normas de Referencia Federal (**NRF**) y documentos de PEMEX implementadas para los Análisis de Riesgos de Proceso y sistemas que nos interesan en esta tesis, se encuentran:

- **NRF-010-PEMEX-2014.** Espaciamientos Mínimos y Criterios para la Distribución de Instalaciones Industriales. Establece los espaciamientos mínimos y criterios para la distribución de equipos, plantas de proceso, unidades de servicios principales, edificios e infraestructura que formen parte de las instalaciones industriales terrestres donde existan peligros de incendio y/o explosión <sup>[1]</sup>.
- **NRF-018-PEMEX-2014.** Análisis de Riesgos. Establece los requisitos técnicos y documentales para la contratación de servicios, para la elaboración o actualización de los análisis de riesgos en las instalaciones de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios <sup>[6]</sup>.
- **NRF-065-PEMEX-2014.** Recubrimiento a Prueba de Fuego en Estructuras y Soportes de Equipos. Establece los requisitos para la adquisición y aplicación de Recubrimiento para Protección Pasiva contra Fuego para proteger las estructuras y soportes metálicos en las instalaciones industriales de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios <sup>[24]</sup>.
- **COMERI 144.** Lineamientos para realizar Análisis de Riesgos de Proceso, Análisis de Riesgos de Ductos y Análisis de

Riesgos de Seguridad Física, en Instalaciones de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios <sup>[2]</sup>.

- **DG-SASIPA-SI-02741.** Guía para Realizar Análisis de Riesgos<sup>[4]</sup>
- **800-16400-DCO-GT-75.** Guía Técnica para Realizar Análisis de Riesgos de Proceso <sup>[5]</sup>.
- **DCO-GDOESSPA-CT-001.** Criterios Técnicos para Simular Escenarios de Riesgos por Fugas y Derrames de Sustancias Peligrosas, en Instalaciones de Petróleos Mexicanos <sup>[3]</sup>.

## 2.4 HISTÓRICO DE ACCIDENTES EN REFINERÍAS <sup>[19,21]</sup>

**Visakhapatnam (India).** 14 de septiembre de 1997. Al menos 30 personas murieron en un gigantesco incendio en una refinería de petróleo de la compañía estatal Hindustan Petroleum Corporation Limited (HPCL), después de una posible fuga en el ducto de GLP. Esto causó una serie de explosiones, y pronto se extendió al menos a seis tanques de nafta y gasolina. Lo que forzó a las autoridades a evacuar a 15,000 habitantes de cinco pueblos cercanos.

**Kuwait.** 25 de junio de 2000. Cuatro obreros fallecieron y 50 personas resultaron heridas en una explosión provocada por una fuga de gas en la principal refinería de Kuwait, al sur de la capital. Los trabajadores fueron evacuados poco después de la explosión.

**Puertollano (España).** 14 de agosto de 2003. Siete obreros que trabajaban en la compañía subcontratada murieron en Puertollano luego de una explosión en una refinería de Repsol. Debido a la acumulación de gases en el tanque de gasolina, que generaron una nube de gas inflamable, provocando la explosión inicial que dio lugar al incendio del tanque de gasolina. Este incendio se propagó a otros siete tanques de gasolina.

**Daqing (China).** 30 de octubre de 2004. Siete obreros perecieron en una explosión mientras reparaban un conducto que contenía Sulfuro de Hidrógeno en una Refinería.

**Texas (EUA).** 23 de marzo de 2005. Quince muertos y más de 70 heridos en una explosión que afectó a varios edificios, provocando un incendio en la mayor refinería estadounidense del grupo petrolero británico BP. Resultado de la contra explosión del motor de una camioneta encendió un líquido hidrocarburo inflamable y el vapor proveniente de una ventilación atmosférica de la unidad de isomerización.

**Gales (Gran Bretaña).** 2 de junio de 2011. Cuatro trabajadores murieron en un incendio producido tras la explosión en una Refinería perteneciente al grupo Chevron. Según la policía, un tanque de almacenamiento explotó en el curso de

trabajos de mantenimiento en esta Refinería, una de las más importantes de Europa, que cuenta con 1,400 empleados.

**Tula, Hidalgo (México).** 30 de julio de 2011. Al menos dos obreros resultaron muertos por una explosión ocurrida durante una prueba de la planta reductora de viscosidad en un Refinería de PEMEX. Servicios de emergencia locales evacuaron a los trabajadores, algunos de los cuales estaban seriamente heridos, el incendio fue controlado una hora después.

**Amuay (Venezuela).** 25 de agosto de 2012. Al menos 42 personas murieron y más de 80 resultaron heridas en una explosión de la Refinería de Amuay, operada por PDVSA. La explosión fue causada por la ignición de una nube de gas creada por un escape incontrolado de Olefinas, cuya causa más probable fue el colapso del sello mecánico de una o más bombas en el área de almacenamiento. La referida nube de gas se esparció en un área extensa, originando el fenómeno denominado “explosión de una nube de gas en un espacio no confinado”.

**Tula, Hidalgo (México).** 1 de octubre de 2013. Un trabajador y otros 5 heridos es el saldo de una explosión en la unidad 501 de la planta Hidros, mientras se realizaban trabajos de mantenimiento en la planta; repentinamente, sobrevino un flamazo y posteriormente una explosión.

**Ciudad Madero, Tamaulipas (México).** 8 de agosto de 2014. Un trabajador muerto y al menos once lesionados fue el resultado de una explosión en la zona de tambores de la planta de Coquizadora en la Refinería Francisco I. Madero.

**Salina Cruz, Oaxaca (México).** 24 de noviembre de 2015. Ocho personas resultaron heridas luego de una explosión ocurrida en la Planta de Alquiler, lo cual ocasionó un incendio que fue controlado unas horas después, más sin embargo, como medida de prevención se evacuó la instalación.

*“Estos riesgos potenciales pueden reducirse incrementando el conocimiento y la experiencia de los operadores respecto de los procesos y sus riesgos y haciendo más eficiente la operación con mejores prácticas de ingeniería, a la vez que avanza la tecnología del control. Los riesgos de procesos deben ser identificados,*

*evaluados y comunicados mediante técnicas adecuadas de análisis de riesgos y de comunicación de los mismos [11].”*

## 2.5 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS [11]

El análisis de consecuencias se encarga de evaluar todos aquellos efectos que se derivan de la toxicidad de las sustancias, de los problemas de sobrepresión y de los altos niveles de radiación térmica producidos por la combustión de materiales inflamables, que pueden resultar de un incidente como: fuga, incendio, explosión o derrame accidental de una sustancia química.

Los errores humanos, las fallas en los sistemas de seguridad, así como la corrosión y el desgaste en líneas y equipos de proceso, son algunas de las causas de accidentes, que no siempre son evidentes desde la experiencia operativa.

El análisis de consecuencias es un proceso “con visión futura”, ya que sirve para identificar las posibles formas de progresión de eventos que involucren sustancias peligrosas, cuantificar la magnitud y alcance de sus efectos sobre las personas, las instalaciones y el ambiente. Los análisis de consecuencias son estrictamente teóricos, se basan en la aplicación de modelos matemáticos con base en balances de momento, masa y calor conjuntados con algunas consideraciones heurísticas y de simplificación; los resultados obtenidos de las simulaciones son solo aproximaciones de las consecuencias que puede traer el evento si se llegara a suscitar, por lo que nos ayudan en la toma de decisiones para la inversión en seguridad.

Existe una gran variedad de modelos que se utilizan en el análisis de consecuencias.

- Los modelos de fuente se utilizan para predecir la tasa de descarga, la evaporación instantánea, la cantidad de aerosol formado y la cantidad de sustancia evaporada.

- Los modelos de nube de vapor se utilizan para medir la dispersión en la dirección del viento, tomando en consideración las condiciones meteorológicas y la densidad del vapor.
- Los modelos de impacto permiten predecir las zonas de afectación debidas a fuego y explosión.
- Los modelos para gas tóxico se usan para predecir la respuesta humana a la exposición de un gas tóxico.
- Otros modelos se utilizan para predecir los efectos en humanos a la explosión del fuego y ondas de sobrepresión.

Para cada uno de estos fenómenos peligrosos, se establece una serie de variables físicas, que definen unos criterios de vulnerabilidad cuyas magnitudes se consideran representativas para la evaluación del alcance del fenómeno peligroso considerado.

De la aplicación de estos criterios de vulnerabilidad a partir de las variables físicas y químicas que caracterizan a los fenómenos peligrosos generados según los tipos genéricos de accidentes potenciales que se pueden producir, se delimitan una serie de zonas objeto de planificación, es decir, áreas alrededor del foco del accidente en las que es preciso tomar alguna medida de protección para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales, porque, en alguna medida sufrirán las consecuencias del propio accidente.

El análisis de consecuencias genera información muy útil, ya que proporciona las herramientas adecuadas y métodos matemáticos para la correcta determinación de las consecuencias de los accidentes que se pueden producir en los establecimientos en los que se encuentren presentes sustancias peligrosas.

Esta información es valiosa para evaluar el diseño de nuevos procesos y en el caso de procesos en operación, evalúa los sistemas de seguridad existentes en la instalación. Lo más importante en un Análisis de Consecuencias es saber interpretar los resultados que se han obtenido, para que estos sean realistas.

### 2.5.1 ETAPAS DE UN ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS <sup>[11]</sup>

1.- Selección de los eventos indeseables a analizar. La selección de eventos se hace a partir de los resultados del estudio de riesgos previo al Análisis de Consecuencias, en este caso, posterior al Análisis de Espaciamientos Mínimos.

2.- Especificación de los escenarios. En esta etapa se recolecta información sobre las sustancias, el equipo y su configuración, así como detalles de las características del evento incluyendo aquellos que afectan al entorno como son la dirección de la fuga, la dimensión del orificio y las condiciones climatológicas, entre otros.

3.- Cuantificación de las consecuencias sobre el entorno. En esta etapa se estima el daño que el evento analizado podría infringir a personas, equipo y ambiente.

4.- Emisión de recomendaciones. En esta etapa se genera una lista de acciones y mejoras enfocadas a prevenir y mitigar las consecuencias de los eventos analizados. Cuando es necesario, las recomendaciones se deben soportar con un conjunto de normas, estándares y prácticas recomendadas aplicables.

### 2.6 MODELOS DE CONSECUENCIA Y EFECTO <sup>[11,13]</sup>

Los accidentes comienzan con un incidente, el cual usualmente resulta en la pérdida de contención de material de proceso en depósitos y tuberías que almacenan y transportan productos en forma gaseosa o líquida, lo que produce la fuga o derrame de esta sustancia cuya consecuencia puede ser la formación de nubes tóxicas, incendios y/o explosiones, puesto que en la mayoría de los casos estas sustancias son peligrosas. También es posible un incendio previo o simultáneo a una fuga o incluso, una explosión previa a la fuga o al incendio. No obstante, en la mayoría de los casos el primer suceso consiste en una fuga o derrame incontrolado de producto de su lugar de confinamiento (depósitos, tuberías,

reactores, válvulas, bombas, etc.), por lo que hay que prestar una especial atención a este fenómeno.

Los eventos de gran magnitud que pueden tener lugar en una industria, con efectos graves son los siguientes:

- ✓ Fugas o derrames de sustancias peligrosas.
- ✓ Evaporación de líquidos derramados.
- ✓ Dispersión de nubes de gases, vapores y aerosoles.
- ✓ Incendios de charco o “Pool Fire”
- ✓ Dardos de fuego o “Jet Fire”
- ✓ Flamazos o “Flash Fire”
- ✓ Explosiones de nubes de vapor no confinada.
- ✓ Explosiones por expansión de vapores de líquido en ebullición “BLEVE” (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).

#### 2.6.1 MODELO DE EMISIÓN <sup>[11, 13]</sup>

Los modelos de emisión son utilizados para determinar el flujo de descarga del material liberado, la cantidad total emitida y el estado físico del mismo. La modelación del fenómeno para una ruptura o derrame accidental.

Las emisiones accidentales de materiales peligrosos pueden ser instantáneas o continuas, incluyendo flujo en una o dos fases, siendo estas de tanques de almacenamiento o tuberías, los cuales pueden ser refrigerados, a presión, sobre la tierra, sumergidos, confinados o no confinados. Algunos de estos escenarios con diferentes mecanismos de emisión pueden ocurrir en tanques presurizados con líquidos refrigerados. Es conveniente mencionar que existe una gran diferencia en el comportamiento de la concentración de un gas con respecto al tiempo para una falla catastrófica (emisión instantánea) en un tanque de almacenamiento en comparación con una pequeña falla puntual (emisión continua) en el mismo tanque.



## 2.6.2 MODELO DE DISPERSIÓN [11, 13]

Los modelos de dispersión se utilizan para predecir el área afectada en función de tamaño y forma de la nube, la distancia a la cual se alcanza una concentración de interés, como puede ser el límite de inflamabilidad inferior (LII) de los vapores corriente abajo del punto de emisión y en todas direcciones, para evaluar efectos por explosión y fuego, estimar datos de concentración en función del tiempo a distancias dadas para evaluar efectos tóxicos en el personal.

**Nube tóxica.** En los casos en que una fuga de material tóxico no sea detectada y controlada a tiempo, se corre el riesgo de la formación de una nube de gas tóxica que se dispensará en dirección de los vientos dominantes, y su concentración variará en función inversa a la distancia que recorra. Los efectos tóxicos de exponerse a estos materiales dependen de la concentración del material en el aire y de su toxicidad.

Los modelos de dispersión describen el transporte aéreo de los materiales tóxicos o inflamables desde el sitio del accidente hacia otros puntos de la planta y zonas de asentamientos humanos, evaluando y determinando en qué puntos estas emisiones son nocivas para la salud. Estos modelos están basados en la ecuación de difusión gaussiana de un gas y para su aplicación es necesario establecer una concentración máxima permisible de exposición, lo cual permite estimar el área de evacuación en caso de una contingencia.

Las condiciones meteorológicas en el momento de la liberación tienen una influencia determinante en la extensión de la dispersión. De las condiciones meteorológicas los factores principales son la velocidad del viento y la estabilidad atmosférica. La velocidad del viento puede ocasionar una dilución de la nube; una condición estable (estabilidad atmosférica) provoca un menor mezclado. La velocidad del viento y la estabilidad atmosférica puede obtenerse de registros meteorológicos, cuando no se tiene información sobre la estabilidad puede utilizarse

la tabla de Pasquill que permite establecerla a partir de una estimación de la intensidad solar y de la velocidad del viento.

Las condiciones de terreno afectan el mezclado mecánico en la superficie y el perfil de la velocidad del viento con la altura; la altura de emisión afecta significativamente la concentración al nivel de piso. Conforme la altura se incrementa, las concentraciones al nivel del piso se reducen, ya que, la pluma debe dispersarse a una distancia mayor sobre la vertical.

### 2.6.3 MODELO DE FUEGO [11, 13]

Los modelos de fuego son correlaciones empíricas que permiten: estimar los niveles de radiación térmica para una distancia dada y determinar zonas de afectación, proponer medidas de mitigación, modificación de la distribución y localización de la planta, reforzamiento de los cuartos de control.

Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo térmico:

- **CHAF: Charco de Fuego (POOL FIRE).** Cuando un líquido inflamable o combustible se fuga o derrama, se puede formar un charco. Al estar formándose este charco, parte del líquido en la superficie alcanza su punto de inflamación y comienza a evaporarse. Si la nube que se forma con estos vapores alcanza un punto de ignición, ocurre una explosión, provoca el incendio del charco y en ocasiones un chorro de fuego en el punto de fuga-
  
- **FLA: Flamazo (FLASH FIRE).** Cuando un material volátil e inflamable es descargado a la atmósfera, se forma una nube de vapor y se dispersa. Si la nube se encuentra con una fuente de ignición antes de que la dilución de la nube sea menor al límite inferior de inflamabilidad, ocurre el Flash Fire. Las consecuencias primarias de un Flash Fire son las radiaciones térmicas

generadas durante el proceso de combustión, este proceso tiene una corta duración y los daños son de baja intensidad.

- **CHOF: Chorro de fuego (JET FIRE).** Si un gas licuado o comprimido es descargado de un tanque o una tubería, el material descargado a través de un orificio o ruptura formará una descarga a presión del tipo chorro “Gas Jet”, que entra y se mezcla con el aire del medio ambiente. Si el material entrara en contacto con una fuente de ignición, entonces ocurre un **Jet Fire**.
- **BOLF: Bola de fuego (FIREBALL).** El evento de Fireball o Bola de fuego resulta de la ignición de una mezcla Líquido/Vapor flamable y sobrecalentada que es descargada a la atmósfera. El evento de Fireball ocurre frecuentemente seguido a una explosión de vapores en expansión de un líquido en ebullición “BLEVE”.

#### 2.6.4 MODELO DE EXPLOSIÓN <sup>[11, 13]</sup>

Una explosión es una descarga de energía que causa un cambio transitorio en la densidad, presión y velocidad del aire alrededor del punto de descarga de energía.

De este modo, el calor de combustión de una mezcla aire-combustible (energía química) es parcialmente convertido en una expansión (energía mecánica). La energía mecánica es transferida a los alrededores en forma de onda de choque. En la atmósfera, una onda de choque es experimentada como un cambio dinámico de los parámetros de presión, densidad y velocidad de las partículas de un gas. Los modelos de explosión se usan para determinar radios y zonas de afectación para ciertos niveles de sobrepresión.

Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo mecánico:

- **Explosión confinada de vapor (VCE).** Explosión por una Nube de Vapor, puede definirse simplemente como una explosión que ocurre en el aire y causa daños de sobrepresión. Comienza con una descarga de una gran cantidad de líquido o gas vaporizado de un tanque o tubería y se dispersa a la atmósfera, de toda la masa de gas que se dispersa sólo una parte de esta se encuentra dentro de los límites superior o inferior de explosividad, y esa masa es la que después de encontrar una fuente de ignición genera sobrepresiones por la explosión. Este evento se puede generar tanto en lugares confinados como en no confinados.
- **Explosión BLEVE (Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición).** Ocurre cuando en forma repentina se pierde el confinamiento de un recipiente que contiene un líquido sobrecalentado o un licuado a presión. La causa inicial de un BLEVE es usualmente un fuego externo impactando sobre las paredes del recipiente sobre el nivel del líquido, esto hace fallar el material y permite la repentina ruptura de las paredes del tanque. Una BLEVE puede ocurrir como resultado de cualquier mecanismo que ocasione la falla repentina de un recipiente y permita que el líquido sobrecalentado llegue a su punto de evaporación súbita. Si el material líquido/vapor descargado es inflamable, la ignición de la mezcla puede resultar en un Fireball.

La predicción de posibles consecuencias de explosiones de gases que ocurren en la industria, es muy importante para asegurar el diseño seguro de las instalaciones nuevas o existentes y estimar el riesgo, el cual debe ser considerado para el desarrollo del diseño de la instalación. La predicción de resultados por sobrepresión mediante explosión por nube de vapor típicamente son hechos usando una de las tres categorías de modelos:

1. Simplificado (empírico).
2. Fenomenológico.
3. Fluidos dinámicos computacionales (CFD).

Los modelos simplificados tales como el Baker-Strehlow-Tang (BST) y el modelo TNO emplean la información de los fluidos dinámicos computacionales

(CFD) para generar curvas que relacionan la explosión por sobrepresión y distancia desde el centro de la explosión.

#### 2.6.4.1 MODELO TNO Multi-Energía

Este modelo, supone que únicamente la parte de energía de combustión de la nube inflamable la cual está confinada u obstruida, contribuye para generar presión en la explosión. Considera que la energía de explosión es altamente dependiente del nivel de congestión y menos dependiente del combustible en la nube. La cantidad de energía liberada durante la explosión de nube de vapor está limitada ya sea por la fracción de volumen de la nube de vapor inflamable confinada o por el volumen de la nube de vapor.

La explosión de una nube de gas, se define como numerosas sub-explosiones que corresponden a múltiples fuentes de ignición presentes en la nube.

El procedimiento para la aplicación del modelo TNO se describe en el *Yellow Book*, *Kinsella* provee una guía, basada en la revisión de accidentes mayores, acerca de cómo cuantificar en el modelo Multienergía la influencia de:

➤ **Densidad de obstrucción, con obstáculos dentro de la nube de vapor.**

Puede clasificarse en Alta, baja y nula.

*Alta:* Obstáculos muy juntos dentro de la nube de gas, lo cual da una fracción de volumen general de obstrucción mayor al 30%, con una separación entre los obstáculos de menos de 3 m.

*Baja:* Obstáculos dentro de la nube de gas, pero con una fracción de bloqueo menor al 30% o separación entre los obstáculos mayor a 3 m.

*Nula:* Sin obstáculos dentro de la nube de gas.

➤ **Fuerza de ignición.**

*Alta:* La fuente de ignición, por ejemplo, una explosión con ventilación confinada. Esto puede deberse a la ignición de una parte de la nube por una fuente de baja energía, por ejemplo, dentro de un edificio.

*Baja:* La fuente de ignición es una chispa, flama o superficie caliente.

➤ **Grado de confinamiento.**

*Si.* Si la nube de gas o partes de esta, son confinados con muros, bardas en dos o tres lados.

*No.* Si la nube de gas no está confinada que no sea por suelo.

Se requiere de la selección de un factor de gravedad, según el grado de confinamiento, el cual suele fijarse entre 1 y 10; al considerar una fuerza de explosión de 10 se estará considerando un escenario de detonación.

La posibilidad de detonación de nubes de vapor no confinadas debe ser considerada si:

A) Las condiciones ambientales y atmosféricas son tales que la dispersión de la nube de vapor es lenta, y B) es probable un retraso largo de ignición. Sin embargo, un factor de 7 para la fuerza de explosión representa con más precisión la experiencia real. En la Tabla 1 se muestra la matriz donde se categorizan los lineamientos para la selección de la fuerza de confinamiento.

**Tabla 1 Lineamientos para la selección de la fuerza de confinamiento**

Energía de ignición		Densidad de obstáculos			Confinamiento		Fuerza de confinamiento
Bajo	Alta	Alto	Bajo	Nulo	Si	No	
	X	X			X		7-10
	X	X				X	7-10
X		X			X		5-7
	X		X		X		5-7
	X		X			X	4-6
	X			X	X		4-6
X		X				X	4-5
	X			X		X	4-5
X			X		X		3-5
X			X			X	2-3
X				X	X		1-2
X				X		X	1

*Fuente: Review of methods for estimating the overpressure and impulse resulting, 2009.*

## 2.7 EFECTOS POR RADIACIÓN, SOBREPRESIÓN Y TOXICIDAD

Una vez conocidos los efectos de los accidentes (radiación, onda de presión, etc.) hay que establecer cuáles serán las consecuencias sobre la población, las instalaciones y el medio ambiente.

Las consecuencias sobre los equipos pueden deducirse de valores tabulados (caso de las ondas de choque) o de determinados modelos semiempíricos (caso de la radiación térmica).

### 2.7.1 EFECTOS POR RADIACIÓN

Los modelos de efectos térmicos estiman la probabilidad de muerte o lesiones a las personas, así como de daños a propiedades debido a la radiación emitida por la combustión de un material. Existen diferentes tablas y gráficas que relacionan la intensidad de la radiación con los efectos y el tiempo de exposición. En la se muestran valores de los efectos por radiación térmica.

Tabla 2 Efectos por radiación térmica

Intensidad de radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Efecto observado
1.4	No se presentan molestias, aún durante largos períodos de exposición. Es el flujo térmico equivalente al del sol en verano al medio día.
5	El umbral de dolor se alcanza después de 20 segundos de exposición. Asimismo, después de 40 segundos de exposición, son probables las quemaduras de segundo grado.
9.5	El umbral de dolor una persona, se alcanza luego de 8 segundos de exposición; después de 20 segundos de exposición, se presentan quemaduras de segundo grado.
12.5	Energía mínima requerida para que la madera se prenda, por contacto con fuego. Tubería de plástico se funde.
25	Energía mínima requerida para provocar la ignición de la madera, por exposición prolongada (es decir, se prende por la exposición a este nivel de radiación. No se requiere de alguna fuente de ignición, por ejemplo cerillo).
37.5	Suficiente para provocar daños en equipos de proceso.

Fuente: Anexo 3 DCO-GDOESSPA-CT-001 Rev. 1

## 2.7.2 EFECTOS POR SOBREPRESIÓN

Los modelos para efectos de explosiones se utilizan para predecir el impacto de las ondas de sobre presión, y de proyectiles en personas y objetos.

La intensidad y la forma de una onda debido a una súbita liberación de un fluido depende de diversos factores que incluyen el tipo de fluido liberado, la energía que produce la expansión, la tasa en que la energía se libera, la forma de recipiente, tipo de ruptura y las características de los alrededores. La duración de la sobrepresión es importante para determinar los efectos sobre estructuras. La fase de presión positiva de la onda puede abarcar de 10 a 100 metros para explosiones de nube de vapor confinada típica. Un mismo nivel de sobrepresión puede tener un efecto diferente dependiendo de la duración, si la duración de la detonación es menor que el tiempo de respuesta de las estructuras es posible que la estructura soporte aún altas sobrepresiones. En la Tabla 3 se muestran valores de daños y efectos observados por eventos de sobrepresión.

Tabla 3 Efectos estimados debido a la sobrepresión

Presión (psig)	Efecto observado
0.02	Ruido molesto (137 decibeles de frecuencia 10-15 Hertz).
0.03	Ruptura ocasional de vidrio en ventanas grandes y bajo tensión.
0.04	Ruido fuerte (143 decibeles), falla de cristales por ondas sónicas.
0.1	Ruptura de ventanas pequeñas bajo tensión.
0.15	Presión típica para ruptura de vidrio.
0.3	Probabilidad 0.95 de no sufrir daño serio debajo de este valor de presión; 0.1 de vidrios rotos.
0.4	Daño estructural menor.
0.5-1.0	Daño a ventanas pequeñas y grandes.
0.7	Daño menor a estructuras de casas.
1.0	Demolición parcial de casas (tal que son inhabitables).
1-2	Asbesto corrugado, acero corrugado y paneles de madera desplazados y dañados.
2	Colapso parcial de paredes y techos de casas.



Presión (psig)	Efecto observado
2-3	Muros no reforzados ladeados y parcialmente dañados.
2.3	Límite inferior de daño estructural serio.
2.5	Destrucción del 50% de construcciones de ladrillo.
3	Daño a edificios con estructura metálica, equipo pesado sufre poco daño.
3-4	Rotura de tanques de almacenamiento de crudo.
4	Recubrimiento de edificios industriales fracturado.
5	Rotura de postes de madera.
5-7	Destrucción prácticamente completa de casas
7	Volcado de carros de ferrocarril.
7-8	Muros de ladrillo, de 8.12 pulgadas de espesor y no reforzados, fallan.
9	Demolición completa de carros de ferrocarril cargados.
10	Probable destrucción total de casas, maquinaria de 7000 lb desplazada y dañada severamente, sobrevive la maquinaria de 12,000 lb.
300	Formación de cráter

Fuente: Guía Técnica 800-16400-DCO-GT-75 Rev. 1

La Tabla 2 y Tabla 3 anteriores referidas a los efectos por radiación y sobrepresión se utilizaron como guía para evaluar las consecuencias de los escenarios simulados en este trabajo de tesis.

### 2.7.3 EFECTOS POR TOXICIDAD

El riesgo que se tiene está ligado a la formación y dispersión de la nube, por lo tanto es mucho más importante seleccionar un adecuado modelo de dispersión. Entre más tóxica sea una sustancia tendremos un riesgo más alto.

Existen diferentes medidas para predecir la posibilidad de que una liberación de material peligroso pueda resultar en muerte o en lesiones severas de personas expuestas, un ejemplo, de estas medidas son las concentraciones inmediatamente peligrosas para la vida y la salud (IDLH) y el Límite máximo permisible de exposición, LMPE.

*IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health)* son los criterios publicados por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (*NIOSH*) para indicar bajo que

concentración una sustancia puede provocar una muerte inmediata o daños irreparables a la salud.

*LMPE (Límite Máximo Permisible de Exposición)* es la concentración de un contaminante del medio ambiente laboral, a la cual los trabajadores pueden estar expuestos de manera continua durante un período máximo de quince minutos, con intervalos de al menos una hora de no exposición entre cada período de exposición y un máximo de 4 exposiciones en una jornada de trabajo. Se conoce también como *TLV (Threshold Limit Value)*.

En la Tabla 4 y Tabla 5 se muestran los efectos observados debido a la concentración de Ácido Sulfhídrico ( $H_2S$ ) y Amoniaco ( $NH_3$ ), sustancias tóxicas que se encuentran disueltas en el Agua Amarga.

**Tabla 4 Efectos observados debido a la concentración de  $H_2S$**

Concentración (ppm)	Efecto Observado
<b>0</b>	No se presentan efectos
<b>0, &lt; 9</b>	Irritación en ojos, nariz y garganta en personal
<b>10-30</b>	Queratitis tras exposiciones prolongadas
<b>30-100</b>	Daño a ojos, migrañas, nauseas, mareos, tos, vómito y dificultad para respirar.
<b>100-150</b>	Rápida fatiga olfativa
<b>150-250,</b>	Irritación de la membrana mucosa y ojos en una hora.
<b>250-450</b>	Cansancio, dolor de cabeza y mareos.
<b>250-600</b>	Edema pulmonar después de exposiciones prolongadas.
<b>600-1000</b>	Apnea y muerte después de 30 a 60 min
<b>1800</b>	Colapso inmediato y parálisis respiratoria

*Fuente: Hoja de Datos de Seguridad  $H_2S$ , INFRA, S.A. de C.V.*

Tabla 5 Efectos observados debido a la concentración de NH<sub>3</sub>

Concentración (ppm)	Efecto Observado
1-10	Límite detectable por el olfato.
20-40	Olor muy perceptible, sin efectos.
40-100	Irritación del sistema respiratorio y ojos.
150-200	Lagrimo, irritación y molestias en la piel, irritación de las membranas mucosas
400-700	Irritación severa, potencialidad de daño permanente
1700	Tos convulsiva, bronco-espasmos, exposición potencialmente fatal, en 30 minutos
2000	Vesiculación, edema pulmonar
5000-10000	Muerte por sofocación

Fuente: Hoja de Datos de Seguridad NH<sub>3</sub>, INFRA, S.A. de C.V.

## 2.8 PHAST [7].

PHAST (*Process Hazard Analysis Software Tool*), es una herramienta de Software para Análisis de Riesgos de proceso, que tiene como objetivo el análisis de consecuencias originadas por emisiones de sustancias químicas. Los resultados presentados corresponden a simulaciones realizadas en Phast Versión 6.5.

PHAST usa datos de parámetros y de sustancias químicas contenidos dentro de él, además de datos meteorológicos y del escenario que son proporcionados por el usuario para predecir los efectos inflamables y tóxicos originados por:

- Emisiones atmosféricas de diseño
- Emisiones atmosféricas accidentales de materiales peligrosos

Los resultados se muestran de forma tabular o gráfica. PHAST es capaz de sobreponer los resultados gráficos en mapas.

### *¿Por qué usar PHAST?*

El software es diseñado y actualizado para satisfacer las necesidades de un amplio rango de usuarios de diferentes industrias.

## ¿Cómo trabaja PHAST?

PHAST sigue una serie de etapas en los cálculos para la realización del análisis de consecuencias, en la ventana de Árbol de Estudios el usuario debe alimentar los datos requeridos para llevar a cabo la simulación del escenario de estudio (los cuáles están contenidos previamente en el Formato F-10 presentado más adelante), no obstante el proceso intermedio (los cálculos) para obtener los resultados, no pueden ser vistos por el usuario.

### 2.8.1 ESCENARIOS PARA LOS MODELOS DE DESCARGA <sup>[10]</sup>.

- **Emisión instantánea o ruptura catastrófica.** Este escenario modela un incidente en el cual un tanque es destruido por un impacto, agrietamiento o alguna otra falla que se propaga rápidamente. Se asume que la descarga (todo el inventario) forma una masa homogénea, que se expande rápidamente sin restricciones del equipo destrozado.
- **Fuga por orificio.** Generalmente esta es una emisión accidental de vapor o líquido. Se asume que no hay pérdidas por fricción conforme el fluido fluye a través del tanque o la tubería hacia el orificio. La descarga tiene una dirección (hacia arriba, hacia abajo, horizontal, etc.). Para calificar como fuga, la relación de la longitud de la tubería al diámetro del orificio debe ser menor a tres.
- **Rupturas de Línea.** Es una ruptura completa de una tubería de corta longitud unida a un tanque (o cualquier otro tipo de depósito a presión).
- **Liberación de 10 minutos.** De acuerdo con el departamento de transporte (1980) LNG Estándares Federales de Seguridad (***Federal Safety Standards***) especificaron un tiempo que transcurre desde que se presenta la fuga hasta que es aislada de **10 minutos**. Para los escenarios planteados en este trabajo se empleará el inventario correspondiente al flujo de la línea a un tiempo de 10 minutos.
-

### 2.8.3 ESTABILIDADES ATMOSFÉRICAS

Se debe especificar la velocidad del viento (se asume que es constante a través de la descarga y la dispersión), la clase de estabilidad Pasquill (de acuerdo con la velocidad y dirección del viento y la estabilidad atmosférica en el sitio), parámetros de rugosidad de la superficie, temperatura del suelo, humedad relativa y flujo solar.

Acorde con la revisión de las condiciones climatológicas de la región (velocidad de viento promedio en la región), para este trabajo en particular, se emplearán las condiciones atmosféricas de la Tabla 6, para dar cumplimiento con lo establecido en el Anexo 2 “*Instructivo de llenado del Formato 2*” (mostrado más adelante) de la norma DCO-GDO-ESSSPA-CT-001, en la sección de condiciones meteorológicas al momento de la fuga de la sustancia peligrosa.

Tabla 6 Parámetros atmosféricos

Tipo de escenario	Parámetro	Valor
Peor caso (PC)	Velocidad de viento (m/s)	1.5
	Estabilidad atmosférica	F
Caso más probable (CMP) Caso alternativo (CA)	Velocidad de viento (m/s)	4.4
	Estabilidad atmosférica	B/C

### 2.8.4 TAMAÑO DE FUGA

De acuerdo con **CRITERIOS TÉCNICOS PARA SIMULAR ESCENARIOS DE RIESGOS POR FUGAS Y DERRAMES DE SUSTANCIAS PELIGROSAS, EN INSTALACIONES DE PETRÓLEOS MEXICANOS (DCO-GDOESSSPA-CT-001 Rev. 1)** se establece que para nuevos proyectos, para fugas o derrames en líneas

de proceso o ductos, deben ser simuladas considerando el 20% del diámetro del ducto o línea y también su ruptura total. En la

Tabla 7 se muestran los diámetros equivalentes de fuga **DEF**, que se tomarán para simular los escenarios planteados en este estudio.

Tabla 7 Diámetros equivalentes de fuga DEF

Tipo de escenario	Diámetro equivalente de fuga
Peor caso (PC)	DEF= 100 % del diámetro de la tubería
Caso más probable (CMP) Caso alternativo (CA)	DEF= 20% del diámetro de la tubería

Fuente: Extracto de la tabla 9, diámetros equivalentes de fuga, DCO-GDOESSSPA-CT-001 Rev. 1

### 2.8.5 ETAPAS EN LOS CÁLCULOS DE PHAST <sup>[7]</sup>

#### Descarga

El modelo de descarga predice la tasa de flujo y el estado físico del material mientras es liberado a la atmósfera. Considera un amplio rango de escenarios, incluyendo:

- Flujos de líquidos, gases o en dos fases
- Materiales puros o de composición variada
- Comportamiento continuo o dependiente del tiempo
- Emisiones dentro de edificios

#### Dispersión

Los resultados de los cálculos de descarga son después usados por PHAST, junto con la información meteorológica, en el modelo de dispersión. La nube en dispersión puede seguir diferentes rutas, todas ellas son modeladas por PHAST. Entre ellas se incluye:

- Formación de aerosoles
- Condensación
- Formación de charcos
- Evaporación de charcos
- Incorporación de aire y expansión de la nube
- Aterrizaje
- Despegue
- Nubes densas
- Nubes flotantes
- Nubes pasivas/gaussianas

### **Inflamabilidad**

Todos los resultados inflamables posibles son modelados por PHAST, incluyendo:

- BLEVE's y bolas de fuego
- Incendios de chorro (jet)
- Incendios de charcos
- Flamazos
- Explosiones de nubes de vapor

Los resultados de estos modelos se presentan en forma de:

- Niveles de radiación
- Zonas de flamazos
- Niveles de sobrepresión

Además, se dan resultados de masa inflamable a lo largo de la dispersión de la nube.

### **Toxicidad**

Los resultados tóxicos se calculan como:

- Concentración en función de la distancia viento abajo
- Concentración en función del tiempo (en cualquier lugar de la nube)
- Vistas de planta de la nube
- Comportamiento de la concentración dentro de edificios
- Valores Probit o de carga tóxica dentro de la nube

\*El modelo Probit se utiliza para desarrollar estimados de exposición a situaciones que involucran emisiones continuas (aproximadamente concentración constante con el tiempo desde una ubicación fija en la dirección del viento) o emisión instantánea (concentración variando con el tiempo en una ubicación en la dirección del viento).

- Letalidad



### 3. ANÁLISIS DE ESPACIAMIENTOS MÍNIMOS

En plantas e instalaciones industriales el espaciamiento, distribución y ubicación del equipo de proceso debe planearse para minimizar riesgos al personal, instalaciones y medio ambiente.

Los espaciamientos mínimos y criterios descritos en la Norma (NRF-010-PEMEX-2014) para la distribución, se establecen en función de la naturaleza combustible e inflamable de las sustancias que se almacenan, conducen o procesan en Refinerías y demás instalaciones industriales de PEMEX, estos criterios pueden aplicarse dentro de su límite de propiedad, desde las fases de Ingeniería conceptual, hasta detalle, para construcción de nuevas instalaciones, así como ampliación y/o remodelación de las existentes.

En esta norma no se establecen los espaciamientos mínimos requeridos por efectos de toxicidad, para ellos se deben efectuar estudios específicos con el fin de establecer espaciamientos necesarios en función del riesgo, desde y hacia instalaciones aledañas.

Se evaluarán los espaciamientos mínimos requeridos según la norma entre equipos, edificios e instalaciones de una Planta de Tratamiento de Aguas Amargas sobre el PLG (Plano de Localización General), con el fin de determinar las afectaciones por radiación, sobrepresión y toxicidad, las salvaguardas con las que se cuenta y en caso de requerirse indicar cuáles son las medidas que es necesario aplicar con el fin de dar protección al personal, instalaciones y medio ambiente.

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS

El proceso de Tratamiento de Aguas Amargas diseñada para remover el Ácido Sulfhídrico ( $H_2S$ ) y el Amoniac ( $NH_3$ ) contaminantes agresivos del ambiente que requieren ser eliminados antes de enviar el agua al tratamiento de efluentes, se realiza a través del agotamiento y consta de dos secciones:

- **Sección 1. Separación**
- **Sección 2. Agotamiento**

**Separación.** La corriente de aguas amargas proveniente de las Plantas de Hidrotratamiento e Hidrodesulfuradoras, se recibe en el Límite de Batería de Tratamiento de Aguas Amargas a una presión de  $2.5 \text{ kg/cm}^2\text{man}$ .

La corriente de agua amarga se envía al Tanque Separador de Agua Amarga TG-01. En el cuál 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 se envían a Desfogue.

Los hidrocarburos no volátiles, son separados formando una interfase de aceite-agua en la primera cámara, en donde se mantiene el nivel estable, al pasar de este compartimiento hasta el tercero a través de un tubo que esta telescopiado en este último. Los hidrocarburos hacen capa y suben su nivel a consecuencia de la menor densidad de los hidrocarburos y el agua, derramando a la cámara intermedia del tanque Separador TG-01. El agua ya libre de aceite, se envía a control de nivel, mediante la Bomba de Transferencia de Agua Amarga BA-01, al Tanque de Agua Amarga TA-01.

El aceite recuperado en el FG-01 se envía al Tanque de Aceite de Hidrocarburo Recuperado TA-02. Cuando el hidrocarburo en el tanque alcanza el

nivel máximo se envía mediante la Bomba de Hidrocarburos de Aguas Amargas BA-05, a límite de batería.

La corriente de agua amarga proveniente del Tanque de Agua Amarga FG-01 se envía al paquete de filtración PA-01, mediante la Bomba de Alimentación de Agua Amarga BA-02 a una presión de 9.7 kg/cm<sup>2</sup> man.

La corriente de agua amarga, libre de sólidos se envía, a una presión de 7.2 kg/cm<sup>2</sup> man, al Precalentador de Carga/Fondos del Agotador CH-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 DS-01.

**Sección 2.** El Agotador DS-01, es una columna de 41 platos de válvulas que opera a una presión en el domo de 1.15 kg/cm<sup>2</sup> man, y en el fondo de 1.45 kg/cm<sup>2</sup>man, la temperatura de operación en el domo es de 91°C y en el fondo es de 127°C.

El agua agotada en el fondo tiene concentraciones máximas de 20 ppm (peso) de NH<sub>3</sub> y 2 ppm (peso) de H<sub>2</sub>S. El vapor requerido para el agotamiento se genera por la vaporización parcial del líquido que se envía al Rehervidor del Agotador CH-02, el cual utiliza vapor saturado de baja presión (3.5 kg/cm<sup>2</sup>man. como medio de calentamiento).

El vapor de domos (gas ácido amoniacal) se envía a la Planta de Azufre. Esta línea cuenta con una derivación que le permite enviar estos gases al desfogue ácido cuando se llegue a presentar una sobrepresión en el agotador.

El agua desflemada del fondo del agotador a 127 °C y 1.45 kg/cm<sup>2</sup> man. pasa posteriormente por el lado coraza del CH-01 A/D (Precalentador de carga/fondos del agotador) donde cede calor.

Después se envía mediante la Bomba de Fondo del Agotador BA-04, hacia límite de Batería, previo paso por el Enfriador de Fondos del Agotador CH-03 A/B, donde se reduce su temperatura hasta 40°C y se envía a 5.5 kg/cm<sup>2</sup> man.(Ver DFP en Anexos).

## 3.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento a la norma NRF-010-PEMEX-2014, se realizaron las siguientes tareas:

1. Identificación de equipos y edificios a evaluar.
2. Evaluación de los espaciamientos en el diseño de la planta entre los equipos, edificios e instalaciones.
3. Comparación de las distancias de diseño con las indicadas en las Tablas 1 y 2 de la NRF-010-PEMEX-2014.
4. Para los equipos que no cumplan con el espaciamiento mínimo (con base a lo establecido en el punto 8.4.9 de la norma) se realizará una identificación y evaluación cuantitativa de escenarios de riesgo que pudieran dar lugar a fugas tóxicas, incendios y explosiones.
5. Elaborar el Análisis de Consecuencias para evaluar cuantitativamente las posibles afectaciones de los escenarios de riesgo. Esto mediante la simulación utilizando PHAST.
6. Determinar las consecuencias potenciales, así como los radios de afectación por radiación térmica, sobrepresión y toxicidad.
7. Se analizarán salvaguardas existentes.
8. Se generarán recomendaciones y medidas necesarias para minimizar los efectos sobre equipos, edificios e instalaciones.

### 3.3 DOCUMENTACIÓN REVISADA

El análisis de espaciamientos mínimos para una Nueva Planta bajo la NRF-010-PEMEX-2014, requiere la revisión de al menos los siguientes documentos:

- Plano de Localización General de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas.
- Arreglo de Localización de Equipos de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas.
- Descripción del Proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas.
- Diagrama de Flujo de Proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas.
- Diagramas de Tubería e Instrumentación de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas.
- Hojas de Datos de Seguridad ( H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub>)

### 3.4 EVALUACIÓN DE ESPACIAMIENTOS ENTRE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS E INSTALACIONES INVOLUCRADAS

Los espaciamientos mínimos entre instalaciones industriales de la norma de referencia están basados en efectos de radiación en caso de incendio (Tabla 8).

La NRF-010-PEMEX-2014 no establece los espaciamientos mínimos requeridos por efectos de toxicidad de sustancias químicas peligrosas, para los cuales se deben efectuar estudios específicos con fines de establecer los espaciamientos necesarios en función del riesgo, desde y hacia instalaciones aledañas.

**Tabla 8 Espaciamientos mínimos entre instalaciones industriales de proceso, almacenamiento y distribución**

A	Ver Tabla 3																						
B																							
C																							
D																							
E	76	105	30																				
F	76	105	45																				
G	76	105	60																				
H	(b)																						
I	76	105	60	90	(c)	(sr)																	
J	76	105	60	90	(c)	15	(sr)																
K	110	75	110	60	90	(c)	50	(sr)															
L	76	105	60	90	(c)	35	50	(sr)															
M	60	60	10	15	30	(b)	60	75	60	10													
N	60	75	60	10	15	30	(b)	60	75	60	10												
O	45	45	10	(b)	45	(sr)	45	(sr)	10	(sr)													
P	105	60	105	60	90	(b)	45	110	45	60	15	(sr)											
Q	76	90	105	90	(c)	45	90	45	60	15	(sr)												
R	76	105	30	60	90	(c)	60	110	60	30	15	50	(sr)										
S	76	105	45	60	(c)	60	75	60	30	15	30	(sr)											
T	76	105	60	120	(c)	60	110	60	30	15	(sr)	15	(sr)										
U	76	105	60	120	(c)	60	110	60	30	15	(sr)	15	(sr)										
V	76	105	60	120	(c)	60	110	60	30	15	(sr)	15	(sr)										
W	45	30	60	30	45	60	(c)	35	110	30	60	(sr)	60	76	30	15	45	(sr)					
X	76	30	105	60	90	(b)	35	50	35	30	50	76	50	30	50	(sr)							
Y	76	30	105	60	90	(b)	35	50	35	30	50	76	50	30	50	(sr)							
Z	76	105	30	50	(b)	60	90	60	30	15	30	50	30	105	15								
A1	76	105	30	60	(b)	60	90	60	30	30	50	30	45	105	76	(sr)							
B1	76	105	50	75	90	(b)	60	90	60	76	105	60	105	90	76	90	76	105	90	(sr)			

**Notas:**  
a) Los espaciamientos establecidos están expresados en metros (m).  
b) En áreas de trabajo donde se pueden requerir acciones de emergencia por parte del personal, en el espacio libre mínimo no se debe exceder un nivel de intensidad de radiación en la base del quemador elevado, de 4,73 kW/m<sup>2</sup> (1 500 BTU/h ft<sup>2</sup>) por un tiempo de 2 a 3 minutos, sin cubierta protectora, pero con ropa de protección.  
c) El espaciamiento mínimo no debe exceder un nivel de intensidad de radiación de 1,58 kW/m<sup>2</sup> (500 BTU/h ft<sup>2</sup>), para una exposición prolongada de personal en cualquier localización como talleres, laboratorios, bodegas, almacenes, oficinas administrativas, de servicios, estacionamientos, entre otros.  
d) El espaciamiento mínimo establecido entre tanques atmosféricos que contengan productos inflamables y combustibles con respecto a cualquier otro tipo de instalación industrial incluida en esta tabla, se debe aplicar para tanques de almacenamiento con capacidad de 8 745 hasta 31 800 m<sup>3</sup> (55 000 a 200 000 barriles). Para tanques con capacidades mayores o menores, se debe cumplir con lo que establece el numeral 8.4.9 de esta NRF.  
sr) Sin requisito específico de espaciamiento mínimo. el cual se debe determinar en función de requisitos operacionales o de mantenimiento.

Fuente: PEMEX, Norma de Referencia NRF-010-PEMEX-2014.

Donde las letras se refieren a:

A	Tanques atmosféricos que contengan productos inflamables.
B	Tanques atmosféricos que contengan productos combustibles.
C	Tanques presurizados esféricos y horizontales.
D	Tanques refrigerados.
E	Plantas de proceso de peligro moderado.
F	Plantas de proceso de peligro intermedio.
G	Plantas de proceso de alto peligro.
H	Quemadores elevados y de fosa.
I	Llenaderas de autotanques de destilados.
J	Descargaderas de autotanques de destilados.
K	Llenaderas y descargaderas de LPG.
L	Llenaderas y descargaderas de carros tanques de destilados.
M	Casa de bombas de productos inflamables y combustibles.
N	Edificio de compresores.
O	Corredores de tuberías (racks de tuberías).
P	Cobertizo de bombas de agua y espuma contra incendio.
Q	Central Contra incendio.
R	Cuarto de Control Centralizado.
S	Subestación eléctrica principal.
T	Talleres y laboratorios.
U	Bodegas, almacenes y oficinas de servicios.
V	Oficinas administrativas y estacionamientos públicos.
W	Estacionamiento de autotanques dentro del centro de trabajo.
X	Trampa de diablos.
Y	Paquetes de regulación y medición.
Z	Torres de enfriamiento.
A1	Calderas, Generadores de energía eléctrica y paquete de aire de instrumentos (área de servicios principales).
B1	Separador API y tratamiento de efluentes.

En la Figura 1 se presenta la Localización de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas en el Plano de Localización General de la refinería, en relación a las instalaciones y plantas adyacentes donde se indica la distribución propuesta para los equipos en cada planta. Se consideran plantas e instalaciones aledañas a 30 m alrededor del límite de Batería de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas.

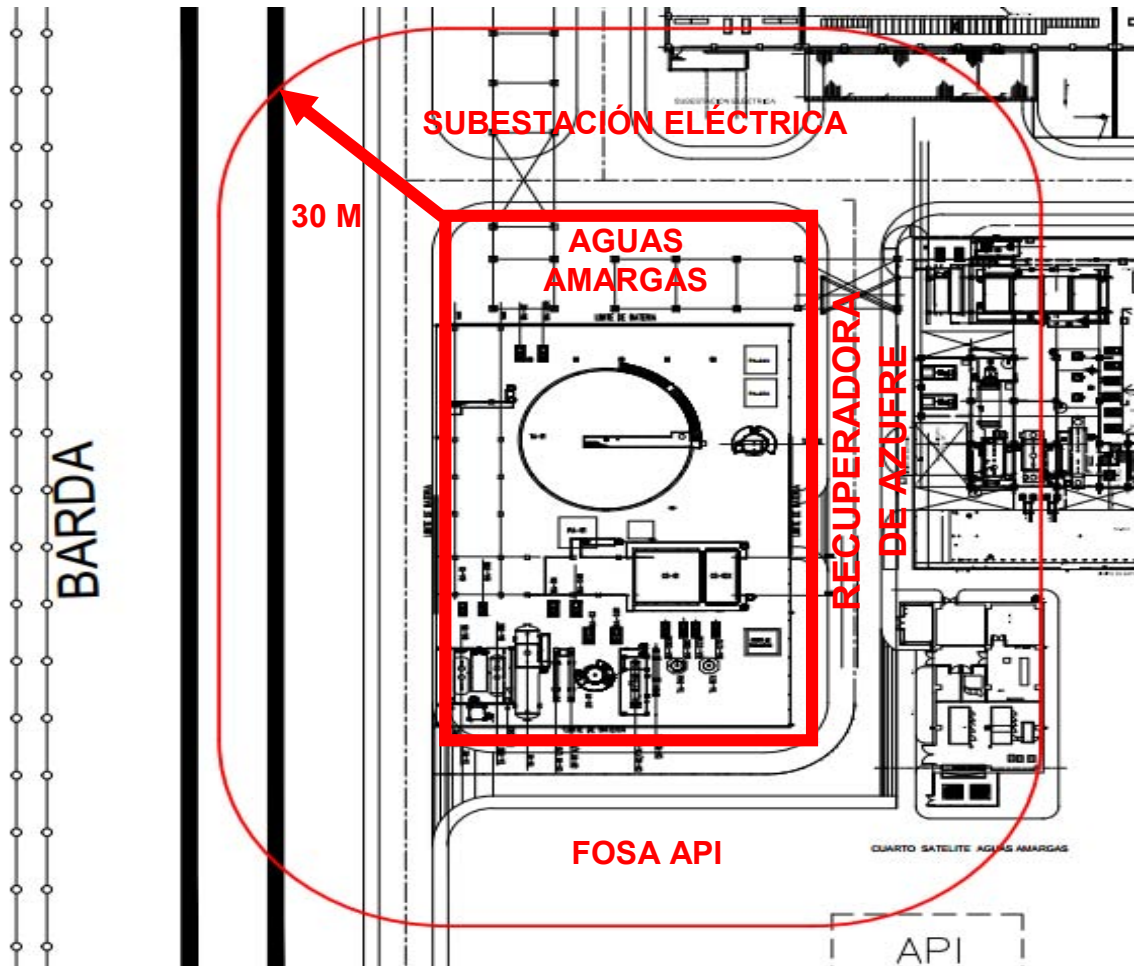


Figura 1 Instalaciones Aledañas Planta de Tratamiento de Aguas Amargas

En la Tabla 9 se indican las instalaciones cercanas a la planta, los espaciamientos requeridos por la NRF-010-PEMEX-2014, así como la clasificación dada por la Norma y la distancia real existente para cada caso. De acuerdo con la NRF-010-PEMEX-2014 (**Tabla 12.2.1**), la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas es considerada de Peligro Moderado, ya que, según el numeral **8.4.3.1.1**

**“Peligro Moderado:** Son los procesos u operaciones que tienen un peligro limitado de explosión y un bajo peligro de incendio. En esta clasificación se incluye principalmente la separación primaria de aceite, gas y las operaciones de destilación, absorción y mezclado de líquidos inflamables. “



**Tabla 9 Espaciamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas con respecto a instalaciones aledañas.**

Planta	Instalación aledaña	Clasificación	Espaciamiento mínimo requerido respecto a planta de riesgo moderado (m)	Espaciamiento de diseño existente (m)
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Amargas MT-5 Riesgo Moderado (E).</b>	Planta recuperadora de azufre	Planta de Peligro Moderado Moderado (E)	30	16.58
	Cuarto de Control Satélite Aguas Amargas	Cuarto Satélite (P)	15	12.21
	Cuarto de Control Satélite Recuperadora de Azufre	Cuarto Satélite (P)	15	50
	Subestación Eléctrica	Subestación eléctrica principal (S)	45	28.5
	Rack de Tuberías al norte de la planta	Corredores de tuberías (O)	--	15
	Fosa API	Separador API y tratamiento de efluentes (B1)	50	30.78
	Barda de la Refinería	(sr)	--	50*

(sr): Sin requisito de espaciamiento mínimo en la NRF-010-PEMEX-2014

\*En la Periferia de las instalaciones se debe disponer de una franja de amortiguamiento mínima de 50 m, donde no se deben instalar plantas de proceso.

### 3.5 EVALUACIÓN DE ESPACIAMIENTOS ENTRE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS

La norma NFR-010-PEMEX-2014 enuncia en el numeral 8.4.1 *“Criterios generales para el espaciamiento y distribución de instalaciones industriales en el PLG”*.

El espaciamiento y la distribución de las instalaciones industriales en un PLG, se debe realizar conforme con los siguientes criterios:

- a) Cumplir con los espaciamientos mínimos establecidos en esta NRF.
- b) Orientar las instalaciones industriales en función de la dirección de los vientos reinantes.
- c) Optimizar los espacios.
- d) Prever implicaciones por el tipo y complejidad de los procesos involucrados.
- e) Prever el espacio requerido para fines de operación y mantenimiento.
- f) Distribución preliminar en el PLG

La Norma de Referencia (NRF-010-PEMEX-2014) muestra los espaciamientos mínimos requeridos entre equipos dentro de la planta de proceso basados en efectos de radiación (Tabla 10).



TAG	Descripción	Clasificación	Descripción de la Clasificación
TA-01	Tanque de agua amarga	R	Acumuladores, Separadores, Tanque de desfogue
TG-01	Tanque separador de Agua Amarga	R	Acumuladores, Separadores, Tanque de desfogue
TA-02	Tanque de Hidrocarburo Recuperado	R	Acumuladores, Separadores, Tanque de desfogue
TA-03X	Tanque Acumulador de Condensado Aceitoso	R	Acumuladores, Separadores, Tanque de desfogue
TA-04X	Tanque de Condensado Aceitoso	R	Acumuladores, Separadores, Tanque de desfogue
TA-07X	Tanque de Desfogue Ácido	R	Acumuladores, Separadores, Tanque de desfogue

En la Tabla 12 se listan los equipos que fueron descartados de la evaluación debido a que manejan sustancias que no son combustibles, tóxicos o inflamables o que son servicios de vapor, aire de instrumentos y condensado, así como lo indica la NRF-010-PEMEX-2014.

**Tabla 12 Equipos no considerados para evaluación de espaciamientos mínimos**

TAG	Descripción	Clasificación	Justificación
BA-01/R	Bomba de Transferencia de Agua Amarga	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	La corriente es principalmente agua con trazas de sustancias peligrosas (agua desflemada)
BA-02/R	Bomba de Alimentación de Agua Amarga	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	La corriente es principalmente agua con trazas de sustancias peligrosas (agua desflemada)
BA-04/R	Bomba de fondo del agotador	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	La corriente es principalmente agua con trazas de sustancias peligrosas (agua desflemada)
BA-05	Bomba de Hidrocarburo Recuperado	B	La bomba se encuentra dentro del tanque FA-02 por lo tanto no es posible medir su distanciamiento con los equipos.
BA-06X/XR	Bomba de Condensado Aceitoso	B	La corriente es principalmente agua
BA-07X/XR	Bomba de Recuperado de Desfogue	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	La corriente es principalmente agua con trazas de sustancias peligrosas (agua desflemada)

TAG	Descripción	Clasificación	Justificación
<b>BA-08X/XR</b>	Bomba de Agua Amarga de Purgas y Vaciado	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	La corriente es principalmente agua con trazas de sustancias peligrosas (agua desflemada)
<b>BY-01</b>	Eyector de la fosa del Tanque de Hidrocarburo Recuperado	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	Este equipo maneja únicamente líquidos que pudieron haber caído dentro de la fosa, por lo cual es considerado de bajo riesgo.
<b>BY-02</b>	Eyector de la Fosa de Purgas y Vaciado	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	Este equipo maneja únicamente líquidos que pudieron haber caído dentro de la fosa, por lo cual es considerado de bajo riesgo.
<b>CH-01 A/B</b>	Pre calentador de Carga/ Fondos del Agotador	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	La corriente es 99.9 % agua y trazas de sustancias peligrosas (agua desflemada)
<b>CH-01 C/D</b>	Pre calentador de Carga/ Fondos del Agotador	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	La corriente es 99.9 % agua y trazas de sustancias peligrosas (agua desflemada)
<b>CH-02</b>	Rehervidor del Agotador	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	La corriente es 99.9% agua y trazas de sustancias peligrosas (agua desflemada)
<b>CH-03 A/B</b>	Enfriador del fondo del agotador	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	La corriente es principalmente agua con trazas de sustancias peligrosas (agua desflemada), enfriador con agua.
<b>FLC-02</b>	Filtro de Carbón para el Tanque de Hidrocarburo Recuperado	H	Es un equipo secundario de bajo riesgo
<b>FLC-04X</b>	Filtro de carbón del tanque acumulador de Purgas y Vaciado	H	Es un equipo secundario de bajo riesgo
<b>TA-05X</b>	Tanque Acumulador de Aire de Instrumentos	Q	El equipo solo contiene Aire.
<b>TC-01</b>	Fosa de Tanque de Aceite de Recuperado Aceitoso	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	Es un equipo abierto, sin partes mecánicas y sin flujo continuo.
<b>TC-02X</b>	Fosa de Purgas y Vaciado	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	Es un equipo abierto, sin partes mecánicas y sin flujo continuo.
<b>PA-01</b>	Paquete de Filtración	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	Es un equipo secundario de bajo riesgo
<b>PA-02</b>	Paquete de Aire de Instrumentos	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	La sustancia que maneja es aire.
<b>PA-03</b>	Paquete de Aire de Planta	Sin clasificación en la NRF-010-PEMEX-2014	La sustancia que maneja es aire.

La Tabla 13 contiene los espaciamientos mínimos entre equipos, señalados en la norma NRF-010-PEMEX-2014 para cada categoría, así como la distancia de diseño existente entre ellos, en la Tabla 12 se resaltan las combinaciones de equipos que no cumplen con los requerimientos de espaciamiento mínimo. Las distancias en rojo son aquellas que no cumplen con los espaciamientos mínimos, mientras que las que se muestran en verde no presentan problemas.

Según el numeral 8.4.4.7 de la NRF-010-PEMEX-2014: *“Los espacios libres se deben medir entre tangentes de la periferia de los equipos. En aquellos equipos de proceso de geometría irregular tales como bombas, compresores u otros equipos; el espacio libre se debe medir entre las caras más cercanas de la periferia de las bases de cimentación de los equipos por ubicar.”*

Tabla 13 Espaciamientos mínimos y de diseño entre los equipos de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas

BA-03/R	B	1.5											
		2.5											
DS-01	H	3	3										
		4	5										
CO-01	J	3	3	3									
		10	7.7	15.2									
CO-02X	J	3	3	3	sr								
		16.3	7.2	17.1	0								
Cuarto Satélite	P	15	15	15	15	15							
		38	34	35.2	31.8	20							
TA-01	R	7.5	7.5	15	15	15	15						
		18.5	19.3	25.3	8	12	43.5						
TG-01	R	7.5	7.5	15	15	15	15	3					
		6.7	9.7	5	15	24	51.6	20					
TA-02	R	7.5	7.5	15	15	15	15	3	3				
		16.9	20.4	14.2	25	35.1	59.5	28.7	6,3				
TA-03X	R	7.5	7.5	15	15	15	15	3	3	3			
		8	6.3	5.1	17	18.3	35.61	27.3	12.3	22			
TA-04X	R	7.5	7.5	15	15	15	15	3	3	3	3		
		10.3	6.7	7.3	12	12.5	28	25.6	16	25	4		
TA-07X	R	7.5	7.5	15	15	15	15	3	3	3	3	3	
		15.2	10.6	11.41	15	13.5	21.7	26.7	21	30	8	1.7	
	B	B	H	J	J	P	R	R	R	R	R	R	
	BA-03	BA-03/R	DS-01	CO-01	CO-02X	Cuarto Satélite	TA-01	TG-01	TA-02	TA-03X	TA-04X		

### 3.6 EQUIPOS QUE NO CUMPLEN CON LOS ESPACIAMIENTOS MÍNIMOS

Los equipos que no cumplen con los espaciamientos mínimos son: Tanque de Agua Amarga TA-01, Tanque Separador de Agua Amarga TG-01, el Tanque de Hidrocarburo Recuperado TA-02, el Tanque Acumulador de Condensado Aceitoso TA-03X, el Tanque de Condensado Aceitoso TA-04X y el Tanque de Desfogue ácido FA-07X, la Torre Agotadora DS-01, el Enfriador de Reflujo del Agotador CO-01, el Enfriador de Condensado Aceitoso CO-02X y las Bombas de Reflujo del Agotador BA-03/R.

La Torre Agotadora DS-01 presenta problemas de espaciamiento con el Tanque Separador de Agua Amarga (TG-01), el Tanque de Hidrocarburo Recuperado (TA-02), el Tanque Acumulador de Condensado Aceitoso (TA-03X), el Tanque de Condensado Aceitoso (TA-04X) y el Tanque de Desfogue Ácido (TA-07X).

El Tanque de Desfogue Ácido (TA-07X) presenta problemas de espaciamiento con la Torre Agotadora (DS-01), el Enfriador de Condensado Aceitoso (CO-02X) y el Tanque de Condensado Aceitoso (TA-04X), el TA-07X puede presentar problemas por nube tóxica, explosión o incendio debido a la naturaleza de la mezcla que maneja.

El Tanque de Agua Amarga TA-01 maneja una corriente de agua amarga compuesta en un 97% por agua, además de que presenta problemas de espaciamientos con el Enfriador de Reflujo del Agotador (CO-01) y el Enfriador de Condensado Aceitoso (EC-02) que son considerados equipos de bajo riesgo.

El Tanque de Hidrocarburo Recuperado (TA-02) que presenta problemas de espaciamiento con la Torre Agotadora (DS-01), representa peligro por explosión o incendio debido a la naturaleza de las sustancias que maneja.

La Bomba de Reflujo del Agotador (BA-03) la cual maneja una corriente de agua amarga presenta problemas de espaciamiento con el Tanque Separador (TG-



01) mientras que la Bomba BA-03/R presenta problemas con el Tanque Acumulador de Condensado Aceitoso (TA-03X) y el Tanque de Condensado Aceitoso (TA-04X).

Según la NRF-010-PEMEX-2014 en el numeral **8.4.9 Casos particulares** se establece: *“Los casos en los que por razones constructivas, por la topografía del terreno o por alguna otra circunstancia; no sea posible cumplir con los espaciamientos mínimos establecidos en esta NRF, se debe realizar un análisis de riesgo conforme con los requisitos que al respecto establece la NRF-018-PEMEX-2014 y de consecuencias conforme el numeral 8.4.9.2 de esta NRF”.*

Los equipos en los que se requiere de un análisis más detallado para determinar si los eventos que pudieran ocurrir provocarían daños en los equipos con los cuales se tiene un distanciamiento menor al indicado en la normatividad están indicados en la Tabla 14.

**Tabla 14 Equipos potencialmente afectados y equipos fuentes de riesgo**

Fuente potencial de riesgo	Descripción	Equipos potencialmente afectados
DS-01	Agotador de Agua Amarga	TG-01, TA-02, TA-03X, TA-04X, TA-07X
BA-03/R	Bomba de Reflujo del Agotador	TG-01, TA-03X, TA-04X
TA-01	Tanque de Agua Amarga	CO-01, CO-02X
TG-01	Tanque Separador de Agua Amarga	BA-03, DS-01
TA-02	Tanque de Hidrocarburo Recuperado	DS-01
TA-03X	Acumulador de Condensado Aceitoso	BA-03/R, DS-01
TA-04X	Tanque de Condensado Aceitoso	BA-03/R, DS-01, CO-01, CO-02X
TA-07X	Tanque de Desfogue Acido	DS-01, CO-02X, TA-04X

## 3.7 SIMULACIONES DE LOS ESCENARIOS RESULTANTES DE LA EVALUACIÓN DE ESPACIAMIENTOS

### 3.7.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS

Los equipos para realizar un Análisis de Consecuencias fueron: el Agotador de Agua Amarga DS-01, los Tanques TA-07X (Desfogue Ácido), TA-02 (Hidrocarburo recuperado), TG-01 (Separador de Agua Amarga) y las Bomba de Reflujo del Agotador BA-03/R. Se presenta una descripción de los mismos:

El primer escenario corresponde al Agotador de Agua Amarga DS-01 en el cuál se genera una fuga de gas ácido en la línea de Desfogue de la Torre Agotadora debido a corrosión en los internos de la válvula y desgaste de las juntas, por alta Temperatura y Presión en la corriente de Desfogue.

El segundo Escenario corresponde a una fuga de agua amarga por los sellos o por las bridas de empalme en la línea de descarga de las Bombas BA-03/R.

El tercer Escenario corresponde al Tanque de desfogue ácido TA-07X Donde debido a la sobrepresión en el tanque se simula una fuga por la brida de salida en el domo del tanque, como consecuencia de la falla de los indicadores de Presión y Temperatura, además de corrosión y falta de mantenimiento en la línea de salida del domo.

El cuarto escenario corresponde al Tanque TA-02 donde por alto nivel o sobrepresión se simula una fuga de Hidrocarburo Recuperado por las bridas de la línea de salida del Tanque, además de la posible presencia de nube explosiva en el venteo.

El quinto escenario corresponde al Tanque Separador de Agua Amarga TG-01 en cual debido a Alta Presión se plantea una fuga por las bridas de salida del tanque debido a corrosión y falta de mantenimiento a la línea hacia la Bomba GA-04.

Los siguientes equipos no cumplen con los distanciamientos mínimos conforme a la NRF-010-PEMEX-2014, sin embargo, no se requiere de simulaciones para dichos equipos debido a que las sustancias que manejan no son combustibles o inflamables conforme lo que solicita la norma de acuerdo al nivel de riesgo o peligro:

CO-01 (Enfriador de Reflujo del Agotador), CO-02X (Enfriador de Condensado Aceitoso) y los Tanques TA-03X (Acumulador de Condensado Aceitoso, TA-04X (Condensado Aceitoso) y TA-01 (Tanque de Agua Amarga).

### **3.7.2 SELECCIÓN DE ESCENARIOS**

La selección de los escenarios de accidente depende del objetivo del análisis de consecuencias. Un análisis de consecuencias se puede realizar para uno de varios propósitos entre los que se encuentran los requeridos por la normatividad, los empleados por otros estudios como los relacionados con la seguridad física o para diseñar los planes de emergencia externos e internos.

La lista de escenarios de accidente, puede provenir de <sup>[5]</sup>:

- La aplicación de metodologías para identificación de peligros y riesgos, como HazOp, FMEA
- La aplicación de metodologías para realizar análisis cuantitativo de riesgos, como el análisis de árboles de eventos y de fallas
- Necesidades particulares surgidas de otros estudios, peticiones especiales o la inquietud de conocer las posibles afectaciones derivadas de un escenario de riesgo

Los escenarios considerados para simulación se resumen en la Tabla 15.

**Tabla 15 Escenarios de riesgo propuestos**

Tipo de Escenario	Nombre
Caso Más Probable 1	Fuga de Gas Ácido en línea proveniente del domo de la Torre Agotadora DS-01
Caso Más Probable 2	Fuga de Agua Amarga en la línea de la descarga de las bombas BA-03/R
Caso Alternativo 1	Fuga de Desfogue Ácido en brida de salida en domo del tanque TA-07X
Caso Alternativo 2	Fuga de Hidrocarburo Recuperado en línea de salida del tanque TA-02
Caso Alternativo 3	Fuga de Agua Amarga en la brida de la línea de salida del Tanque TG-01

Los escenarios que para ser simulados se necesitó un modelo de explosión, emplearon el modelo TNO bajo las siguientes consideraciones:

Se empleó una fuerza de confinamiento de 3 debido a la ubicación de los equipos, donde se observó baja densidad de obstrucción y posibilidad de confinamiento, para el caso del equipo TA-07X la fracción de confinamiento se estimó en 0.2 debido al tamaño regular en los espacios donde se puede acumular el material, mientras que para el TA-02, la fuerza de confinamiento es 6 debido a su ubicación en una fosa y la fracción de confinamiento de 0.3.

### **3.7.3 FORMATOS PARA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGOS**

La estructura del Formato para simulación de escenarios de riesgo (el cual contiene la información necesaria para que se lleve a cabo la simulación) debe ser de acuerdo al Anexo 1 del documento DCO-GDOESSSPA-CT-001 Rev. 1 “Criterios Técnicos Para Simular Escenario de Riesgo por Fugas y Derrames de Sustancias Peligrosas, en Instalaciones de Petróleos Mexicanos”. A continuación se muestran los formatos para cada uno de los escenarios.

<b>FORMATO PARA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGOS</b>									
Nombre del simulador utilizado	PHAST 6.7								
Planta o instalación	Planta de Tratamiento de Aguas Amargas								
Clave del escenario	PR-R-PTAA-CMP.01								
<b>ESCENARIO DE RIESGO</b>									
Nombre del escenario de riesgo	Fuga de Gas Ácido en línea proveniente del domo de la Torre Agotadora DS-01								
Descripción del escenario de riesgo	Fuga de Gas Ácido en línea proveniente del domo de la Torre Agotadora DS-01 debido a corrosión en los internos de la válvula y desgaste de las juntas, provocando la liberación de la mezcla gaseosa H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> generando una nube tóxica e inflamable empleando una ruptura de línea del 20%.								
<b>CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y TIPO DE ÁREA DE LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN</b>									
Temperatura ambiente (°C)	25.1								
Humedad relativa (%)	78								
Presión atmosférica (psi)	14.7								
Tipo de área en la que se encuentra la instalación: Rural, Urbana, Industrial, Marítima, Otra (explique)	I								
<b>CONDICIONES METEOROLÓGICAS AL MOMENTO DE LA FUGA DEL MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA</b>									
Velocidad del viento (m/s) / dirección vientos dominantes	4.4 m/s Este-Oeste								
Estabilidad atmosférica (Pasquill)	B-C								
<b>MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA BAJO ESTUDIO</b>									
Nombre	Gas ácido								
Componente y % de la mezcla	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Masa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ácido Sulfhídrico</td> <td>44.36</td> </tr> <tr> <td>Amoniaco</td> <td>31.26</td> </tr> <tr> <td>Agua</td> <td>24.38</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	Masa	Ácido Sulfhídrico	44.36	Amoniaco	31.26	Agua	24.38
Componente	Masa								
Ácido Sulfhídrico	44.36								
Amoniaco	31.26								
Agua	24.38								
Fase	Gas								
Inventario (kg)	417.7								
<b>CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EN EL QUE SE ENCUENTRA EL RECIPIENTE</b>									
Área del dique (m <sup>2</sup> )	N/A								
Tipo de superficie sobre el que se encuentra el recipiente: <b>TS</b> =Tierra seca, <b>TH</b> =Tierra húmeda, <b>C</b> =concreto, <b>O</b> =Otra(explique)	C								
<b>DATOS DEL RECIPIENTE Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUGA</b>									
Tipo de recipiente: <b>V</b> =Vertical, <b>H</b> =Horizontal, <b>E</b> =Esférico, <b>O</b> =Otro (explique)	N/A								
Temperatura (°C)	91								
Presión (psi)	30.57								
Altura hidráulica* (m)	N/A								
Diámetro equivalente de fuga (pulgadas)	1.6								
Dirección de la fuga: <b>V</b> =Vertical, <b>H</b> =Horizontal, <b>HA</b> =Hacia abajo, <b>GC</b> =Golpea contra, <b>I</b> =Inclinada	H								
Elevación de la fuga** (m)	18								

\*Altura de la sustancia peligrosa dentro del recipiente, a partir del nivel al que se encuentra la fuga.

\*\*Altura a la que se encuentra la fuga, a partir del nivel del piso terminado

<b>FORMATO PARA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGOS</b>		
Nombre del simulador utilizado	PHAST 6.7	
Planta o instalación	Planta de Tratamiento de Aguas Amargas	
Clave del escenario	PR-R-PTAA-CMP.02	
<b>ESCENARIO DE RIESGO</b>		
Nombre del escenario de riesgo	Fuga de Agua Amarga en la línea de la descarga de las bombas BA-03R	
Descripción del escenario de riesgo	Fuga de Agua Amarga en la línea de la descarga de las bombas BA-03R por los sellos de las bombas o por las bridas de empalme en descarga provocando fuga de la mezcla H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub>	
<b>CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y TIPO DE ÁREA DE LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN</b>		
Temperatura ambiente (°C)	25.1	
Humedad relativa (%)	78	
Presión atmosférica (psi)	14.7	
Tipo de área en la que se encuentra la instalación: Rural, Urbana, Industrial, Marítima, Otra (explique)	I	
<b>CONDICIONES METEOROLÓGICAS AL MOMENTO DE LA FUGA DEL MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA</b>		
Velocidad del viento (m/s) / dirección vientos dominantes	4.4 m/s Este-Oeste	
Estabilidad atmosférica (Pasquill)	B-C	
<b>MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA BAJO ESTUDIO</b>		
Nombre	Agua Amarga	
Componente y % de la mezcla	<b>Componente</b>	<b>Masa</b>
	Ácido Sulhídrico	2.86
	Amoniaco	5.98
	Agua	91.2
Fase	Líquido	
Inventario (kg)	17,648	
<b>CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EN EL QUE SE ENCUENTRA EL RECIPIENTE</b>		
Área del dique (m <sup>2</sup> )	N/A	
Tipo de superficie sobre el que se encuentra el recipiente: <b>TS</b> =Tierra seca, <b>TH</b> =Tierra húmeda, <b>C</b> =concreto, <b>O</b> =Otra(explique)	C	
<b>DATOS DEL RECIPIENTE Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUGA</b>		
Tipo de recipiente: <b>V</b> =Vertical, <b>H</b> =Horizontal, <b>E</b> =Esférico, <b>O</b> =Otro (explique)	N/A	
Temperatura (°C)	103	
Presión (psi)	115.34	
Altura hidráulica* (m)	N/A	
Diámetro equivalente de fuga (pulgadas)	1.2	
Dirección de la fuga: <b>V</b> =Vertical, <b>H</b> =Horizontal, <b>HA</b> =Hacia abajo, <b>GC</b> =Golpea contra, <b>I</b> =Inclinada	H	
Elevación de la fuga** (m)	5.4	

\*Altura de la sustancia peligrosa dentro del recipiente, a partir del nivel al que se encuentra la fuga.

\*\*Altura a la que se encuentra la fuga, a partir del nivel del piso terminado.

<b>FORMATO PARA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGOS</b>				
Nombre del simulador utilizado	<i>PHAST 6.7</i>			
Planta o instalación	<i>Planta de Tratamiento de Aguas Amargas</i>			
Clave del escenario	<i>PR-R-PTAA-CA.01</i>			
<b>ESCENARIO DE RIESGO</b>				
Nombre del escenario de riesgo	Fuga de Desfogue Ácido en brida de salida en domo del tanque TA-07X			
Descripción del escenario de riesgo	<i>Sobrepresión en el Tanque TA-07X provoca una fuga de gas combustible que da lugar a la formación de atmósfera explosiva.</i>			
<b>CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y TIPO DE ÁREA DE LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN</b>				
Temperatura ambiente (°C)	<i>25.1</i>			
Humedad relativa (%)	<i>78</i>			
Presión atmosférica (psi)	<i>14.7</i>			
Tipo de área en la que se encuentra la instalación: Rural, Urbana, Industrial, Marítima, Otra (explique)	<i>I</i>			
<b>CONDICIONES METEOROLÓGICAS AL MOMENTO DE LA FUGA DEL MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA</b>				
Velocidad del viento (m/s) / dirección vientos dominantes	<i>4.4 m/s Este-Oeste</i>			
Estabilidad atmosférica (Pasquill)	<i>B-C</i>			
<b>MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA BAJO ESTUDIO</b>				
Nombre	<i>Desfogue ácido</i>			
Componente y % de la mezcla	<b>Componente</b>	<b>Masa</b>	<b>Componente</b>	<b>Masa</b>
	Propileno	6.6934	n-Hexano	1.0539
	H <sub>2</sub> O	0.1742	n-Heptano	0.0418
	NH <sub>3</sub>	13.6249	n-Octano	0.0011
	Nitrógeno	0.3143	CO <sub>2</sub>	0.0430
	Metano	34.1798	Hidrógeno	6.3087
	Etano	3.0914	Propano	0.9521
	Etileno	1.0408	i-Pentano	0.0107
	n-Butano	0.0972	H <sub>2</sub> S	29.1818
n-Pentano	3.0786	i-Butano	0.1113	
Fase	<i>Gas</i>			
Inventario (kg)	<i>98.55</i>			
<b>CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EN EL QUE SE ENCUENTRA EL RECIPIENTE</b>				
Área del dique (m <sup>2</sup> )	<i>N/A</i>			
Tipo de superficie sobre el que se encuentra el recipiente: <b>TS</b> =Tierra seca, <b>TH</b> =Tierra húmeda, <b>C</b> =concreto, <b>O</b> =Otra(explique)	<i>C</i>			
<b>DATOS DEL RECIPIENTE Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUGA</b>				
Tipo de recipiente: <b>V</b> =Vertical, <b>H</b> =Horizontal, <b>E</b> =Esférico, <b>O</b> =Otro (explique)	<i>N/A</i>			
Temperatura (°C)	<i>25</i>			
Presión (psi)	<i>78.7</i>			
Altura hidráulica* (m)	<i>N/A</i>			
Diámetro equivalente de fuga (pulgadas)	<i>2.4</i>			
Dirección de la fuga: <b>V</b> =Vertical, <b>H</b> =Horizontal, <b>HA</b> =Hacia abajo, <b>GC</b> =Golpea contra, <b>I</b> =Inclinada	<i>H</i>			
Elevación de la fuga** (m)	<i>9.33</i>			

\*Altura de la sustancia peligrosa dentro del recipiente, a partir del nivel al que se encuentra la fuga.

\*\*Altura a la que se encuentra la fuga, a partir del nivel del piso terminado.

<b>FORMATO PARA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGOS</b>		
Nombre del simulador utilizado	PHAST 6.7	
Planta o instalación	Planta de Tratamiento de Aguas Amargas	
Clave del escenario	PR-R-PTAA-CA.02	
<b>ESCENARIO DE RIESGO</b>		
Nombre del escenario de riesgo	Fuga de Hidrocarburo Recuperado en línea de salida del tanque TA-02	
Descripción del escenario de riesgo	Alto Nivel o Sobrepresión en el Tanque TA-02 provoca una fuga de material inflamable.	
<b>CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y TIPO DE ÁREA DE LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN</b>		
Temperatura ambiente (°C)	25.1	
Humedad relativa (%)	78	
Presión atmosférica (psi)	14.7	
Tipo de área en la que se encuentra la instalación: Rural, Urbana, Industrial, Marítima, Otra (explique)	I	
<b>CONDICIONES METEOROLÓGICAS AL MOMENTO DE LA FUGA DEL MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA</b>		
Velocidad del viento (m/s) / dirección vientos dominantes	4.4 m/s Este-Oeste	
Estabilidad atmosférica (Pasquill)	B-C	
<b>MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA BAJO ESTUDIO</b>		
Nombre	Hidrocarburo Recuperado	
Componente y % de la mezcla	<b>Componente</b>	<b>Masa</b>
	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.023
	nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	29.29
	C6	53.249
	C7	14.306
	C8	3.132
Fase	Líquido	
Inventario (kg)	1111.5	
<b>CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EN EL QUE SE ENCUENTRA EL RECIPIENTE</b>		
Área del dique (m <sup>2</sup> )	N/A	
Tipo de superficie sobre el que se encuentra el recipiente: <b>TS</b> =Tierra seca, <b>TH</b> =Tierra húmeda, <b>C</b> =concreto, <b>O</b> =Otra(explique)	C	
<b>DATOS DEL RECIPIENTE Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUGA</b>		
Tipo de recipiente: <b>V</b> =Vertical, <b>H</b> =Horizontal, <b>E</b> =Esférico, <b>O</b> =Otro (explique)	O (I)	
Temperatura (°C)	40	
Presión (psi)	100	
Altura hidráulica* (m)	N/A	
Diámetro equivalente de fuga (pulgadas)	0.6	
Dirección de la fuga: <b>V</b> =Vertical, <b>H</b> =Horizontal, <b>HA</b> =Hacia abajo, <b>GC</b> =Golpea contra, <b>I</b> =Inclinada	H	
Elevación de la fuga** (m)	1.72	

\*Altura de la sustancia peligrosa dentro del recipiente, a partir del nivel al que se encuentra la fuga.

\*\*Altura a la que se encuentra la fuga, a partir del nivel del piso terminado.



<b>FORMATO PARA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGOS</b>		
Nombre del simulador utilizado	<i>PHAST 6.7</i>	
Planta o instalación	<i>Planta de Tratamiento de Aguas Amargas</i>	
Clave del escenario	<i>PR-R-PTAA-CA.03</i>	
<b>ESCENARIO DE RIESGO</b>		
Nombre del escenario de riesgo	Fuga de Agua Amarga en la brida de la línea de salida del Tanque TG-01	
Descripción del escenario de riesgo	<i>Alta presión en el Tanque TG-01 provoca una fuga de agua amarga en la brida de Salida del Tanque TG-01</i>	
<b>CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y TIPO DE ÁREA DE LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN</b>		
Temperatura ambiente (°C)	<i>25.1</i>	
Humedad relativa (%)	<i>78</i>	
Presión atmosférica (psi)	<i>14.7</i>	
Tipo de área en la que se encuentra la instalación: Rural, Urbana, Industrial, Marítima, Otra (explique)	<i>I</i>	
<b>CONDICIONES METEOROLÓGICAS AL MOMENTO DE LA FUGA DEL MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA</b>		
Velocidad del viento (m/s) / dirección vientos dominantes	<i>4.4 m/s Este-Oeste</i>	
Estabilidad atmosférica (Pasquill)	<i>B-C</i>	
<b>MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA BAJO ESTUDIO</b>		
Nombre	<i>Agua Amarga</i>	
Componente y % de la mezcla	<b>Componente</b>	<b>Masa</b>
	H <sub>2</sub> S	<i>1.7</i>
	NH <sub>3</sub>	<i>1.2</i>
	H <sub>2</sub> O	<i>97.1</i>
Fase	<i>Líquido</i>	
Inventario (kg)	<i>10,902.5</i>	
<b>CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EN EL QUE SE ENCUENTRA EL RECIPIENTE</b>		
Área del dique (m <sup>2</sup> )	<i>N/A</i>	
Tipo de superficie sobre el que se encuentra el recipiente: <b>TS</b> =Tierra seca, <b>TH</b> =Tierra húmeda, <b>C</b> =concreto, <b>O</b> =Otra(explique)	<i>C</i>	
<b>DATOS DEL RECIPIENTE Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUGA</b>		
Tipo de recipiente: <b>V</b> =Vertical, <b>H</b> =Horizontal, <b>E</b> =Esférico, <b>O</b> =Otro (explique)	<i>N/A</i>	
Temperatura (°C)	<i>45</i>	
Presión (psi)	<i>24.65</i>	
Altura hidráulica* (m)	<i>N/A</i>	
Diámetro equivalente de fuga (pulgadas)	<i>1.6</i>	
Dirección de la fuga: <b>V</b> =Vertical, <b>H</b> =Horizontal, <b>HA</b> =Hacia abajo, <b>GC</b> =Golpea contra, <b>I</b> =Inclinada	<i>H</i>	
Elevación de la fuga** (m)	<i>4.75</i>	

\*Altura de la sustancia peligrosa dentro del recipiente, a partir del nivel al que se encuentra la fuga.

\*\*Altura a la que se encuentra la fuga, a partir del nivel del piso terminado.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al simular los escenarios de riesgo, debe obtenerse la zona intermedia de salvaguarda; compuesta por las zonas de riesgo y amortiguamiento. (Tabla 2 de “Criterios Técnicos para Simular escenarios de riesgo” DCO-GDOESSSPA-CT-001). (Ver Tabla 16)

Tabla 16 Zona intermedia de salvaguarda

	Zona intermedia de salvaguarda	
	Zona de Riesgo	Zona de amortiguamiento
Toxicidad (concentración)	<b>IDLH</b>	<b>TLV<sub>15</sub></b>
Inflamabilidad (radiación térmica)	<b>5 k W/m<sup>2</sup></b>	<b>1.4 k W/m<sup>2</sup></b>
Explosividad (sobrepresión)	<b>1 psi</b>	<b>0.5 psi</b>

Los escenarios de riesgo deben ordenarse, de acuerdo a los efectos por toxicidad, sobrepresión y radiación térmica sobre los sitios de interés, receptores públicos o ambientales, instalaciones o equipos en el entorno, anotando las consecuencias, recomendaciones, medidas preventivas y de mitigación aplicables.

Al proponer las medidas de prevención, control y mitigación de los riesgos, puede considerarse lo siguiente <sup>[4]</sup>:

- a) El diseño seguro del proceso
- b) El control básico de proceso.
- c) Las alarmas de los procesos críticos e intervención del operador
- d) Sistemas Instrumentados de Seguridad
- e) El Plan de Respuesta a Emergencia Interno
- f) El mantenimiento de los equipos Críticos
- g) Inspecciones y pruebas

Según la **NRF-010-PEMEX-2014**, se debe determinar el espacio a un nivel límite de sobrepresión de (3 psi), además de realizar la simulación de escenarios de fuego, ya sea por incendios de líquido en charco “**Pool Fire**” o por dardos de fuego “**Jet Fire**” para el equipo de interés, además determinar si para los escenarios se alcanzan uno o más de los siguientes niveles de intensidades de radiación térmica. (Se consideran ignición inmediata (JET FIRE) y explosión tardía en zonas no confinadas (POOL FIRE))

- **5 kW/m<sup>2</sup>** para instalaciones normalmente ocupadas por personal. Intensidad a la cual se tienen quemaduras de segundo grado en el cuerpo humano para una exposición de 29 segundos.
- **12.5 kW/m<sup>2</sup>** para instalaciones normalmente NO ocupadas por personal. Intensidad suficiente para prender madera. Se alcanzan temperaturas de auto ignición de varios hidrocarburos.

Las estructuras o soportes metálicos que como resultado del Análisis estén en zonas de influencia por fuego y que en caso de falla de estabilidad estructural, pongan en riesgo vidas humanas o aporten combustibles al incendio; se deben proteger con un recubrimiento para Protección Pasiva Contra Fuego. La protección debe ser hasta un valor de radiación de 37.5 kW/m<sup>2</sup> [24].

El Recubrimiento para Protección Pasiva Contra Fuego debe cumplir con los requerimientos de la NRF-065-PEMEX-2014, en donde se establece que:

*Los faldones de los recipientes verticales, tanto en el interior y exterior, en el caso de los recipientes con diámetro menor a 1.4 m y que no tengan uniones bridadas, roscadas o válvulas, se cubrirá el faldón solo por la parte exterior, por ningún motivo se debe obstruir los respiradores (venteo).*

En la Tabla 17 se presentan los valores de los radios de afectación por los eventos de radiación, sobrepresión y máxima concentración para cada uno de los escenarios simulados. Así como las Zonas de Riesgo y amortiguamiento mencionadas en la Tabla 16.

Tabla 17 Resultados de los escenarios simulados

Escenario	Nombre del escenario	Clase de evento*	Efectos por radiación				Efectos por sobrepresión								Efectos por toxicidad H <sub>2</sub> S	
							Temprana				Tardía				IDLH ppm (m)	TLV <sub>15</sub> ppm (m)
			kW/m <sup>2</sup>		(m)		psi		(m)		psi		(m)			
			1.4	5	12.5	37.5	0.5	1	3	10	0.5	1	3	10	100	15
PR-R-PTAA-CMP.01	Fuga de Gas Ácido en línea proveniente del domo de la Torre Agotadora DS-01	FLA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	85	119
PR-R-PTAA-CMP.02	Fuga de Agua Amarga en la línea de descarga de las bombas BA-03/R	CHAF	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	178	318
PR-R-PTAA-CA.01	Fuga de Desfogue Ácido en brida de salida en domo del tanque TA-07X	CHOF	33.34	19.67	--	--	--	--	--	--	23.11	--	--	--	111	322
PR-R-PTAA-CA.02	Fuga de Hidrocarburo Recuperado en línea de salida del tanque TA-02	CHOF	65.41	44.49	35.39	28.24	--	--	--	--	114.11	84.64	63.62	--	*	*
PR-R-PTAA-CA.03	Fuga de Agua Amarga en la brida de la línea de salida del Tanque TG-01	NT	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	67	138

Fuente: Elaboración propia con base en los reportes de PHAST.

De acuerdo con la Tabla 1 de la DCO-GDOESSSPA-CT-001 Rev. 1 FLA=Flamazo, CHAF=Charco de fuego, CHOF= Chorro de fuego, BOLF= Bola de Fuego, EXP= Explosión, NT=Nube Tóxica

\* Para este caso no se presentan efectos por nube tóxica.

Las afectaciones entre equipos que no cumplen con espaciamientos mínimos se presentan en la Tabla 18 además de las afectaciones hacia los edificios de la Planta que aunque no presentan problemas de espaciamiento es importante analizar si sufren consecuencias como resultado de los escenarios simulados.

**Tabla 18 Resultados de las Afectaciones entre equipos que no cumplen con los espaciamientos mínimos y edificios de la Planta**

Equipo que no cumple	Equipo afectado	Distancia de la norma (m)	Distancia real (m)	Afectaciones			Consecuencias	Salvaguardas	Recomendaciones
				Sobrepresión (psi)	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Toxicidad (ppm, H <sub>2</sub> S)			
DS-01 Agotador de Agua Amarga	Tanque Separador de Agua Amarga TG-01	15	5**	No se presenta	0.101 (CHOE)	12,000	<b>Sobrepresión:</b> No se presenta <b>Radiación:</b> Sin daño a equipo. <b>Toxicidad:</b> Colapso inmediato y parálisis respiratoria.	<b>Prevención:</b> PV-XXXX, PSV-XXXX Detectores de gas H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> y Gas Combustible. <b>Mitigación:</b> Hidrantes Monitor, Estaciones de Aire de Respiración.	Incluir detectores y tubería en el Programa de mantenimiento de la Refinería. Colocar un par de Detectores de gas H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> en una de las plataformas intermedias de la torre DS-01. Plan de emergencia para la contingencia por fuga de gas ácido.
	Tanque Acumulador de Condensado Aceitoso TA-03X	15	5.1	No se presenta	0.101 (CHOE)	12,000			
	Tanque de Condensado Aceitoso TA-04X	15	7.3	No se presenta	0.104 (CHOE)	9,000			
	Tanque de Desfogue Ácido TA-07X	15	11.4	No se presenta	0.096 (CHOE)	5,000			
	Tanque de Hidrocarburo Recuperado TA-02	15	14.2	No se presenta	0.087 (CHOE)	4,000			

Equipo que no cumple	Equipo afectado	Distancia de la norma (m)	Distancia real (m)	Afectaciones			Consecuencias	Salvaguardas	Recomendaciones
				Sobrepresión (psi)	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Toxicidad (ppm, H <sub>2</sub> S)			
DS-01 Agotador de Agua Amarga	Cuarto de Control Satélite TRIPULADO	15	35.2	No se presenta	No se presenta	210	<b>Sobrepresión:</b> No se presenta <b>Radiación:</b> No se presenta. <b>Toxicidad:</b> Irritación de la membrana mucosa y ojos en una hora.	<b>Prevención:</b> PV-XXXX, PSV-XXXX Detectores de gas H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> y Gas Combustible. <b>Mitigación:</b> Hidrantes Monitor.	Instalación de Equipos de Respiración Autónoma por toda la Refinería.
	Caseta Operadores TRIPULADO	sr	19.5	No se presenta	0.065 (CHOF)	2,400	<b>Sobrepresión:</b> No se presenta <b>Radiación:</b> Sin daño a edificio y personal <b>Toxicidad:</b> Colapso inmediato y parálisis respiratoria.		
BA-03/R Bomba de Reflujo del Agotador	Tanque Separador de Agua Amarga TG-01	7.5	6.7	No se presenta	No se presenta	80	<b>Sobrepresión:</b> No se presenta <b>Radiación:</b> No se presenta. <b>Toxicidad:</b> Daño a ojos, migrañas, náuseas, mareos, tos, vómito y dificultad para respirar.	<b>Prevención:</b> Control de Nivel, Detectores de gas y alarmas H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> . <b>Mitigación:</b> Hidrantes Monitor.	Incluir detectores y tubería en el Programa de mantenimiento de la Refinería.

Equipo que no cumple	Equipo afectado	Distancia de la norma (m)	Distancia real (m)	Afectaciones			Consecuencias	Salvaguardas	Recomendaciones
				Sobrepresión (psi)	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Toxicidad (ppm, H <sub>2</sub> S)			
BA-03/R Bomba de Reflujo del Agotador	Tanque Acumulador de Condensado Aceitoso TA-03X	7.5	6.3	No se presenta	No se presenta	80	<b>Sobrepresión:</b> No se presenta <b>Radiación:</b> No se presenta. <b>Toxicidad:</b> Daño a ojos, migrañas, náuseas, mareos, tos, vómito y dificultad para respirar.	<b>Prevención:</b> Control de Nivel, Detectores de gas y alarmas H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> . <b>Mitigación:</b> Hidrantes Monitor.	Incluir detectores y tubería en el Programa de mantenimiento de la Refinería.
	Tanque de Condensado Aceitoso TA-04X	7.5	6.7	No se presenta	No se presenta	80			
	Cuarto de Control Satélite TRIPULADO	15	34	No se presenta	No se presenta	60	<b>Sobrepresión:</b> No se presenta <b>Radiación:</b> No se presenta. <b>Toxicidad:</b> Daño a ojos, migrañas, náuseas, mareos, tos, vómito y dificultad para respirar.	<b>Prevención:</b> Control de Nivel, Detectores de gas y alarmas H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> . <b>Mitigación:</b> Hidrantes Monitor.	Incluir detectores y tubería en el Programa de mantenimiento de la Refinería.
	Caseta Operadores TRIPULADO	sr	16.4	No se presenta	No se presenta	70			
TA-07X Tanque de Desfogue Ácido	Enfriador de Condensado Aceitoso CO-02X	15	13.5*	0.24 EXP Tardía	6.43 (CHO <sub>F</sub> )	9,000	<b>Sobrepresión:</b> Sin daño a equipo (Presión típica para ruptura de vidrio) <b>Radiación:</b> Sin daño a equipo	<b>Prevención:</b> Control de Nivel y Alarmas. <b>Mitigación:</b> Hidrantes Monitor, Estaciones de aire de respiración.	Incluir tubería en el Programa de mantenimiento de la Refinería.  Plan de emergencia para la contingencia por fuga de gas ácido.
	DS-01 Agotador de Agua Amarga	15	11.4*	0.18 EXP Tardía	6.13 (CHO <sub>F</sub> )	8,000			

Equipo que no cumple	Equipo afectado	Distancia de la norma (m)	Distancia real (m)	Afectaciones		Toxicidad (ppm, H <sub>2</sub> S)	Consecuencias	Salvaguardas	Recomendaciones
				Sobrepresión (psi)	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )				
	Tanque de Condensado Aceitoso TA-04X	3	1.7	0.09 EXP Tardía	2.43 (CHOF)	30,000	<b>Toxicidad:</b> Colapso inmediato y parálisis respiratoria		Detectores de gas H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> y gas combustible en la zona del tanque TA-07X.
TA-07X Tanque de Desfogue Ácido	Cuarto de Control Satélite TRIPULADO	15	21.7	0.66 EXP Tardía	4.03 (CHOF)	3,000	<b>Sobrepresión:</b> Sin daño a edificio (Daño menor a estructuras) <b>Radiación:</b> Sin daño a edificio. Afectaciones al personal. <b>Toxicidad:</b> Colapso inmediato y parálisis respiratoria	<b>Prevención:</b> Control de Nivel y Alarmas. <b>Mitigación:</b> Hidrantes Monitor.	Plan de emergencia para la contingencia por fuga de gas ácido. Instalación de equipo de respiración autónoma.
TA-07X Tanque de Desfogue Ácido	Caseta Operadores TRIPULADO	sr	4.3	0.1 EXP Tardía	3.33 (CHOF)	20,000	<b>Sobrepresión:</b> Sin daño a edificio (Ruptura de ventanas pequeñas bajo tensión) <b>Radiación:</b> Sin daño a edificio <b>Toxicidad:</b> Colapso inmediato y parálisis respiratoria	<b>Prevención:</b> Control de Nivel y Alarmas. <b>Mitigación:</b> Hidrantes Monitor.	Plan de emergencia para la contingencia por fuga de gas ácido. Instalación de equipo de respiración autónoma.



Equipo que no cumple	Equipo afectado	Distancia de la norma (m)	Distancia real (m)	Afectaciones			Consecuencias	Salvaguardas	Recomendaciones
				Sobrepresión (psi)	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Toxicidad (ppm, H <sub>2</sub> S)			
TA-02 Tanque de Hidrocarburo Recuperado	DS-01 Agotador de Agua Amarga	15	14.2*	1 EXP Tardía	200 (CHOF)	No se presenta	<p><b>Sobrepresión:</b> Daño a equipo (Demolición parcial de casas)</p> <p><b>Radiación:</b> Daño a equipo (Suficiente para provocar daños en equipos de proceso)</p> <p><b>Toxicidad:</b> No se presentan efectos</p>	<p><b>Prevención:</b> PVSV- XXXX, Alarmas de nivel y Detectores de fuego UV-IR y gas Combustible.</p> <p><b>Mitigación:</b> Hidrantes Monitor, Sistema de Aspersión en TA-02.</p>	Incluir tubería y detectores en el Programa de mantenimiento de la Refinería. Protección Pasiva en estructuras y soportes de equipo.
TA-02 Tanque de Hidrocarburo Recuperado	Cuarto de Control Satélite TRIPULADO	15	59.5	4.2 EXP Tardía	2 (CHOF)	No se presenta	<p><b>Sobrepresión:</b> Daño a edificio (Rotura de tanques de almacenamiento de crudo)</p> <p><b>Radiación:</b> Sin daño a edificio.</p> <p><b>Toxicidad:</b> No se presentan efectos</p>	<p><b>Prevención:</b> PVSV- XXXX, Alarmas de nivel y Detectores de fuego UV-IR y gas Combustible.</p> <p><b>Mitigación:</b> Hidrantes Monitor, Sistema de Aspersión en TA-02.</p>	Se recomienda reforzar los muros del edificio o la reubicación fuera de los radios de sobrepresión de 3 psi y radiación de 5.0 kW/m <sup>2</sup>

Equipo que no cumple	Equipo afectado	Distancia de la norma (m)	Distancia real (m)	Afectaciones			Consecuencias	Salvaguardas	Recomendaciones
				Sobrepresión (psi)	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Toxicidad (ppm, H <sub>2</sub> S)			
TA-02 Tanque de Hidrocarburo Recuperado	Caseta Operadores TRIPULADO	sr	37	3.2 EXP Tardía	10 (CHOF)	No se presenta	<b>Sobrepresión:</b> Daño a edificio (Daño a edificios con estructura metálica, equipo pesado sufre poco daño) Afectaciones al personal <b>Radiación:</b> Sin daño a edificio <b>Toxicidad:</b> No se presentan efectos	<b>Prevención:</b> PVSV- XXXX, Alarmas de nivel y Detectores de fuego UV-IR y gas Combustible. <b>Mitigación:</b> Hidrantes Monitor, Sistema de Aspersión en TA-02.	Se recomienda reforzar los muros del edificio o la reubicación fuera de los radios de sobrepresión de 3 psi y radiación de 5.0 kW/m <sup>2</sup> Tener disponible equipo de protección personal especial para radiación térmica en la caseta de operadores.
TG-01 (MT-5) Tanque separador de agua amarga	Agotador de Agua Amarga DS-01	15	5*	No se presenta	No se presenta	5,000	<b>Sobrepresión:</b> No se presenta <b>Radiación:</b> No se presenta <b>Toxicidad:</b> Colapso inmediato y parálisis respiratoria.	<b>Prevención:</b> PSV-XXXX, XV-XXXX, FV-XXXX, LV-XXXX, Detectores de gas H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> . <b>Mitigación:</b> Estaciones de aire de respiración.	Incluir tubería y detectores en el Programa de mantenimiento de la Refinería. Plan de emergencia para contingencia por fuga de agua amarga.
	BA-03/R Bomba de Reflujo del Agotador	7.5	6.7	No se presenta	No se presenta	5,200			

Equipo que no cumple	Equipo afectado	Distancia de la norma (m)	Distancia real (m)	Afectaciones			Consecuencias	Salvaguardas	Recomendaciones
				Sobrepresión (psi)	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Toxicidad (ppm, H <sub>2</sub> S)			
	Caseta de Operadores TRIPULADO	sr	26.9	No se presenta	No se presenta	200	<b>Sobrepresión:</b> No se presenta <b>Radiación:</b> No se presenta <b>Toxicidad:</b> Irritación de la membrana mucosa y ojos en una hora.	<b>Prevención:</b> PSV-XXXX, XV-XXXX, FV-XXXX, LV-XXXX, Detectores de gas H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub>	Plan de emergencia para contingencia por fuga de agua amarga. Instalación de equipo de Respiración Autónoma
	Cuarto de control satélite TRIPULADO	15	51.6	No se presenta	No se presenta	95	<b>Sobrepresión:</b> No se presenta <b>Radiación:</b> No se presenta <b>Toxicidad:</b> Daño a ojos, migrañas, náuseas, mareos, tos, vómito y dificultad para respirar		

sr: Sin requisito específico de espaciamiento mínimo.

\*Esta distancia considera la componente vertical.

## 4.1 ANÁLISIS CONSECUENCIAS DE ESCENARIOS EN INSTALACIONES ALEDAÑAS

Se analizó el espaciamiento con la Planta aledaña de Peligro Moderado (Recuperadora de Azufre), el cual no cumple el distanciamiento mínimo. Sin embargo, al analizar las afectaciones que los escenarios simulados causan sobre la Planta de Azufre aledaña no se encontraron valores de radiación mayores a 12.5 kW/m<sup>2</sup> o sobrepresiones mayores a 3 psi, valores considerados como referencia en la NRF-010-PEMEX-2014,

Algunas consideraciones en la NRF-010-PEMEX-2014, respecto a instalaciones de la Planta incluyen el punto **8.4.4.1** que establece: “Los *cuartos de control satélite se deben ubicar donde se evite o minimice su exposición a incendios o explosiones. Si existe la posibilidad de tal exposición, se deben diseñar para resistir la sobrepresión o la radiación de un evento potencial*”.

El **cuarto de Control Satélite de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas**, cuyo espaciamiento es menor al requerido por la norma recibe afectaciones por sobrepresión de 4.2 psi como efecto de Explosión Tardía por el evento “Fuga de Hidrocarburo Recuperado en la línea de salida del Tanque TA-02”, por ello se recomienda reforzar los muros del edificio o la reubicación fuera de los radios de sobrepresión de 3 psi, esto aproximadamente a los 64 metros de distancia del TA-02.

La fosa API cuyo espaciamiento con la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas es menor al requerido por la norma, ya que, la fosa se localiza a 30.78 m y es afectada por valores de radiación de 12.5 kW/m<sup>2</sup> y sobrepresión de 2 psi por el escenario “Fuga de Hidrocarburo Recuperado en la línea de salida del Tanque TA-02”.

La **Caseta de Operadores de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas**, la cual no está incluida en los requerimientos de espaciamiento mínimo de la norma, se encuentra ubicada a 37 metros del tanque TA-02, más sin embargo se ve afectada por un valor de sobrepresión por Explosión Tardía de 3.2 psi por el

escenario “Fuga de Hidrocarburo Recuperado en la línea de salida del Tanque TA-02”, por lo que se recomienda reforzar los muros del edificio o considerar la reubicación de la caseta fuera de los radios de sobrepresión de 3 psi, aproximadamente a los 64 metros de distancia del tanque FA-02 y niveles de radiación de 10 kW/m<sup>2</sup> por el evento CHOF del mismo escenario, por lo cual se debe tener disponible equipo de protección personal especial para radiación térmica en la caseta.

## **4.2 ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE ESCENARIOS EN LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS**

En la evaluación de espaciamientos (Tabla 13) entre los equipos de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas, de acuerdo a la ubicación propuesta de los equipos se encontraron 14 distancias que no cumplen con los espaciamientos mínimos indicados en la NRF-010-PEMEX-2014.

Los equipos que no cumplen con las distancias mínimas fueron analizados de forma particular, considerando el estudio de Riesgos previo y descartando aquellos en los que el fluido que se maneja es principalmente agua.

Los equipos para realizar un Análisis de Consecuencias fueron: el Agotador de Agua Amarga DS-01, los Tanques TA-07X (Desfogue Ácido), TA-02 (Hidrocarburo recuperado), TG-01 (Separador de Agua Amarga) y las Bomba de Reflujo del Agotador BA-03/R.

Descripción de las consecuencias de eventos de riesgo:

Tabla 19 Consecuencias Caso Más Probable 1

Caso Más Probable 1. Fuga de Gas Ácido en línea proveniente del domo de la Torre Agotadora DS-01.	
<b>Salvuardas Prevención</b>	Válvulas PV-XXXX, PSV-XXXX y Detectores de gas H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> y Gas Combustible.
<b>Salvuardas Mitigación</b>	Estaciones de Aire de Respiración.
<b>Efectos del evento</b>	Toxicidad, se alcanzan concentraciones de 100 ppm de H <sub>2</sub> S en un radio de 85 m y de 15 ppm hasta 119 m. Para la zona con concentración de 100 ppm se recomienda que el personal utilice equipo de respiración autónoma.
<b>Recomendaciones</b>	Se sugiere colocar un par de Detectores de gas H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> en una de las plataformas intermedias de la torre DA-01.

Tabla 20 Consecuencias Caso Más Probable 2

Caso Más Probable 2. Fuga de Agua Amarga en la línea de la descarga de las bombas BA-03/R.	
<b>Salvuardas Prevención</b>	Control de Nivel (alarmas), Detectores de H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub>
<b>Salvuardas Mitigación</b>	Hidrantes Monitor.
<b>Efectos del evento</b>	Toxicidad, se alcanzan concentraciones de 100 ppm de H <sub>2</sub> S en un radio de 85 m y de 15 ppm hasta 119 m. Para la zona con concentración de 100 ppm se recomienda que el personal utilice equipo de respiración autónoma.

Tabla 21 Consecuencias Caso Alternativo 1

Caso Alternativo 1. Fuga de Desfogue Ácido en brida de salida en domo del Tanque TA-07X.	
<b>Salvuardas Prevención</b>	Control de nivel sobre las bombas BA-07/X y alarmas.
<b>Salvuardas Mitigación</b>	Hidrantes Monitor y estaciones de aire de respiración.
<b>Efectos del evento</b>	<p>Radiación por el evento CHOF, con radios de afectación de 19.67 m para 5 kW/m<sup>2</sup> y de 33.34 m para 1.4 kW/m<sup>2</sup> sin afectaciones para equipos, efectos para cuartos tripulados.</p> <p>Sobrepresión por Explosión Tardía, radios de 23.11 m para 0.5 psi.</p> <p>Toxicidad: Se alcanzaron concentraciones de H<sub>2</sub>S de 100 ppm a 111 m y de 15 ppm a los 322m. Para la zona de 100 ppm se recomienda emplear equipo de respiración autónoma.</p>

Tabla 22 Consecuencias Caso Alternativo 2

Caso Alternativo 2. Fuga de Hidrocarburo Recuperado en línea de salida del Tanque TA-02.	
<b>Salvuardas Prevención</b>	Válvula de Relevo PVSX-XXXX, alarmas por alto y bajo nivel y por baja y alta presión, Detectores de H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> y gas combustible.
<b>Salvuardas Mitigación</b>	Hidrantes Monitor, Sistema de Aspersión en TA-02 y debe considerarse la ubicación del Tanque TA-02 en una fosa, lo cual ayudaría a mitigar un posible evento.
<b>Efectos del evento</b>	Radiación, por el evento con radios de afectación de 65.41 m para 1.4 kW/m <sup>2</sup> ,

<b>Caso Alterno 2. Fuga de Hidrocarburo Recuperado en línea de salida del Tanque TA-02.</b>	
	44.49 m para 5 kW/m <sup>2</sup> , 35.39 m para 12.5 kW/m <sup>2</sup> y 28.25 m para 37.5 kW/m <sup>2</sup> . Sobrepresión, se alcanzan radios de 63.63 m para 3 psi, de 84.64 m para 1 psi y de 114.109 m para 0.5 psi.
<b>Recomendaciones</b>	Para valores superiores a 1 psi los edificios resultan dañados por lo cual se recomienda la reubicación de los edificios. Protección Pasiva en estructuras y soportes o reubicación de la Torre Agotadora DS-01. Toxicidad, no se presenta, la mezcla es inflamable.

**Tabla 23 Consecuencias Caso Alterno 3**

<b>Caso Alterno 3. Fuga de Agua Amarga en la brida de la línea de salida del Tanque TG-01.</b>	
<b>Salvuardas Prevención</b>	Válvulas PSV-XXXX, XV-XXXX, FV-XXXX, LV-XXXX y Detectores de gas H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub>
<b>Salvuardas Mitigación</b>	Estaciones de Aire de Respiración.
<b>Efectos del evento</b>	Toxicidad, concentraciones de H <sub>2</sub> S de 100 ppm a 67 m y de 15 ppm hasta los 138 m, para la zona de 100 ppm se recomienda emplear equipo de respiración autónoma.



## 5. CONCLUSIONES

Distribuir y espaciar equipos y edificios en Plantas de Proceso con sustento en la Norma de Referencia NRF-010-PEMEX-2014, permite una menor exposición al fuego, menor daño por explosión, mayor dilución de nubes de material tóxico, facilitar el acceso al equipo y maquinaria para construcción, operación, mantenimiento, inspección y extinción de incendios, con el fin de prevenir, controlar y minimizar lesiones potenciales al personal y pérdidas materiales por accidentes.

Para contar con instalaciones más seguras, protegiendo la integridad del personal y las instalaciones es necesario distribuir y espaciar los equipos considerando criterios de accesibilidad para los operadores para el mantenimiento de equipos, posibles eventos de riesgo por explosión, incendio o dispersión de materiales tóxicos, así como la localización precisa de los sistemas contra incendio.

Después de realizar el Análisis de Espaciamientos de una Planta de Tratamiento de Aguas Amargas se puede concluir lo que sigue:

- 1) Los equipos que resultan afectados como consecuencia de los eventos de riesgo en los equipos que no cumplen con distancias mínimas deben ser diseñados y protegidos tomando en cuenta los posibles efectos de sobrepresión y radiación.
- 2) Las instalaciones que resultan afectados como consecuencia de los eventos de riesgo en los equipos que no cumplen con distancias mínimas deben ser diseñadas y reforzadas tomando en cuenta los posibles efectos de sobrepresión y radiación o en la medida de lo posible, ser reubicadas.
- 3) Este análisis también incluye la revisión de las Salvaguardas y Protección Contra Incendio, es necesario tomar en cuenta las recomendaciones y

medidas compensatorias y/o mitigación para reducir de forma efectiva las consecuencias por fuego y explosión.

- 4) En el mejor de los casos y si el espacio en el que se tiene planeado construir la planta lo permite es considerable realizar una nueva distribución de los equipos de manera que salgan de los radios de afectación por radiación y sobrepresión de los eventos de riesgo y en el que se cumplan los requerimientos para distribución que indica la norma.
- 5) Los espaciamientos en la Norma no consideran la toxicidad de las sustancias, ya que, estos valores dependen de cada caso, así que es recomendable que para cualquiera de los eventos se instale equipo de Respiración Autónoma en las instalaciones tripuladas y Estaciones de Respiración en toda la planta.

En todos los casos y como salvaguarda de prevención es de vital importancia incluir tubería y detectores de gas tóxico y combustible en el Programa de Mantenimiento de la Refinería, además de atender al Plan de Emergencia para contingencia por fuga de Agua Amarga y Gas ácido.

El arreglo óptimo para una instalación o planta debe ser el que requiere por determinaciones termo-hidráulicas, una menor energía, menor área y que cumple con los espacios mínimos establecidos en esta NRF, con objeto de optimizar la construcción, operación y mantenimiento.

## 6. REFERENCIAS

- [1] PEMEX, Norma de Referencia NRF-010-PEMEX-2014 “Espaciamientos mínimos y criterios para la distribución de Instalaciones Industriales en centros de trabajo de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios” Rev. 0. 27 de Junio de 2014.
- [2] PEMEX, COMERI 144 Rev. 2 “Lineamientos para realizar Análisis de Riesgos de Proceso, Análisis de Riesgos de Ductos y Análisis de Riesgos de Seguridad Física, en Instalaciones de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios”, 10 de agosto de 2010.
- [3] PEMEX, DCO-GDOESSSPA-CT-001, Criterios Técnicos para Simular Escenarios de Riesgo por Fugas y Derrames de Sustancias Peligrosas en las Instalaciones de Petróleos Mexicanos, Rev. 1, 30 de septiembre de 2011.
- [4] PEMEX, DG-SASIPA-SI-02741 Rev. 3 “Guía para Realizar Análisis de Riesgos”, 3 de marzo de 2011.
- [5] PEMEX, Guía Técnica 800-16400-DCO-GT-75, Guías Técnicas para realizar Análisis de Riesgos de Proceso, Rev. 1, 10 de Agosto de 2012.
- [6] PEMEX, Norma de Referencia NRF-018-PEMEX-2014, Rev. 0, Análisis de Riesgos, 25 de Noviembre de 2014.
- [7] PHAST Tutorial, DNV Software Palace House, 3 Cathedral Street London SE19DE, UK.
- [8] Hoja de Datos de Seguridad H<sub>2</sub>S (Ácido Sulfhídrico), INFRA, S.A. de C.V. Junio de 2015
- [9] Hoja de Datos de Seguridad NH<sub>3</sub> (Amoniaco), INFRA, S.A. de C.V. Junio de 2015.

[10] García Mendoza, Julieta, 2011, Tesis Licenciatura: “Análisis Comparativo de las Consecuencias de Accidentes de Proceso en la Industria Química, Mediante Phast y Excel”, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Febrero del 2011.

[11] Jiménez Rico, Tania, 2005, Tesis Licenciatura “Aplicación de las Técnicas HazOp, Análisis de Consecuencias y Análisis por Árbol de Fallas para la identificación y Evaluación de los Riesgos en una Planta de Aguas Amargas de una Refinería”, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

[12] Reyes García, Octavio, 2013, Tesis de Maestría “Análisis de consecuencias para explosiones semi confinadas e incendios tipo chorro”, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería.

[13] Aguilar Rogelio, Medina Areli, 2013, Tesis Licenciatura “Análisis de Consecuencias de un Gasoducto utilizando el Software Comercial PHAST”, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Septiembre, 2013.

[14] Llanes Salomón, Ojeda Manuel, 2001, “Análisis de Riesgo Industrial”, Centro de Estudios Gerenciales ISID, Caracas, Venezuela, 2ª. Edición, 202 pág.

[15] Villafañe Santander, Diana, 2013, Tesis Doctoral “Estudio de la dispersión e incendio de nubes inflamables de gas (GNL y GLP), Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2013.

[16] Occupational Safety and Health Administration (OSHA), The Philips 66 Company Houston Chemical Complex Explosion and Fire, OSHA, U.S. Department of Labor, Washington, D.C., 1990.

[17] Fullwood, R.”Probabilistic Safety Assessment in the Chemical and Nuclear Industries”, Butterworth Heineman, 1998.

[18] Página web PEMEX Refinación, 07 de enero de 2016, <http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=content&sectionID=11&catID=19>,

- [19] Redacción, “La explosión en Amuay es considerada la más grave del mundo en los últimos 25 años”, Noticias24/Venezuela, Caracas, 26 de agosto de 2012. <http://www.noticias24.com/venezuela/noticia/122871/la-explasion-en-amuay-es-considerada-la-mas-grave-del-mundo-en-los-ultimos-25-anos/>
- [20] Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, DOF-04-06-2012, 28 de enero de 1998.
- [21] BBC News, “Huge blast rocks Kuwait refinery”, BBC News Online, 25 de Junio de 2000, [http://news.bbc.co.uk/2/hi/middle\\_east/805057.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/middle_east/805057.stm)
- [22] Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Process Safety Management, Safety and Health Topics, U.S. Department of Labor, Washington, D.C, 14 de enero de 2016, <https://www.osha.gov/SLTC/processsafetymanagement/>
- [23] API, 2008, API 580/581 “Risk Based Inspection Technology”, American Petroleum Institute, 2<sup>ND</sup> Edition, September 2008.
- [24] PEMEX, Norma de Referencia NRF-065-PEMEX-2014 “Recubrimiento a Prueba de Fuego en Estructuras y Soportes de Equipos”, Rev.1. 27 de junio de 2014.
- [25] API, 2013, API 2218 “Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants”, Third Edition, July 2013.
- [26] Yellow book CPR 14E, Methods for the Calculation of Physical Effects, Gevaarlijke Stoffen, Third edition Second revised 2005.
- [27] Melani L. Sochet I. Rocourt X., Jallais S. “Review of methods for estimating the overpressure and impulse resulting from a hydrogen explosion in a confined/obstructed volume. ENSI de Bourges, PRISME Institute, 2009.
- [28] Página WEB National Fire Protection Association Codes & Standards, NFPA, <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/document-information-pages>, 2016.
- [29] NOM-018-STPS-2015, “Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos de sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo”, D.O.F., 09 de Octubre de 2015.

[30] Environmental Protection Agency (EPA), Why Accidents Occur: Insight from the Accidental Release Information Program, EPA, Chemical Accident Prevention Bulletin, Washington D.C., 1989.

[31] PEMEX, Manual del SIASPA "Política de Seguridad Industrial y Protección Ambiental de Petróleos Mexicanos.", Rev. 0.

# ANEXOS

## DEFINICIONES

**Accidente:** El evento que ocasiona afectaciones, daños o perjuicios en las personas o sus bienes; en los bienes propiedades de la Nación; en los equipos e instalaciones; en los sistemas; Procesos Operativos; la pérdida o diferimiento de la producción de hidrocarburos; el transporte, almacenamiento y distribución de petróleo, gas y productos que se obtengan de su refinación o procesamiento y que deben ser reportados e investigados para establecer las medidas preventivas y correctivas que eviten su recurrencia.

**Área de Riesgo de Fuego:** Área donde potencialmente puede haber fuego, en el cual el combustible está configurado en la flama es superficial y flotante.

**BOLF:** Bola de fuego. El evento de bola de fuego resulta de la ignición de una mezcla líquido/vapor inflamable y sobrecalentada que es descargada a la atmósfera. El evento bola de fuego ocurre frecuentemente seguido a una Explosión de Vapores en Expansión del Líquido en Ebullición (BLEVE).

**Bombas de peligro intermedio:** Las que manejan líquidos inflamables o combustibles cuyas condiciones de operación están por debajo de las establecidas para bombas de alto peligro a 260 °C y 35 kg/cm<sup>2</sup> (498 psi)

**Cambiadores de calor de peligro intermedio:** Equipos para transferencia de calor que manejan líquidos inflamables o combustibles a temperaturas menores que la de auto ignición del producto.

**Caso Alterno:** Es el evento creíble de una liberación accidental de un material o sustancia peligrosa que es simulado, pero que no corresponde al peor caso ni al caso más probable.

**CHAF:** Charco de fuego. Flama superficial flotante en la cual el combustible está configurado horizontalmente.

**CHOF:** Chorro de fuego (Jet Fire). Fuga en un sistema presurizado que enciende y forma un chorro de flama ardiente que puede chocar con otro equipo, tubería, estructura, elemento de la infraestructura causando daño a estos. La aparición de fuga que entre en contacto con una fuente de ignición puede resultar en la formación de un incendio con altos flujos de calor, extremadamente turbulento y erosivo.

**Consecuencias:** Efectos que pueden causar eventos o accidentes que involucran fugas y derrames de sustancias tóxicas o explosivas.

**Escenario de riesgo:** Determinación de un evento hipotético, en el cual se considera la ocurrencia de un accidente bajo condiciones específicas, definiendo mediante la aplicación de modelos matemáticos y criterios acordes a las características de los procesos y/o materiales, las zonas potencialmente afectables.

**Explosión:** Expansión violenta de gases que se produce por una reacción química o un efecto físico, de algunos materiales que dan lugar a fenómenos acústicos, térmicos y mecánicos.

**Explosión Tardía:** Ocurre viento debajo de la emisión.

**Explosión Temprana:** Ocurre en el origen de la emisión, esto es lo más común para emisiones instantáneas.

**Ingeniería de detalle:** Diseño final que incluye los planos finales de detalle para construcción, los cuales son preparados con base en los diagramas de los arreglos generales terminados durante la fase de ingeniería básica.

**Instalaciones Industriales:** Tuberías y accesorios, equipos de proceso y servicios como tanques, bombas, llenaderas, descargaderas, subestaciones eléctricas, centros de control, entre otros; destinados a la extracción, recolección, transporte y distribución en proceso, procesamiento y/o almacenamiento de hidrocarburos y productos petroquímicos.

**Límite de batería:** Frontera donde inicia o termina un área en cuyo interior, se encuentra la totalidad del equipo requerido para operar una planta de proceso,



planta de servicios principales o cualquier otra instalación. Generalmente lo conforma una calle o una frontera física reconocida.

**Líquido Inflamable:** Cualquier tipo de producto cuyo punto de inflamación sea menor de 37.8°C y tenga una presión de vapor que no exceda de 274,586 kPa (2,8 kfg/cm<sup>2</sup>)

**Líquido combustible:** Cualquier producto cuyo punto de inflamación sea de 37,8°C o más alto.

**Medidas compensatorias:** Sistemas requeridos que son adicionales a los establecidos en la normativa técnica aplicable, resultantes de los análisis de consecuencias, conforme con la ingeniería que se está desarrollando. Cuando se activan interfieren en la propagación del incidente o reducen sus consecuencias.

**Mitigación:** Conjunto de actividades o medidas, destinadas a disminuir los efectos adversos, originados por la ocurrencia de un accidente.

**Peligro:** Toda condición física o química que tiene el potencial de causar daño al personal, a las instalaciones o al ambiente.

**Prevención:** Conjunto de medidas tomadas para evitar un peligro o reducir un riesgo.

**Protección pasiva contra fuego:** Es una barrera, recubrimiento u otra salvaguarda la cual provee protección contra el calor de un fuego sin ninguna intervención adicional.

**Riesgo:** Combinación de la probabilidad de que ocurra un accidente y sus consecuencias.

**Simulación:** Representación de un evento o fenómeno por medio de sistemas de cómputo, modelos físicos o matemáticos u otros medios, para facilitar su análisis.

**Sustancias químicas peligrosas:** Aquellos compuestos que por sus propiedades físicas y químicas, al ser manejados, transportados, almacenados o procesados presentan la posibilidad de riesgo a la salud, de inflamabilidad, de reactividad o

especiales y pueden afectar la salud de las personas expuestas o causar daños materiales a las instalaciones.

**Viento reinante:** Movimiento del aire en la atmósfera, que sopla en una dirección y velocidad con mayor frecuencia a través de una región en particular, durante la mayor parte del año y sin llegar a ser el de mayor intensidad.

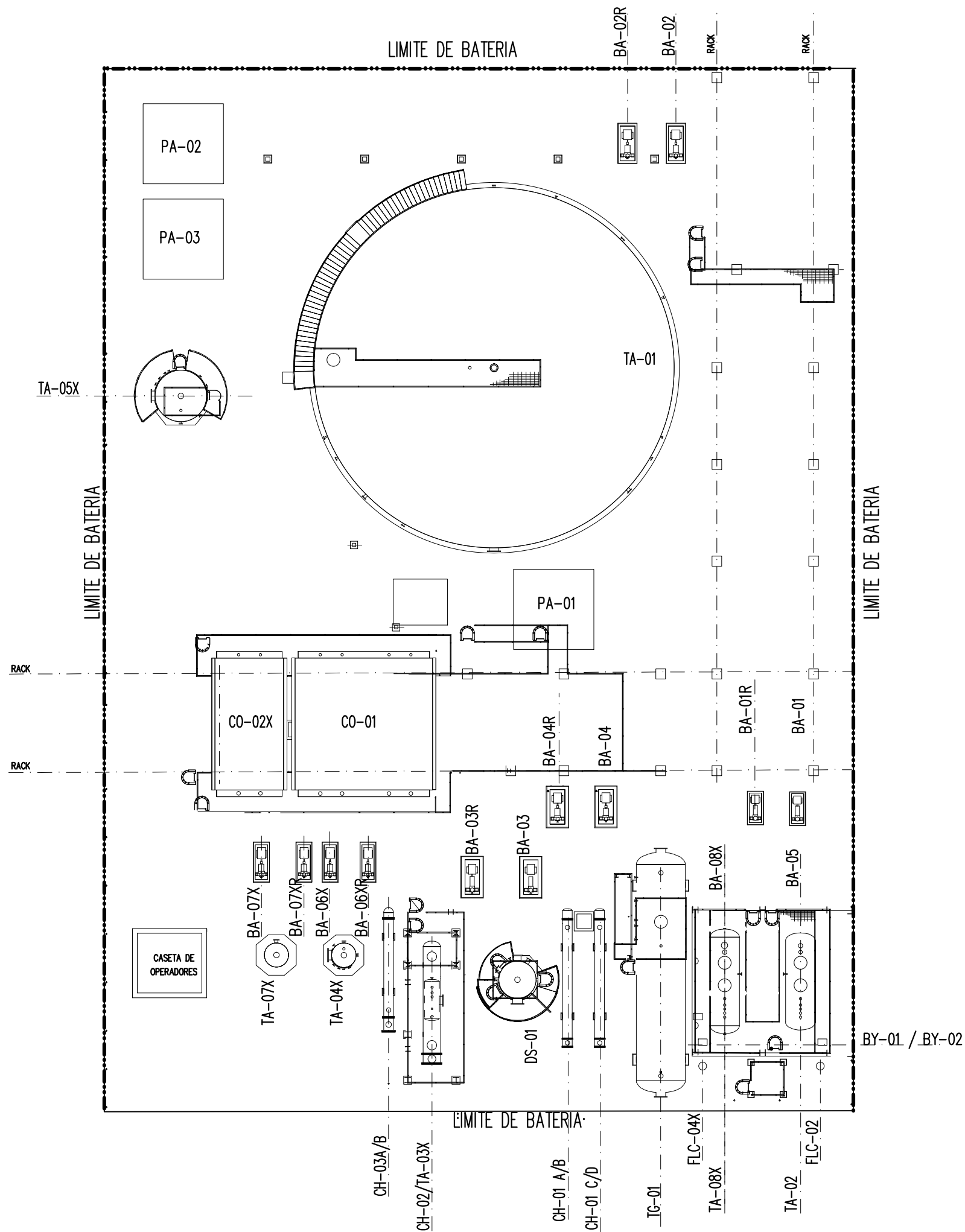
**Viento arriba:** Dirección del viento reinante con respecto a la instalación o equipo de referencia.

**Zona de amortiguamiento:** Área donde pueden permitirse determinadas actividades productivas que sean compatibles, con la finalidad de salvaguardar a la población y al ambiente restringiendo el incremento de la población afectada.

**Zona de riesgo:** Área de restricción total en la que no se debe permitir ningún tipo de actividad, incluyendo asentamientos humanos, agricultura con excepción de actividades de forestación, cercamiento y señalamiento de la misma, así como el mantenimiento y vigilancia. .

*Referencias: 1, 3, 4, 5, 7, 24*

## **ARREGLO DE LOCALIZACIÓN DE EQUIPOS DE LA PLANTA DE AGUAS AMARGAS**



### LISTA DE EQUIPO

TORRES	
DS-01	AGOTADOR DE AGUA AMARGA
INTERCAMBIADOR DE CALOR	
CH-01 A-D	PRECALENTADOR DE CARGA / FONDOS DEL AGOTADOR
CH-02	REHERVIDOR DEL AGOTADOR
CH-03 A-B	ENFRIADOR DE FONDOS DEL AGOTADOR
ENFRIADORES CON AIRE	
CO-01	ENFRIADOR DE REFLUJO DEL AGOTADOR
CO-02X	ENFRIADOR DE CONDENSADO ACEITOSO
RECIPIENTES	
TC-01	TANQUE SEPARADOR DE AGUA AMARGA
TA-02	TANQUE DE HIDROCARBURO RECUPERADO
TA-03X	TANQUE ACUMULADOR DE CONDENSADO ACEITOSO
TA-04X	TANQUE DE CONDENSADO ACEITOSO
TA-05X	TANQUE ACUMULADOR DE AIRE DE INSTRUMENTOS
TA-07X	TANQUE DE DESFOGUE ACIDO
TA-08X	TANQUE ACUMULADOR DE PURGAS Y VACIADO
FILTROS	
FLC-02	FILTRO DE CARBON PARA FA-02
FLC-03	FILTRO DE CARBON PARA FB-01
FLC-04X	FILTRO DE CARBON PARA FA-08X
BOMBAS	
BA-01/R	BOMBA DE TRANSFERENCIA DE AGUA AMARGA
BA-02/R	BOMBA DE ALIMENTACION DE AGUA AMARGA
BA-03/R	BOMBA DE REFLUJO DEL AGOTADOR
BA-04/R	BOMBA DE FONDO DEL AGOTADOR
BA-05	BOMBA DE HIDROCARBURO RECUPERADO
BA-07X/XR	BOMBA DE RECUPERADO DE DESFOGUE
BA-08X/XR	BOMBA DE AGUA AMARGA DE PURGAS Y VACIADO
BA-06X/XR	BOMBA DE CONDENSADO ACEITOSO
TANQUES	
TA-01	TANQUE DE AGUA AMARGA
EYECTORES	
BY-01	EYECTOR DE LA FOSA DEL TANQUE DE HIDROCARBURO RECUPERADO
BY-02	EYECTOR DE LA FOSA DE PURGAS Y VACIADO
PAQUETES	
PA-01X	PAQUETE DE FILTRACION
PA-04X	PAQUETE DE AIRE DE INSTRUMENTOS
PA-05X	PAQUETE DE AIRE DE AIRE DE PLANTA
FOSAS	
TC-01	FOSA DE TANQUE DE ACEITE DE RECUPERADO ACEITOSO
TC-02X	FOSA DE PURGAS Y VACIADO

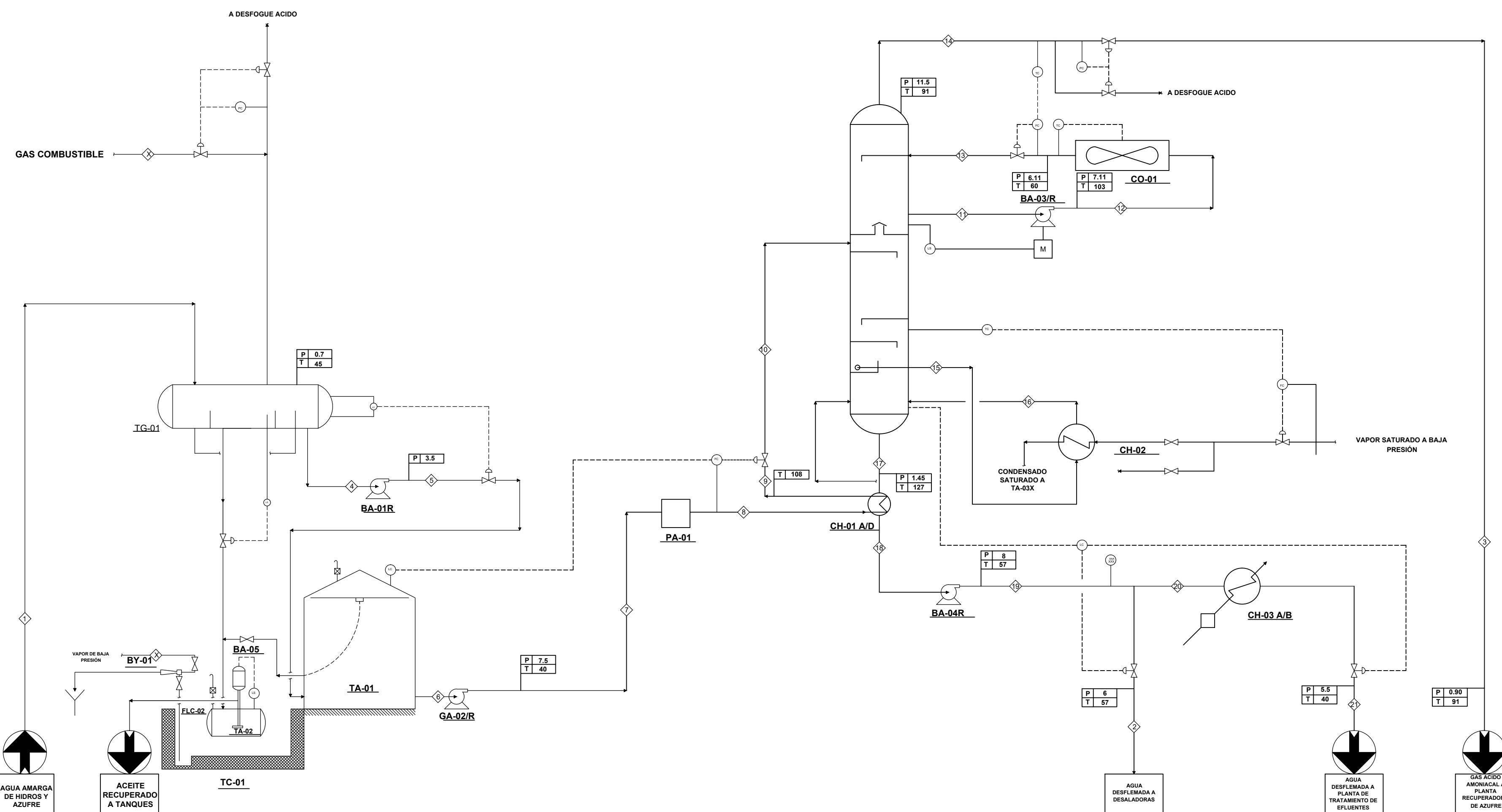
ARREGLO DE LOCALIZACIÓN DE EQUIPOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS

## **DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PLANTA DE AGUAS AMARGAS**

CORRIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
FASE	LIQUID	LIQUID	VAPOR	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID	MIXED	LIQUID	LIQUID	LIQUID	VAPOR	LIQUID	MIXED	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID	
COMPONENTE	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	
ACIDO SULFHDICO	1.7000	0.0002	44.3559	1.7000	1.7000	1.7000	1.7000	1.7000	1.7000	1.7000	2.8595	2.8595	2.8595	44.3559	0.0006	0.0006	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	
AMONIACO	1.2000	0.0020	31.2626	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	5.9761	5.9761	5.9761	31.2626	0.0048	0.0048	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	
AGUA	97.100	99.9978	24.3815	97.1000	97.1000	97.1000	97.1000	97.1000	97.1000	97.1000	91.1644	91.1644	91.1644	24.3815	99.9946	99.9946	99.9978	99.9978	99.9978	99.9978	99.9978	
FLUJO MOLAR kgmol/h	3605	3,492	113	3,605	3,605	3,605	3,605	3,605	3,605	3,605	5,819	5,819	5,819	113	4,165	4,165	3,492	3,492	3,492	3,492	3,492	
FLUJO TOTAL kg/h	65,415	62,908	2,507	65,415	65,415	65,415	65,415	65,415	65,415	65,415	105,888	105,888	105,888	2,507	75,041	75,041	62,908	62,908	62,908	62,908	62,908	
PESO MOLECULAR	18.15	18.02	22.27	18.15	18.15	18.15	18.15	18.15	18.15	18.15	18.20	18.20	18.20	22.27	18.02	18.02	18.02	18.02	18.02	18.02	18.02	
PRESIÓN kg/cm2 man	2.50	6	0.90	0.70	3.50	0.001	7.50	6.00	5.30	1.25	1.19	7.11	1.45	1.15	1.43	1.45	1.45	0.75	8.00	8.00	8.00	5.50
TEMPERATURA, °C	45	56.64	91	45	45	40	40	40	108	107	103	103	60	91	126	127	127	56.33	56.64	56.64	40	
DENSIDAD a P, T kg/m3	972.86	982.15	1.41	972.86	972.81	975.50	975.33	975.33	914.32	261.24	858.81	858.53	924.61	1.59	938.32	8.24	938.16	982.30	982.15	982.15	989.40	

### Lista de Equipo

- CLAVE \_\_\_\_\_ SERVICIO \_\_\_\_\_
- TORRES**
- DS-01 AGOTADOR DE AGUA AMARGA
- INTERCAMBIADORES DE CALOR**
- CH-01 A-D PRECALENTADOR DE CARGA/FONDOS DEL AGOTADOR
- H-02 REHERVIDOR DEL AGOTADOR
- CH-03 A-B ENFRIADOR DE FONDOS DEL AGOTADOR
- ENFRIADORES CON AIRE**
- CO-01 ENFRIADOR DE REFLUJO DEL AGOTADOR
- RECIPIENTES**
- TG-01 TANQUE SEPARADOR DE AGUA AMARGA
- TA-02 TANQUE DE HIDROCARBURO RECUPERADO
- FOSAS**
- TC-01 FOSA DE TANQUE DE HIDROCARBURO RECUPERADO
- FILTROS**
- FLC-02 FILTRO DE CARBON DEL TANQUE DE HIDROCARBURO RECUPERADO
- FLC-03 FILTRO DE CARBON DEL TANQUE DE AGUA AMARGA
- BOMBAS**
- BA-01/R BOMBA DE TRANSFERENCIA DE AGUA AMARGA
- BA-02/R BOMBA DE ALIMENTACION DE AGUA AMARGA
- BA-03/R BOMBA DE REFLUJO DEL AGOTADOR
- BA-04/R BOMBA DE FONDO DEL AGOTADOR
- BA-05 BOMBA DE HIDROCARBURO RECUPERADO
- TANQUES**
- TA-01 TANQUE DE AGUA AMARGA
- EYECTORES**
- BY-01 EYECTOR DE LA FOSA DEL TANQUE DE HIDROCARBURO RECUPERADO
- PAQUETES**
- PA-01 PAQUETE DE FILTRACION



**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO**