

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Química y Textil



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Cualificación, cuantificación y mitigación de riesgos en una planta de abastecimiento de combustibles

Para obtener el título profesional de Ingeniero Químico.

Elaborado por

Agustín Manuel Carrasco Rodríguez

 [0009-0005-3906-1550](https://orcid.org/0009-0005-3906-1550)

Asesor

MSc. Emilio Fermín Porras Sosa

 [0000-0003-3227-6522](https://orcid.org/0000-0003-3227-6522)

LIMA – PERÚ

2023

Citar/How to cite	Carrasco Rodríguez [1]
Referencia/Reference	[1] A. M. Carrasco Rodríguez, “Cualificación, cuantificación y mitigación de riesgos en una planta de abastecimiento de combustibles” [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Carrasco Rodríguez, 2023)
Referencia/Reference	Carrasco Rodríguez, A. M. (2023). Cualificación, cuantificación y mitigación de riesgos en una planta de abastecimiento de combustibles. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a mis padres Nancy Rodríguez y Manuel Carrasco y para mis hermanos Jean, Julio y Ángela.

Agradecimientos

Primeramente agradezco a Dios por la oportunidad diaria de la vida, la salud y el trabajo, a mi familia por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, a mis amigos, y compañeros por sus enseñanzas, recomendaciones y desafíos que lograron en mí ser un mejor profesional.

Resumen

El presente trabajo muestra el Análisis de Riesgo de una Planta de Abastecimiento de Combustibles, consta de una primera etapa en donde se realiza el Análisis Cualitativo de Riesgos por medio de la metodología What-If, aquí se identifican los peligros y se evalúan los riesgos para cada uno de los sistemas y nodos de las instalaciones de procesos, esta evaluación nos da como resultado la magnitud del riesgo, pudiendo ser esta un Riesgo Aceptable, Riesgo Tolerable o Riesgo No Aceptable. Luego de la evaluación, los escenarios mayor complejidad de análisis, como incendios, explosiones, y los de mayor riesgo pasan a una segunda etapa más exhaustiva en donde se realiza el Análisis de Riesgo Cuantitativo, aquí se emplearan modelos matemáticos como por ejemplo el Análisis de Árbol de Fallas y el Análisis de Árbol de Eventos, los modelos Probit, el modelo Pool Fire Solid Plume y el modelo Multi-energía. Las frecuencias y consecuencias de los escenarios evaluados cuantitativamente se realizan antes y después de las medidas de mitigación y nos darán como resultado un nivel de Riesgo Económico, un Riesgo Individual Total y un Riesgo Colectivo Social, esto nos permite hacer algunas conclusiones, como por ejemplo, la Planta posee un nivel de Riesgo Tolerable, no cuenta con el volumen mínimo requerido de agua y concentrado de espuma contra incendios. Adicionalmente se recomienda establecer un cronograma de implementación de medidas de mitigación del riesgo.

Palabras Clave — Riesgo, escenario, probabilidad, frecuencia, radiación térmica.

Abstract

The present work shows the Risk Analysis of a Fuel Supply Plant, it consists of a first stage where the Qualitative Risk Analysis is carried out through the What-If methodology, here the dangers are identified and the risks are evaluated for each systems and nodes of the process facilities, this evaluation gives us as result the risk magnitude, to this form obtain an Acceptable Risk, Tolerable Risk or Unacceptable Risk. After the evaluation, the most scenarios analysis complex, such as fires, explosions, and those with the highest risk, go to a second, more exhaustive stage where the Quantitative Risk Analysis is carried out mathematical models such as the Fault Tree Analysis and the Event Tree Analysis, the Probit models, the Pool Fire Solid Plume model and the Multi-energy model. The frequencies and consequences of the quantitatively evaluated scenarios are make before and after of mitigation measures and will give us as a result a level of Economic Risk, a Total Individual Risk and a Social Collective Risk, this allow us to make some conclusions, like for example, the Plant has a Tolerable Risk level, doesn't have the minimum required volume of water and foam against fires. Additionally, it is recommended a timeline for the implementation of risk mitigation measures.

Keywords — Risk, scenario, probability, frequency, thermal radiation.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Introducción	xiii
Capítulo I. Datos generales de las empresas	1
1.1 Sector industrial al que pertenece la empresa seleccionada.....	2
1.2 Líneas de servicios.....	2
1.3 Cultura organizacional	3
1.3.1 Visión	3
1.3.2 Misión.....	3
1.3.3 Valores	3
1.3.4 Políticas.....	4
1.3.5 Principios para el logro de calidad	4
1.4 Organigrama funcional de la empresa.....	5
1.5 Normatividad empresarial.....	7
1.6 Sistema de seguridad industrial	9
1.7 Gestión de impactos ambientales.....	10
Capítulo II. Cargos y funciones desarrolladas	11
2.1 Cargos dentro de la organización	11
2.2 Responsabilidades según procedimientos internos de la empresa.....	11
2.3 Personal a su cargo y sus responsabilidades.....	13
2.4 Función ejecutiva y/o administrativa.....	13
Capítulo III. Actividades desarrolladas.....	14
3.1 Conocimientos técnicos de su especialidad requeridos para el cumplimiento de sus funciones	14

3.2 Informes o reportes presentados como resultados de las actividades realizadas.....	16
3.3 Actividades de investigación o innovación realizadas como bachiller	18
3.4 Participación en unidades o grupos de seguridad industrial.....	18
Capítulo IV. Cronograma de realización de las actividades	20
Capítulo V. Formación técnica profesional	21
5.6.1. Determinación de los Escenarios de Riesgo	99
5.6.2. Cálculos que determinan las consecuencias y frecuencias de los escenarios.....	102
5.6.3. Cálculo de requerimiento mínimo de agua y concentrado de espuma ..	113
5.6.4. Estimación de los costos de afectación	113
Capítulo VI. Actividades complementarias	120
6.1 Actividades de investigación o innovación realizadas como bachiller	120
6.2 Participación en unidades o grupos de seguridad industrial.....	120
6.3 Actividades de representación de la empresa	120
6.4 Otras actividades complementarias.....	121
Capítulo VII. Contribuciones al desarrollo de la empresa.....	122
Conclusiones	123
Recomendaciones	125
Referencias bibliográficas.....	128
Anexos.....	131

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Cronograma de realización de actividades.....	20
Tabla 2: Algunos principales accidentes y sus daños	23
Tabla 3: Información típica disponible para el análisis de riesgo	33
Tabla 4: Niveles de la severidad y de la frecuencia	40
Tabla 5: Valores de los niveles de frecuencia de eventos iniciadores (cualitativos)	41
Tabla 6: Niveles de reducción de frecuencia de eventos iniciadores (cualitativos).....	42
Tabla 7: Niveles de la severidad de las consecuencias (cualitativos)	43
Tabla 8: Matriz de riesgo cualitativa	44
Tabla 9: Calificación de la magnitud del riesgo	44
Tabla 10: Plantilla What-If.....	48
Tabla 11: Equivalencia del valor Probit Pr y el porcentaje de afectación a la población ...	58
Tabla 12: Criterios referenciales de evaluación de radiación térmica	63
Tabla 13: Criterios referenciales de evaluación en caso de explosión	63
Tabla 14: Descripción de los símbolos de árbol de fallas.....	66
Tabla 15: Selección de reglas del álgebra de Boolean	68
Tabla 16: Probabilidad de eventos	70
Tabla 17: Matriz cuantitativa de riesgo económico.....	79
Tabla 18: Características de las bombas de transferencia de productos	85
Tabla 19: Características de los tanques de almacenamiento de combustibles	86
Tabla 20: Parámetros meteorológicos (años 2014 y 2015).....	88
Tabla 21: Propiedades fisicoquímicas del petróleo industrial 6.....	88

Tabla 22: Propiedades fisicoquímicas del turbo A1.....	88
Tabla 23: Propiedades fisicoquímicas del diesel B5	89
Tabla 24: Propiedades fisicoquímicas de gasolina 90.....	89
Tabla 25: Propiedades fisicoquímicas de gasolina 84.....	89
Tabla 26: Propiedades fisicoquímicas del alcohol carburante.....	90
Tabla 27: Propiedades fisicoquímicas del biodiesel B100.....	90
Tabla 28: Escenarios de riesgo	100
Tabla 29: Distancia de efectos por casos de escenarios de incendio	103
Tabla 30: Niveles de daño a ciertas distancias por cada caso de escenario de explosión	107
Tabla 31: Distancias desde escenarios de explosión que causan daño a personas	109
Tabla 32: Resumen de frecuencias de ocurrencia de los escenarios de riesgo	110
Tabla 33: Requerimiento mínimo de agua y concentrado de espuma contra incendios .	113
Tabla 34: Cronograma de implementación de las medidas de mitigación	116

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Organigrama de la empresa CE&A	6
Figura 2: Técnicas típicas usadas para evaluación de riesgos	33
Figura 3: Proceso general del análisis cualitativo de riesgos	36
Figura 4: Proceso general del análisis cuantitativo de riesgos	37
Figura 5: Estructura de desglose de riesgos	38
Figura 6: Factor de vista geométrico - modelo solid plume	53
Figura 7: Esquema de evaluación de radiación tipo pool fire modelo solid plume	54
Figura 8: Pico de sobre presión de un explosión con el modelo multienergía	56
Figura 9: Duración de la fase positiva y forma de la explosión con el modelo multienergía	57
Figura 10: Ejemplo de diagrama de árbol de falla de elementos críticos	65
Figura 11: Análisis de árbol de eventos para el caso de liberación de vapor	69
Figura 12: Análisis de árbol de eventos para el caso de liberación de líquido	69
Figura 13: Probabilidad de ignición para vapores	71
Figura 14: Probabilidad de ignición para líquidos	71
Figura 15: Contornos de riesgos individuales totales	73
Figura 16: Criterios de aceptación de riesgo individual (Fatalidades por año)	74
Figura 17: Curva F-N de riesgo colectivo/social	76
Figura 18: Criterios de aceptación de riesgo social (Curva F-N)	77
Figura 19: Metodología de estimación de costos de afectación a la infraestructura	80
Figura 20: Metodología de estimación de costos de afectación social	81

Figura 21: Etapas para la estimación de costos de afectación ambiental	82
Figura 22: Red del sistema contra incendios de las instalaciones	84
Figura 23: Recepción de productos.....	92
Figura 24: Despacho de productos.....	94
Figura 25: Mezcla en línea para obtener diesel B5	95
Figura 26: Mezcla en línea para obtener gasohol 84/90	96
Figura 27: Transferencia de slop desde separador API	97
Figura 28: Transferencia de slop desde tanque T-1.....	98

Introducción

La industria de los hidrocarburos en el Perú y el mundo tienen un proceso de desarrollo constante, incrementando capacidades, actualizando tecnologías y procesos para el bienestar de los consumidores de los productos derivados de esta industria y también para el bienestar y seguridad de los trabajadores en las diversas instalaciones en donde se manipulan hidrocarburos. La peligrosidad de las operaciones en las plantas de abastecimiento de combustible es relevante ya que en estas se reciben, almacenan y se distribuyen grandes cantidades de hidrocarburos, es por ello el énfasis del presente trabajo en mostrar los riesgos asociados a sus diversas actividades y como impactarían a las personas, las instalaciones y el medio ambiente. Para esto se desarrolla un primer Análisis Cualitativo, mediante la metodología What-If, de todos los escenarios de riesgo identificados, posteriormente se desarrolla un Análisis Cuantitativo de los riesgos mayores o de mayor complejidad, y finalmente se recomienda una serie de medidas que ayudarán a mitigar los niveles de riesgos identificados en los análisis realizados.

Los riesgos son diversos y entre los más conocidos tenemos a los incendios, explosiones, dispersiones tóxicas al medio ambiente y derrames de hidrocarburos. Justamente respecto de éste último tipo de riesgo, el 15 de enero del 2022 el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), reportó un derrame de alrededor de 6000 barriles de hidrocarburo, sobre el mar de Ventanilla (Callao) al frente de la refinería La Pampilla, propiedad de la compañía Repsol, este derrame ha causado muchos perjuicios al medio ambiente, a los bañistas y pescadores, así como también de la propia compañía que habría causado el derrame.

Capítulo I. Datos generales de las empresas

Como bachiller en Ingeniería Química laboré en las siguientes empresas y las muestro en orden cronológico:

- Razón social: Consultoría Energética & Ambiental S.A.C.

RUC: 20509702561

Dirección: Ca. Venus 922, Urb. La Luz, Lima 1 - Perú

Teléfono: (+51) 994-568 787

Página Web: www.ceyasac.com

Periodo: Desde el 05 de abril hasta el 05 de octubre del 2013 y desde el 25 de mayo del 2014 hasta el 30 de septiembre del 2016

- Razón social: INSPECTRA S.A.

RUC: 20302083666

Dirección: Av. Guardia Civil 686, Urb. Corpac, Lima 27 - Perú

Teléfono: (+511) 611-8300

Página Web: www.inspectra Peru.com

Periodo: Desde el 03 de octubre del 2016 hasta el 28 de febrero del 2018

- Razón social: Ingeniería y Desarrollo Tecnológico del Perú S.A.C.

RUC: 20511450544

Dirección: Jr. Combate de Angamos 123, Urb. Cercado, Lima 33 - Perú

Teléfono: (+511) 247-1624

Página Web: www.idetec.pe

Periodo: Desde el 04 de abril hasta el 22 de junio 2019

- Razón social: CUMBRA Ingeniería S.A. (antes GMI S.A. Ingenieros Consultores)

RUC: 20100356270

Dirección: Av. Petit Thouars 4957, Lima 18 - Perú

Teléfono: (+511) 213-0502

Página Web: www.cumbraingenieria.com.pe

Periodos: Desde el 09 de diciembre del 2019 al 30 de junio del 2020, desde el 24 de agosto del 2020 al 30 de octubre del 2021, y desde el 03 de octubre al 31 de mayo del 2023.

- Razón social: CUMBRA Perú S.A.

RUC: 20100154057

Dirección: Av. Petit Thouars 4957, Lima 18 - Perú

Teléfono: (+511) 213-0502

Página Web: www.aenza.com.pe

Periodo: Desde el 17 de noviembre del 2021 hasta el 15 de septiembre del 2022

1.1 Sector industrial al que pertenece la empresa seleccionada

De mis actividades profesionales como bachiller selecciono la experiencia que obtuve con la empresa Consultoría Energética & Ambiental S.A.C. (CE&A) la cual brinda servicios de asesoramiento, desarrollo y elaboración de proyectos de ingeniería, medio ambiente, seguridad industrial y salud ocupacional para el sector hidrocarburos. Según clasificación CIIU Rev. 04 (Clasificación Industrial Internacional Uniforme), establecida por el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), la empresa CE&A pertenece a los siguientes sectores económicos:

- Principal: CIIU N° 7020 “Actividades de Consultoría de Gestión”
- Secundaria: CIIU N° 7110 “Actividades de Arquitectura e Ingeniería y Actividades Conexas de Consultoría Técnica”

1.2 Líneas de servicios

Dentro de CE&A me desempeñé desarrollando consultorías para Proyectos de Ingeniería (Ing. Conceptual, Ing. Básica e Ing. de detalle) y elaborando Instrumentos de Gestión de Seguridad (IGS) como Estudios de Riesgos y Planes de Contingencia; sin embargo, la empresa también brinda otros tipos de servicios y los muestro a continuación:

- Instrumentos de Gestión Ambiental (IGA).
- Proyectos de estudios de Eficiencia Energética.
- Proyectos de Evaluación de la Calidad de Energía Eléctrica.
- Proyectos de Implementación de sistemas de Gestión Integral de Energía.
- Proyectos de estudios de Factibilidad, estudios de mercado.
- Gestión de integridad de recipientes y tuberías.
- Supervisión en la ejecución de proyectos.
- Obtención de permisos ante la autoridad competente.

1.3 Cultura organizacional

1.3.1 Visión

En mi experiencia dentro de la empresa CE&A pude percibir su Visión la cual era, ser la empresa consultora líder en el asesoramiento, desarrollo y elaboración de proyectos de ingeniería, medio ambiente, seguridad industrial y salud ocupacional para el sector hidrocarburos a nivel nacional.

1.3.2 Misión

En mi experiencia dentro de la empresa CE&A pude percibir su Misión la cual era satisfacer con creces las necesidades y expectativas de los clientes, desarrollando y ejecutando servicios, con los más altos estándares de calidad, medio ambiente, seguridad industrial y salud ocupacional, para lo cual contamos con un grupo humano multidisciplinario y especializado, el cual cuenta con valores de responsabilidad y de servicio social.

1.3.3 Valores

En mi experiencia dentro de la empresa CE&A pude conocer los valores principales de trabajos multidisciplinarios que son los soportes de la organización y son los siguientes:

Honestidad. Usar la verdad como herramienta para ganar la confianza y credibilidad de los clientes.

Calidad. Los servicios deben cumplir con los estándares establecidos y prometidos según correspondan.

Puntualidad. Tener especial consideración con el tiempo de los clientes, proveedores, empleados y socios en casos de reuniones, plazos de entregas y pagos.

Competitividad. Ser la mejor empresa del rubro exige lo mejor de cada uno. Cuando esto sucede, la motivación nunca falta y el crecimiento es una consecuencia natural.

Trabajo en equipo. La organización de equipos de trabajo surge como una necesidad importante en ambientes multidisciplinarios en donde la tolerancia, respeto y la consideración son fundamentales.

Responsabilidad Social. Realización de acciones de carácter colectivo para hacer que sus recursos generen beneficios a personas que no necesariamente establecen una relación de consumo directo de los servicios que brinda la empresa.

1.3.4 Políticas

CE&A tiene como guía una política de la calidad en sus servicios, y para implementar esta política, desarrolló y certificó en el 2015 su Sistema de Gestión de la Calidad ISO-9001, teniendo como certificadora a la empresa SGS del Perú S.A.C.

1.3.5 Principios para el logro de calidad

Como parte de mi experiencia en CE&A pude conocer los principios más importantes para lograr la misión de satisfacer con calidad los requerimientos de los clientes y son los siguientes:

- **Enfoque al cliente:** La empresa no sólo se esfuerza por conocer las necesidades y expectativas de sus clientes, sino que ofrece diferentes soluciones mediante los servicios y gestiones que brinda, de esta manera superar las expectativas en los

proyectos.

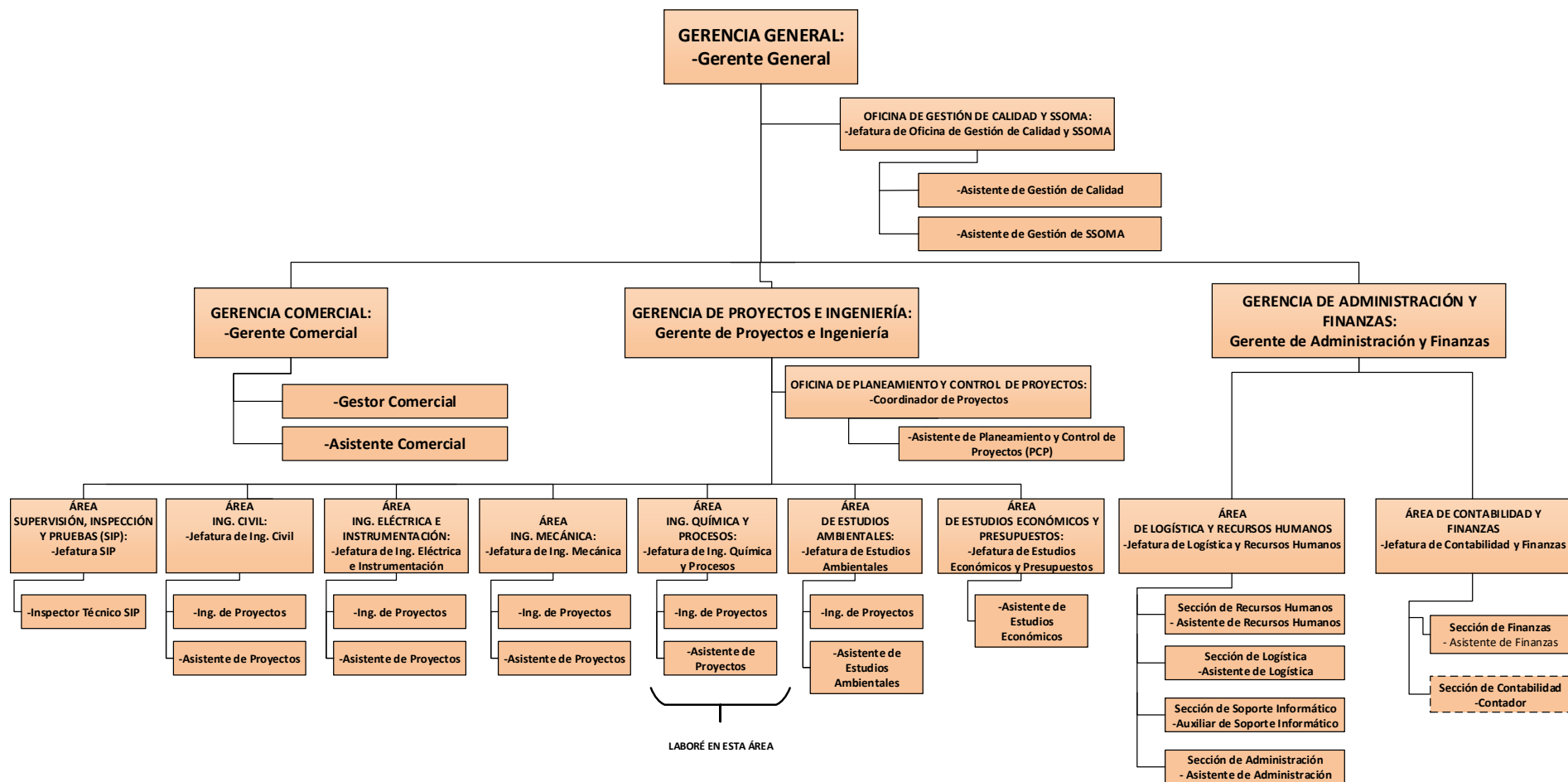
- Liderazgo: La empresa genera y mantiene un ambiente interno saludable y motivacional en el cual los empleados llegan a involucrarse y comprometerse realmente para conseguir los objetivos de la empresa.
- Enfoque basado en procesos: El éxito deseado de un servicio se consigue más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso.
- Mejora continua: Éste principio consigue que las etapas de los procesos mejoren con la aplicación del ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar).

1.4 Organigrama funcional de la empresa

La empresa CE&A se encuentra organizada de acuerdo al organigrama mostrado en la Figura 1, en esta indico el área en donde laboré.

Figura 1

Organigrama de la empresa CE&A



Nota. Tomado del Área de Logística y Recursos Humanos de la empresa CE&A (2015)

1.5 Normatividad empresarial

Dentro de los servicios que brinda la empresa se encuentran comprendidos una serie de normativas nacional e internacional relacionadas a los sectores de hidrocarburos y de protección del medio ambiente, entre las principales tenemos las siguientes:

- Decreto Supremo N° 043-2007 “Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos”.

Esta norma tiene el objetivo de preservar la integridad y la salud del personal y de terceras personas de posibles riesgos; adicionalmente de proteger las instalaciones y bienes afines a las Actividades de Hidrocarburos, de esta manera garantizar la seguridad en sus operaciones.

- Decreto Supremo N° 052-93-EM “Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos”.

Esta norma tiene por objeto establecer los lineamientos para que cualquier persona natural o jurídica, nacional o extranjera pueda desarrollar actividades en el Almacenamiento de Hidrocarburos de manera segura y en concordancia con lo establecido en el Artículo 73 de la Ley N° 26221.

- Resolución de Consejo Directivo N° 240-2010-OS-CD “Procedimiento de Evaluación y Aprobación de los Instrumentos de Gestión de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos”.

Este reglamento establece que Osinergmin es la autoridad competente para evaluar y aprobar los Estudios de Riesgos, los Planes de Contingencia, el Programa Anual de Actividades de Seguridad (PAAS) y el Reglamento Interno de Seguridad Integral (RISI) siendo estos los Instrumentos de Gestión vinculados a la seguridad necesarios para el desarrollo de las Actividades de Hidrocarburos.

- Decreto Supremo N° 005-2012-TR “Reglamento de la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo”.

Este Decreto tiene el objetivo de promover la cultura de prevención de riesgos laborales, teniendo como soporte el deber que tienen los empleadores, la fiscalización del Estado y la participación de los trabajadores y sus sindicatos.

- Decreto Supremo N° 051-93-EM “Reglamento de Normas para la Refinación y Procesamiento de Hidrocarburos”.

El citado Reglamento tiene por objetivo establecer las disposiciones para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de Refinerías y Plantas de Procesamiento de Hidrocarburos.

- Decreto Supremo N° 039-2014-EM “Reglamento para la Protección Ambiental en las actividades de Hidrocarburos”.

El objetivo de este Reglamento es normar la protección y gestión ambiental de las Actividades de Hidrocarburos, con el fin de prevenir, reducir, rehabilitar, recuperar y compensar los impactos ambientales negativos provenientes de las actividades mencionadas.

- API standards.

Esta es una normativa internacional establecida por la American Petroleum Institute de los Estados Unidos y acreditada por la American National Standards Institute, la cual ha desarrollado más de 800 estándares con lineamientos para mejorar la seguridad operativa, la protección ambiental y la sostenibilidad en la industria del petróleo y gas natural.

- NFPA standards.

Normativa internacional creada por la National Fire Protection Association de los Estados Unidos, ésta actualmente tiene más de 300 códigos y normas en donde establece requisitos mínimos para la prevención de incendios, capacitación, uso e instalación de elementos de protección contra posibles incendios los cuales son utilizados por personal especializado y de seguridad.

Adicionalmente CE&A se encuentra registrada con las siguientes instituciones del Estado Peruano y cumple con las normativas que ellas disponen:

- Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado (OSCE), como Consultor de Obras y como Proveedor de servicios.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), inscrita en el Registro con N°008-2017-TRA.
- Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE), para el desarrollo de estudios ambientales en actividades de hidrocarburos, electricidad y Minería, inscrita con vigencia indeterminada con Resolución Directoral N°00001-2019-SENACE-PE/DGE.
- Ministerio de la Producción (PRODUCE), inscrita con el N°180.

1.6 Sistema de seguridad industrial

CE&A actualmente no tiene implementado un Sistema de Gestión de Seguridad sin embargo, durante mi experiencia laborando en dicha empresa se estableció lineamientos y actividades para garantizar la seguridad del personal e instalaciones, en concordancia con los Artículos 17 y 18 del Decreto Supremo N° 043-2007-EM “Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos” que establecen un Programa Anual de Actividades de Seguridad (PAAS) para las compañías del sector de hidrocarburos incluyendo a terceros (la empresa CE&A) y al ambiente, de esta manera se estableció lo siguiente:

- Capacitación en temas de prevención y atención de emergencias.
- Charlas de primeros auxilios y de seguridad para las actividades que realiza la empresa CE&A tanto en sus oficinas como en las instalaciones de sus clientes, del sector hidrocarburos principalmente.
- Inspección y mantenimiento de los sistemas, equipos y materiales de control de incendios y otras emergencias.
- Revisión, prueba y/o simulacros del Plan de Contingencias de la empresa.

- Cumplimiento de las políticas de seguridad y salud en el trabajo que establecen los clientes de CE&A como requisito para la realización de trabajos como personal contratado.

1.7 Gestión de impactos ambientales

La empresa CE&A no tiene implementado un Sistema de Gestión Ambiental, sin embargo durante mi experiencia laborando en dicha empresa se estableció lineamientos y actividades a favor del medio ambiente y en concordancia con el Artículo 64 del Decreto Supremo N° 039-2014-EM “Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos” que establece, “Todo el personal, propio y subcontratado, deberá contar con capacitación actualizada sobre los aspectos ambientales asociados a sus actividades y responsabilidades”, de esa forma CE&A como empresa contratada para hacer realizar trabajos en el sector hidrocarburos estableció lo siguiente:

- Capacitación en temas de protección del medio ambiente para las actividades en las instalaciones propias de la empresa.
- Cumplimiento de las políticas medioambientales que establecen los clientes de CE&A como requisito para la realización de trabajos como personal contratado.

Capítulo II. Cargos y funciones desarrolladas

Las actividades desarrolladas por cada cargo asumido dentro de la empresa CE&A se describen a continuación:

2.1 Cargos dentro de la organización

Durante mi permanencia en la empresa CE&A me desarrollé profesionalmente como bachiller trabajando en los siguientes cargos:

- Ingeniero de Proyectos:

Como personal del Área de Ingeniería Química y Procesos desde el 05 abril hasta el 05 de octubre del 2013.

- Asistente de Ingeniería de Proyectos:

Como personal del Área de Ingeniería Química y Procesos desde el 25 de mayo del 2014 hasta el 30 de septiembre del 2016.

2.2 Responsabilidades según procedimientos internos de la empresa

Las responsabilidades asumidas dentro la empresa CE&A estaban de acuerdo a sus procedimientos e instructivos de uso interno. De esta manera pude responsabilizarme de las siguientes labores según el cargo:

2.2.1 Cargo: *Ingeniero de Proyectos*

- Elaboración de entregables como parte de Estudios de Riesgos para empresas del sector hidrocarburos, química y alimentos en donde usé metodologías de Análisis de Riesgo Cualitativo y Cuantitativo.
- Desarrollo de estudios mediante la metodología HAZOP (Hazard and operability), usando para ello el software PHA-Pro, como servicio para empresas del sector hidrocarburos.
- Elaboración de entregables, que constituían el servicio para proyectos de Ingeniería

Básica y de Detalle como por ejemplo: Memorias de Cálculo, Filosofías de Operación, Hoja de Datos de equipos e instrumentos, para empresas de sector minería e hidrocarburos.

- Simulación de procesos para las operaciones de movimientos de hidrocarburos para lo cual use el software CHEMCAD.
- Uso responsable de adecuada normativa nacional e internacional como por ejemplo los Decretos Supremos y los estándar NTP, API, ASTM, NFPA.

2.2.2 Cargo: Asistente de Ingeniería de Proyectos

- Elaboración de entregables como parte de Estudios de Riesgos y Planes de Contingencia para empresas del sector hidrocarburos y alimentos en donde usé metodologías de Análisis de Riesgo Cualitativo y Cuantitativo.
- Desarrollo de estudios mediante las metodologías HAZOP-SIL y What-If, usando para ello el software PHA Pro, como servicio para empresas del sector hidrocarburos.
- Elaboración de entregables, que constituirían el servicio para proyectos de Ingeniería Conceptual, Básica y de Detalle, como por ejemplo: Memorias de Cálculo, Filosofías de Operación, Hoja de Datos de equipos e instrumentos, Listas, Planos PFDs, Planos P&IDs, para empresas de sector hidrocarburos.
- Simulación de procesos para las operaciones de movimientos de hidrocarburos y del sistema contra incendios de las plantas, para lo cual use el software CHEMCAD.
- Uso responsable de adecuada normativa nacional e internacional como por ejemplo los Decretos Supremos y los estándar NTP, API, ASTM, NFPA.
- Realizar relevamientos a las instalaciones del cliente para recopilar toda la información técnica necesaria para realizar los entregables comprometidos en el alcance del proyecto.

2.3 Personal a su cargo y sus responsabilidades

Durante mi permanencia en CE&A tuve a mi cargo un Dibujante Proyectista, quien era responsable de elaborar, en software AutoCAD, los planos PFDs, P&IDs e Iso-riesgos como soporte del área de Ingeniería Química y Procesos. Sin embargo la disponibilidad de éste personal era temporal ya que los proyectos no demandaban realizar estos planos constantemente.

2.4 Función ejecutiva y/o administrativa

Mis actividades dentro de la empresa también se vieron complementadas con las siguientes funciones administrativas:

- Elaboración de documentos de planificación e inicio de proyectos según enfoque del PMI (Project Management Institute) y contenidos en el libro guía PMBOK.
- Apoyo en las actividades de certificación del Sistema de Gestión de la Calidad ISO-9001 en diciembre del 2014, aquí elaboré documentos de planificación, registro y control como procedimientos, formatos, instructivos y plantillas necesarias para brindar un mejor servicio.
- Recopilación de precios (nacional e internacional) de los combustibles a nivel ex planta, planta de ventas y grifos, estos datos se necesitaron como parte de un servicio de seguimiento de precios que realizó la empresa al Osinergmin.
- Coordinar con el cliente las visitas a sus instalaciones y gestionar los equipos de protección personal (EPP) necesarios para el equipo multidisciplinario encargados del relevamiento de campo durante el inicio de los proyectos.
- Gestionar cotizaciones de instrumentos necesarios para los estudios de inversión de los proyectos de ingeniería.

Capítulo III. Actividades desarrolladas

Las principales actividades que desarrollé en la empresa CE&A fueron dos y las describo de manera general a continuación:

- **Consultoría en Seguridad de los Procesos:** Elaboración de documentos técnicos como Planes de Contingencia y Estudios de Riesgos para instalaciones industriales del sector hidrocarburos y alimentos en su etapa operativa, esta actividad comprendía el uso de metodologías de Análisis Cualitativo y Cuantitativo de Riesgos, además de la determinación de medidas de mitigación de los riesgos identificados.
- **Consultoría en Ingeniería de Procesos:** Elaboración de documentos técnicos pertenecientes a la disciplina de Ingeniería de Procesos, enfocados en el diseño de equipos e instrumentos a nivel de Ingeniería Conceptual, Básica y de Detalle para proyectos industriales del sector hidrocarburos.

3.1 Conocimientos técnicos de su especialidad requeridos para el cumplimiento de sus funciones

Los conocimientos propios de la carrera de Ingeniería Química requeridos para el cumplimiento de mis labores en la empresa CE&A estuvieron enfocados en mis dos actividades principales, y los muestro de la siguiente manera:

Consultoría en Seguridad de los Procesos: Para esta labor requerí de los siguientes conocimientos técnicos:

- Conocimientos de transferencia de cantidad de movimiento
- Conocimientos de transferencia de calor
- Operaciones unitarias relacionadas a movimientos de hidrocarburos
- Procesos de refinación y almacenamiento de hidrocarburos
- Balance de masa

- Termodinámica
- Caracterización de combustibles
- Simulaciones para determinar propiedades de hidrocarburos
- Instrumentación y control de procesos
- Simbología de planos P&IDs y PFDs
- Costos y presupuestos
- Conocimientos relacionados a la seguridad de los procesos
- Conocimientos relacionados a la protección ambiental
- Conocimientos de probabilidades
- Conocimientos de matemáticas, física y química
- Conocimientos de normativa técnica nacional e internacional respecto a la seguridad de las actividades en la industria de los hidrocarburos

Consultoría en Ingeniería de Procesos: Para esta labor requeriré de los siguientes conocimientos técnicos:

- Conocimientos de transferencia de cantidad de movimiento
- Conocimientos de transferencia de calor
- Operaciones unitarias relacionadas a movimientos de hidrocarburos
- Procesos de refinación y almacenamiento de hidrocarburos
- Balance de masa y energía
- Termodinámica
- Caracterización de combustibles
- Simulaciones y control de procesos
- Instrumentación y control de procesos
- Simbología de planos P&IDs y PFDs
- Conocimientos de matemáticas, física y química
- Conocimientos de normativa técnica nacional e internacional respecto de las

actividades de la industria de los hidrocarburos.

3.2 Informes o reportes presentados como resultados de las actividades realizadas

Mis actividades las desarrollé usando los siguientes documentos guía (plantillas) de la empresa CE&A y que servían para presentar los trabajos, en este caso reportar al Jefe del Área de Ingeniería Química y Procesos, a continuación muestro los nombres de dichos documentos que utilicé por cada actividad principal.

Consultoría en Seguridad de los Procesos: En esta actividad utilicé los siguientes documentos guía (plantillas) para reportar mis avances durante el desarrollo de los proyectos:

- Capítulo I Generalidades
- Capítulo II Descripción de la Metodología
- Capítulo III Descripción del Proyecto o Instalaciones
- Capítulo IV Evaluación de Riesgos
- Capítulo V Matriz de Riesgo
- Capítulo VI Medidas de Mitigación
- Capítulo VII Conclusiones y Recomendaciones
- Anexo A.1 Plantillas What-If
- Anexo A.2 Análisis de Consecuencia de Siniestros
- Anexo A.3 Estimación de la Frecuencia de Ocurrencia de Siniestros
- Anexo A.4 Estimación Cuantitativa de Riesgos
- Anexo A.5 Análisis de Reducción de Riesgo y Costo Beneficio
- Anexo A.6.1 Cálculo de Requerimiento Mínimo de Agua y Agente de Extinción
Contra Incendios
- Anexo A.6.2 Evaluación de Extintores
- Plano de Ubicación de Extintores
- Anexo A.8 Listado de Equipos Contra Incendio

- Anexo A.9 Listado de Equipos de Detección
- Plano del Sistema de Emergencia
- Anexo A.10.1 Estimación de Costos de Daños Económicos
- Anexo A.10.2 Estimación de Costos por Daños Ambientales
- Plano de escenario de Explosión de Vapores Confinados (CVE)
- Plano de Escenario Pool Fire Confinado
- Plano de Isorriesgos Individuales Totales

Consultoría en Ingeniería de Procesos: En esta actividad utilicé los siguientes documentos guía (plantillas) para reportar mis avances durante el desarrollo de los proyectos:

- Contenido General
- Resumen Ejecutivo
- Dimensionamiento General Óptimo de Tanques de Almacenamiento
- Alternativas de Distanciamiento y Selección de Ubicación de Tanques de Almacenamiento
- Alternativas de Selección de Trazados de Líneas para Tanques de almacenamiento
- Diagrama de Flujo Preliminar de Transferencia en Tanques de Almacenamiento
- Memoria Descriptiva de Ingeniería de Procesos para Tanques de Almacenamiento
- Caracterización del Producto de Tanque de Almacenamiento
- Filosofía de Operación de Tanques de Almacenamiento
- Sistema Hidráulico de Operaciones de Transferencias en Tanques de Almacenamiento
- Sistema Contra Incendio de Tanques de Almacenamiento
- Distribución de Tanques de Almacenamiento
- Cálculo del Sistema de Alivio de Presión en Líneas de Recepción y Descarga de Tanques de Almacenamiento
- Cálculo del Sistema de Venteo de Tanques de Almacenamiento

- Diagrama de Flujo de Procesos de Tanques de Almacenamiento
- Manual de Operación de Tanques de Almacenamiento
- Memoria de Cálculo Hidráulico para el Diseño del Sistema de Enfriamiento
- Hoja de Datos de Boquillas para Cortinas de Agua

3.3 Actividades de investigación o innovación realizadas como bachiller

Realicé los siguientes trabajos de investigación e innovación por cada actividad principal que tuve en la empresa CE&A:

Consultoría en Seguridad de los Procesos: Como parte del desarrollo de los Estudios de Riesgos, en la sección de Análisis de Consecuencias de Siniestros innové una solución práctica de un modelo matemático denominado “Pool Fire Solid Plume” el cual consta de una serie de ecuaciones empleadas para calcular la radiación de incendios tipo charco.

Consultoría en Ingeniería de Procesos: Como parte del desarrollo de documentos técnicos de Ingeniería de Procesos, participé elaborando entregables para la selección de techo y elemento flotante de dos tanques de almacenamiento de gasolinas, además de una evaluación preliminar de ruteo de líneas para la recepción y descarga de producto de los tanques mencionados, este trabajo se realizó como parte de la Ingeniería Conceptual de un proyecto.

3.4 Participación en unidades o grupos de seguridad industrial

Realicé los siguientes trabajos en temas de seguridad industrial por cada actividad principal que tuve en la empresa CE&A:

Consultoría en Seguridad de los Procesos: Durante mis labores en el desarrollo de los Estudios de Riesgos, participé en las capacitaciones sobre el uso correcto de

extintores tipo PQS y adicionalmente tuve la oportunidad de brindar charlas a mis compañeros de trabajo en temas de EPPs.

Consultoría en Ingeniería de Procesos: Durante mis labores en el desarrollo de documentos técnicos de Ingeniería de Procesos, coordiné y lideré las visitas a campo en proyectos en donde se requería obtener la mejor y mayor información posible para el desarrollo de cálculos hidráulicos y ruteo de líneas, estas actividades debían ser con el cumplimiento de las medidas de seguridad internas establecidas por el cliente en sus instalaciones.

Capítulo IV. Cronograma de realización de las actividades

La secuencia ordenada de mi experiencia profesional la desarrollé según la Tabla 1, en donde muestro mis actividades principales de manera general y sus períodos respectivos.

Tabla 1

Cronograma de realización de actividades

Empresa	Cargo	Actividad desarrollada	Período		Tiempo
			Fecha inicial	Fecha Final	
Consultoría Energética & Ambiental S.A.C.	Ingeniero de Proyectos	Consultoría en Seguridad de los Procesos	05/04/2013	05/10/2013	6 meses
		Consultoría en Ingeniería de Procesos			
	Asistente de Proyectos	Consultoría en Seguridad de los Procesos	25/04/2014	30/09/2016	28 meses
		Consultoría en Ingeniería de Procesos			
INSPECTRA S.A.	Ingeniero de Procesos		03/10/2016	28/02/2018	17 meses
Ingeniería y Desarrollo Tecnológico del Perú S.A.C.	Asistente de Ingeniería de Procesos	Consultoría en Ingeniería de Procesos	04/04/2019	22/06/2019	3 meses
	Asistente de Ingeniería		09/12/2019	30/06/2020	7 meses
CUMBRA Ingeniería S.A.	Independiente, como Ingeniero de Procesos	Consultoría en Ingeniería de Procesos y de Riesgos	24/08/2020	10/03/2021	6 meses
			11/03/2021	30/10/2021	8 meses
CUMBRA Perú S.A.			17/11/2021	15/09/2022	10 meses
CUMBRA Ingeniería S.A.	Ingeniero de Diseño Senior	Consultoría en Ingeniería de Procesos	03/10/2022	31/05/2023	8 meses
				Total	93 meses

Nota. Elaboración propia.

Capítulo V. Formación técnica profesional

En este capítulo se muestra la información soporte del presente trabajo, su desarrollo e informe de los resultados.

5.1 Conocimientos técnicos de su especialidad requeridos para el cumplimiento de sus funciones en la actividad seleccionada

En esta parte muestro de manera específica los conocimientos de la especialidad de Ingeniería Química necesarios para desarrollar las consultorías en Seguridad de los Procesos (ver Capítulo III), actividad seleccionada para la aplicación de mis conocimientos técnicos de ingeniería y que a su vez son el soporte del tema del presente Informe de Trabajo de Suficiencia Profesional, por lo tanto en mi experiencia desarrollando consultorías en Seguridad de los Procesos, me fueron necesarios los siguientes conocimientos técnicos:

- Flujo de fluidos y pérdida de carga
- Transferencia de calor por radiación térmica
- Operaciones unitarias de recepción y descarga de hidrocarburos almacenados
- Condiciones para el almacenamiento de hidrocarburos
- Balance de masa para agua del sistema contra incendios
- Modelos termodinámicos para el cálculo de propiedades físico químicas
- Caracterización de combustibles
- Simulaciones en software para determinar propiedades de hidrocarburos
- Instrumentación y control para la recepción, almacenamiento y descarga de hidrocarburos
- Simbología de planos P&IDs y PFDs
- Costos y presupuestos de medidas de mitigación de siniestros
- Criterios físicos y químicos para preservar la seguridad de los procesos
- Criterios físicos y químicos para la protección ambiental

- Probabilidades de accidentes en actividades industriales
- Conocimientos de matemáticas, física y química
- Normativa técnica nacional e internacional respecto a la seguridad de las actividades en la industria de los hidrocarburos

5.2 Planteamiento de la realidad problemática de la actividad seleccionada

En el siglo pasado la seguridad industrial en las diversas áreas de aplicación no era considerada como un elemento de mucha importancia, el desarrollo del capitalismo originó grandes industrias y con ello la necesidad de gran cantidad de mano de obra, ellos contribuyeron a la migración a las ciudades y el crecimiento demográfico ocasionó nuevas oportunidades de negocios y también mayores problemas para las industrias en el campo de seguridad.

En la década de 1980 y 1990 se tuvo un incremento muy grande de accidentes a nivel mundial, solo en 1984 se registró tres de los accidentes más graves de la historia, en Sao Paulo por la rotura de una conducto de combustible dejando 800 muertos, en México por un incendio y explosión en el patio de almacenamiento de GLP dejando 450 muertos y en Bhopal, India por el escape de gas originando una nube tóxica causando 3000 muertos (Casal et al., 1999).

De esa manera la cantidad de accidentes se fueron incrementando en el tiempo, estos problemas ocasionaron grandes costos sociales afectando a la vida de muchas personas a nivel mundial, costos de capital con grandes pérdidas a las instalaciones y a la productividad de las empresas.

La industria de los hidrocarburos han sido muy perjudicada por eventos de incendios y explosiones; la Tabla 2 muestra algunos eventos catastróficos de accidentes con pérdidas humanas y daño medioambiental principalmente y que actualmente todavía no hemos prevenido o controlado. (Consejería de Fomento Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, 2021).

Tabla 2

Algunos principales accidentes y sus daños

ACCIDENTES EN INDUSTRIA PETROLÍFERA E HIDROCARBUROS				
ACCIDENTE	FECHA	LUGAR	DESCRIPCIÓN DE LAS POSIBLES CAUSAS	OBSERVACIONES
VERTIDO DE CRUDO TAYLOR	2014-2019	Golfo de Méjico, Luisiana, EEUU	Huracán Ivan en 2004 provocó movimientos de tierra submarinos, que movieron los sistemas de extracción de petróleo de la plataforma de extracción Taylor Energy, sepultando los pozos de extracción bajo sedimentos. Comenzó un vertido continuado de petróleo desde éstos.	Mantenimiento en secreto durante 6 años por parte de la organización y el gobierno. Estimado el vertido de aproximadamente 5.300 m³ de crudo, afectando a un área aproximada de 21 km².
VERTIDO DE CRUDO DEEPWATER HORIZON	20/04/2010 – 19/09/2010	Golfo de Méjico, Mississippi, EEUU	Gas metano a alta presión en el yacimiento que se expandió a través de los oleoductos hasta la plataforma donde se produjo ignición y consiguiente explosión.	11 desaparecidos. Estimado el vertido de aproximadamente 780.000 m³ de crudo.
EXPLOSIÓN DE REFINERÍA	09/11/1992	Chateaufneuf – Les Martigues, Francia	Fuga de gas en tubería de torre de tratamiento de gases asociado con el craqueo catalítico del crudo. Formación de nube inflamable y posterior explosión.	6 personas perdieron la vida. La nube de gases se encontraba compuesta por butano, propano y nafta ligera.
VERTIDO DE CRUDO EN TANQUE DE ALMACENAMIENTO	25/10/2005	Kallo, Bélgica	Formación de una zanja a unos 1,5 m de las paredes del tanque, formándose un estancamiento de agua que no llegaba a los sistemas de drenaje. Como resultado se produjo una corrosión en una pequeña zona, corroyendo el metal. Comenzó una pequeña fuga, que quedó confinada bajo el depósito y saturó la arena bajo el mismo, debilitando la base que, bajo la presión del crudo, acabó abriéndose.	Vertido de 37.000 m³ de crudo. El vertido ocupó el cubeto de retención de 4 hectáreas de superficie con 1 m de espesor. Se produjo una fuga del mismo de 3 m³ de esta sustancia debido a la ola formada, que superó la pared de cubeto. Afección al suelo y zona marina cercana.
EXPLOSIÓN DE REFINERÍA DE BP	23/03/2005	Ciudad de Texas, Texas, EEUU	El fallo de una de las dos alarmas de llenado de la unidad llevó a que ésta tuviera más de 40 veces el nivel máximo admitido. Durante el proceso de isomerización, se produjo un aumento de presión por encima del normal. Tras una serie de fallos de procedimiento y de equipamiento se liberó una nube inflamable de hidrocarburos a alta temperatura, que el motor de un camión ubicado a 8 m hizo estallar	15 personas perdieron la vida.
ACCIDENTES EN INDUSTRIA QUÍMICA, PETROQUÍMICA, TEXTIL Y PAPELERA				
ACCIDENTE	FECHA	LUGAR	DESCRIPCIÓN DE LAS POSIBLES CAUSAS	OBSERVACIONES
DESASTRE DE BHOPAL	02/12/1984 – 03/12/1984	Bhopal, Madhya Pradesh, India	Error humano, mal mantenimiento y cadena de fallos. Las causas no están completamente identificadas. Entrada de agua en tanque de almacenamiento de metil isocianato con mayor volumen almacenado del permitido y sin sistema de mantenimiento de presión mediante nitrógeno molecular. Se produjo una reacción exotérmica, acelerada por contaminantes (hierro proveniente de conducciones de acero no inoxidable con mal mantenimiento), elevada temperatura ambiental y otros factores. Esto llevó a un aumento en la presión del tanque que dio lugar a la aparición de fugas. Por fallos en la toma de decisiones ante cómo actuar, el tanque llegó al punto crítico, produciéndose la apertura de la válvula de seguridad. La liberación a la atmósfera debería haberse prevenido mediante tres sistemas de seguridad, los cuales no funcionaron correctamente. Se desconoce cómo entró el agua en el tanque.	Liberación de 40 toneladas de gases. Nube tóxica con composición de cloroformo, diclorometano, cloruro de hidrógeno, metilamida, dimetilamida, trimetilamida y dióxido de carbono. Éstos se encontraban ya en el tanque de almacenamiento y/o se formaron por la reacción de metil isocianato con agua. Fallecimiento de entre 3.800 y 16.000 personas. Efectos crónicos graves sobre la población afectada. Muerte de ganado y/o sacrificio posterior.
EXPLOSIÓN EN IOXE	14/01/2020	Tarragona, Cataluña, España	Reacciones en cadena que dieron lugar a una reacción química final súbita y no prevista en el reactor para la producción de metacrilato metoxi polietilenglicol (MPEG) mediante óxido de etileno. Labores de mantenimiento del tanque de almacenamiento de pulpa de papel.	Tres personas perdieron la vida. MPEG no era considerado peligroso. Estudios posteriores indican que a partir de 300° se descompone en otras sustancias explosivas.
EXPLOSIÓN EN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE PULPA DE PAPEL	18/01/2011	Nogent Sur Seine, Francia	La pulpa de papel genera de forma natural hidrógeno molecular, el cual se almacenó en el depósito, formando en la zona superior de éste una atmósfera ATEX. Durante labores de corte en mantenimiento se generó una chispa dentro del depósito, provocando sobrepresión y posterior explosión.	“ personas perdieron la vida.

Fuente: Consejería de Fomento Ordenación del Territorio y Medio Ambiente (2021).

Por otro parte también se tiene el problema de la contaminación ambiental y su impacto de diversas zonas de nuestro planeta y que junto con los incendios y explosiones son problemas que pueden suceder en cualquier momento causando importantes pérdidas especialmente en la industria química y de hidrocarburos ya que contrariamente desde mediados del siglo pasado crecieron de manera muy rápida sin considerar a la seguridad como un eje importante y que actualmente es problemática de muchos países.

Estos accidentes fueron investigados y analizados históricamente y se determinó que son cuatro áreas las causantes principales de la contaminación ambiental, incendios y explosiones, y son las siguientes: el desconocimiento del personal, economía poco responsable con la seguridad, descuido y/o negligencia y por último son los eventos impredecibles. De lo mencionado se puede ver que el error humano es la causa real y principal de estos accidentes, esto fue corroborado por las estimaciones de las empresas de seguros las cuales indicaron que el 80% de estos problemas están relacionados o son responsabilizados a personas (Nolan, 2011).

El tema del presente informe será respecto de una Planta de Abastecimiento de Combustibles, en la cual se identifica actividades de carga, descarga y almacenamiento de hidrocarburos y según la problemática descrita anteriormente, esta también tendría la posibilidad de ocurrencia en las instalaciones de la planta mencionada, afectando de esta manera al medio que rodea a cada uno de los posibles escenarios de riesgo, causando así importantes pérdidas económicas y sociales para esta industria, por tanto se requerirá prevenir, eliminar, controlar o mitigar los riesgos que pudieran evaluarse.

5.3 Antecedentes referenciales y objetivos de la actividad seleccionada

5.3.1 Antecedentes referenciales

Se mencionan a continuación algunos antecedentes en donde se desarrollaron análisis de riesgos o instrumentos de gestión de riesgos para enfrentar escenarios de riesgo en industrias del sector hidrocarburos:

- **Título del estudio:** Análisis de Riesgos y Consecuencias como Producto de Escenarios Probables en un Sistema de Transporte y Almacenamiento de Hidrocarburos

Autores: Juan David Olarte Plata y Andrés Fernando Pérez Suárez

Lugar y Fecha: Colombia - 2010

Descripción: El estudio realiza un análisis de riesgos al transporte por tuberías y al almacenamiento de hidrocarburos para lo cual se usa la metodología propuesta por W. Kent Muhlbauer en donde se establece un Análisis de Vulnerabilidad de las instalaciones de manera seccionada, de esa manera se identifica los peligros y se evalúa los riesgos asignando puntajes por medio de diferentes índices, después de ello se definen los escenarios de riesgos como por ejemplo, incendios, explosiones, nubes de vapor, dispersiones, chorro de fuego (jetfire) y charco de fuego (poolfire), para de esta manera continuar con el Análisis de Consecuencias de los escenarios y así obtener un primer acercamiento de sus posibles daños.

- **Título del estudio:** Primera Planta de Gasificación en México (Análisis de Riesgo)

Autores: Carlos M. Nava S., Alejandro Rodríguez V., Arturo Palacio P., Javier E. Aguillón M., Octavio P. Reyes G.

Lugar y Fecha: México - 2009

Descripción: En este estudio se realizó el Análisis de Riesgo a un prototipo de planta gasificadora de 100 kW de potencia térmica con fines de investigación para el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. En esta oportunidad se analizan tres casos de riesgo, los dos primeros son respecto de la emisión de monóxido de carbono de los gases de escape y el tercero es sobre un posible incendio del tanque de almacenamiento de Diesel.

Para el análisis del primer caso de toxicidad de gas se usó un programa de simulación de dispersión atmosférica denominada TAPM (The Air Pollution Model)

Para el análisis del segundo caso de flamabilidad del gas se usó el modelo ALOHA el cual fue desarrollado por la EPA (Environmental Protection Agency) y la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

Para el análisis del tercer caso de incendio del tanque de almacenamiento de Diesel se usó también el modelo ALOHA.

Se concluye realizando una serie de recomendaciones de diseño y seguridad para mantener a las instalaciones, personas y medio ambiente en un nivel de riesgo no significativo.

- **Título del estudio:** Análisis de Riesgo de una Instalación de Almacenaje de Hidrocarburos

Autor: Pau Pérez Torres

Lugar y Fecha: España - 2019

Descripción: El trabajo citado se analiza al accidente ocurrido en una refinería de Texas de la compañía BP en el año 2005, además de otros dos escenarios producto del efecto dominó.

El análisis de riesgo para el primer escenario, que fue la explosión de gas en la planta de isomerización a causa del error humano y de instrumentación; se aplica los métodos de TNT y Multienergía para determinar el alcance de la onda expansiva de la explosión y se compara con el informe oficial del accidente. Adicionalmente para este caso se usa el método Probit para evaluar las consecuencias sobre estructuras y personas a causa de la explosión.

El análisis de riesgo para el segundo escenario, incendio de un tanque de almacenamiento de hidrocarburo causado por la perforación de fragmentos del escenario inicial de explosión. Para este escenario se calculó la magnitud de la radiación emitida hacia un tanque esférico adyacente de almacenamiento de GLP, y se concluyó que este calor no era suficiente para generar una explosión del tanque esférico.

El análisis de riesgo para el tercer escenario, el cual es una explosión BLEVE seguida de una Bola de Fuego de otro tanque de almacenamiento de GLP que también había sido afectado por la explosión inicial, este escenario fue causado por el cambio de dirección del viento direccionando de esta manera la radiación de calor del incendio del segundo escenario sobre sobre este tanque de GLP; en este análisis se calcula el alcance de su afectación y por medio del método Probit se conocen las distancias de seguridad frente a la explosión y el incendio respectivamente.

- **Título del estudio:** Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) - Unidad Planta Malvinas - Lote 88

Autor: Pluspetrol Perú S.A.

Lugar y Fecha: Perú - 2011

Descripción: Este estudio realiza una evaluación cuantitativa de los riesgos para las actividades que tiene la empresa Pluspetrol Perú S.A. en Planta Malvinas a condiciones normales de operación de sus instalaciones. Para determinar de manera preliminar los escenarios de riesgo se utilizó las metodologías de análisis semi cuantitativo de riesgos HAZOP y HAZID, además de ellos se contó con la colaboración del personal operativo para definir los posibles escenarios de riesgos sobre las instalaciones.

Como segunda etapa se evaluó cuantitativamente los escenarios consensuados, de esta manera realizó el Análisis de Frecuencias, el Análisis de Consecuencias y Vulnerabilidad y las condiciones de criticidad para lo cual se usó un software.

Se determinó que las que las situaciones más riesgosas pertenecen a la válvula de ingreso de gas de pozo a la planta, al slug cácher, a los equipos compresores, a las unidades de almacenaje de GNL y a las unidades de medición de expendio de GN. Por último se realizan las recomendaciones respectivas de tal manera de eliminar, controlar o mitigar los posibles daños a las personas, instalaciones, a las operaciones y al medio ambiente.

- **Título del estudio:** Estudio de Riesgos (ER) del Proyecto de Prospección Sísmica 2D lote 58

Autor: Corporación Nacional de Petróleo de China Perú S.A. (CNPC)

Lugar y Fecha: Perú - 2015

Descripción: El trabajo citado es un instrumento de gestión de riesgos el cual esta normado por la Resolución de Consejo Directivo del Osinergmin N° 240-2010-OS-CD. El estudio evalúa los riesgos asociados a las actividades de exploración sísmica 2D del terreno del Lote 58, ubicado en el departamento del Cusco. Dichas actividades comprenden tres etapas que son: construcción, operación y Abandono.

Para la evaluación de las actividades se usó la metodología HAZID, la cual permite identificar los peligros principales para las personas, medio ambiente y al medio socioeconómico respectivamente.

Como conclusión del Estudio de Riesgos indica que en caso no aplicar las medidas de control y mitigación recomendadas, los niveles de riesgos encontrados significarían que existe la posibilidad de tener consecuencias a las personas, daño al medio ambiente e instalaciones principalmente.

- **Título del estudio:** Análisis y Evaluación de Riesgos Industriales

Autor: Vopak Perú S.A.

Lugar y Fecha: Perú - 2013

Descripción: El objetivo es realizar el análisis y evaluación de riesgos de las actividades en las instalaciones del Terminal Callao operada por la empresa Vopak Perú S.A. El alcance del estudio fueron los sectores: edificios técnico administrativos, comedor, áreas de parqueo, áreas de obradores y mantenimiento, islas de carga y puntos de despacho, islas de GLP y cargadero de vagones, parques de tanques y esferas de almacenamiento, patios de bombas de transferencia, escuela de entrenamiento de incendios, Muelle 4 y Muelle 7. La metodología usada fue LOPA (Layer of Protection Analysis) publicado por el Center for Chemical Process Safety, esta metodología es de

carácter semi cuantitativo y determina escenarios de riesgos con mayor probabilidad de ocurrencia y mayor severidad de sus consecuencias, estos escenarios pasan a una etapa cuantitativa de daños en donde se usó el software de simulación PHAST de la firma DNV.

Se proponen las recomendaciones para eliminar, controlar y mitigar los posibles daños a las personas, medio ambiente e instalaciones y se vuelve a evaluar los riesgos residuales por segunda oportunidad, de esta manera se determina que los riesgos analizados se encuentran en los niveles aceptables. Se analizaron 31 escenarios de riesgos y se logró reducir el riesgo total o integrado de la planta para lo cual la empresa debía realizar un Plan de Mejoras General el cual contempla una serie de adecuaciones a realizar a mediano plazo.

5.3.2 *Objetivos de la actividad seleccionada*

La actividad seleccionada es la consultoría en Seguridad de los Procesos y los objetivos de esta actividad son las siguientes:

- Identificar los peligros y evaluar los escenarios de riesgos de manera cualitativa asociados a cada una de las operaciones industriales y actividades del personal en las diferentes áreas de las instalaciones.
- Realizar un análisis cuantitativo de los escenarios de mayor riesgo y de mayor complejidad, de esta forma se calcula numéricamente las consecuencias que se traducen como daño a las personas, al medio ambiente, a las instalaciones y a las operaciones de la industria.
- Recomendar medidas que puedan prevenir, eliminar, controlar o mitigar la afectación de las consecuencias evaluadas en la etapa cualitativa y cuantitativa respectivamente, con el fin de reducir el riesgo a un nivel aceptable o tolerable.

5.4 Marco teórico de los conocimientos técnicos requeridos

En concordancia con el Artículo 3 del Decreto Supremo N° 043-2007-EM del Ministerio de Energía y Minas (2007) y del Artículo 3 de la Resolución de Consejo Directivo

N° 240-2010-OS-CD del Osinergmin (2010), se muestra a continuación algunas definiciones que serán de ayuda para entender mejor el presente estudio:

- **Evento:** Acontecimiento relacionado al desempeño de un equipo o la acción humana, o un acontecimiento externo al sistema que hace que el mismo se altere. Un evento puede ser la causa de un incidente o de un accidente, o la respuesta de otro que da inicio a un accidente (efecto dominó).
- **Instrumentos de Gestión de Seguridad (IGS):** Los Instrumentos de Gestión de Seguridad, acorde con lo señalado en el Capítulo V del Título I del Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 043-2007-EM, son: el Estudio de Riesgos, el Plan de Contingencias, el Programa Anual de Actividades de Seguridad (PAAS) y el Reglamento Interno de Seguridad Integral (RISI).
- **Peligro:** Una condición o acto capaz de causar daño a una persona, propiedad o proceso. Los peligros pueden ser mecánicos, eléctricos, físicos, químicos, ergonómicos, biológicos, locativos, socioculturales, entre otros.
- **Riesgo:** Es el evento o condición incierta que si ocurre tiene un efecto positivo o negativo sobre el entorno humano, entorno socioeconómico y/o entorno natural del ámbito de las actividades de hidrocarburos.
- **Siniestro:** Evento inesperado que causa severo daño al personal, equipo, instalaciones, ambiente y/o pérdidas en el proceso extractivo, productivo, de almacenamiento, entre otros. Entre los principales siniestros se consideran los siguientes: incendios, explosiones, sismos, inundaciones, contaminación ambiental, derrames y fugas de hidrocarburos, aguas de producción y derivados, derrames de productos químicos, desastres aéreos, desastres marítimos, ... etc.

En el ámbito nacional se tiene la Resolución de Consejo Directivo N° 240-2010-OS-CD, en donde se muestran a los Estudios de Riesgos y Planes de Contingencias como

instrumentos de gestión de riesgos. En nuestro país se tiene estructurado la metodología para el desarrollo de los Estudios de Riesgos en donde se describen las capas de protección frente a un suceso de riesgo, pudiendo tener capas a un nivel de diseño, de prevención y de mitigación, destinadas a controlar y/o mitigar los riesgos en las industrias (Osinergmin, 2015).

Frente a la problemática planteada en la Planta de Abastecimiento de Combustibles en la sección 5.2, la cual es motivo del presente informe, se establecerá una metodología de solución en base a un Estudio de Riesgos como instrumentos de gestión de riesgos. El marco teórico necesario para fundamentar el tema del presente informe será en base a la descripción de los siguientes puntos:

- Descripción general de la metodología
- Análisis cualitativo de riesgos - Metodología What-If
- Análisis cuantitativo de riesgos (ACR)
- Descripción general de las instalaciones de la Planta de Abastecimiento
- Condiciones ambientales y características de los productos almacenados
- Descripción general de las operaciones de la Planta de Abastecimiento

5.4.1. Descripción general de la metodología

La evaluación de los riesgos es en base a su probabilidad de ocurrencia y a la severidad de su consecuencia sobre algunos de los objetos establecidos en la normativa y que son: Entorno Humano, Entorno Socioeconómico y Entorno Natural (Osinergmin, 2010).

Además se ello, según la Resolución de Consejo Directivo N° 240-2010-OS-CD se deberá utilizar técnicas de evaluación de riesgos apropiadas según sea el caso de análisis, para lo cual se podrá utilizar algunas de la siguiente lista de técnicas de evaluación, siendo estas de carácter enunciativo y no restrictivo:

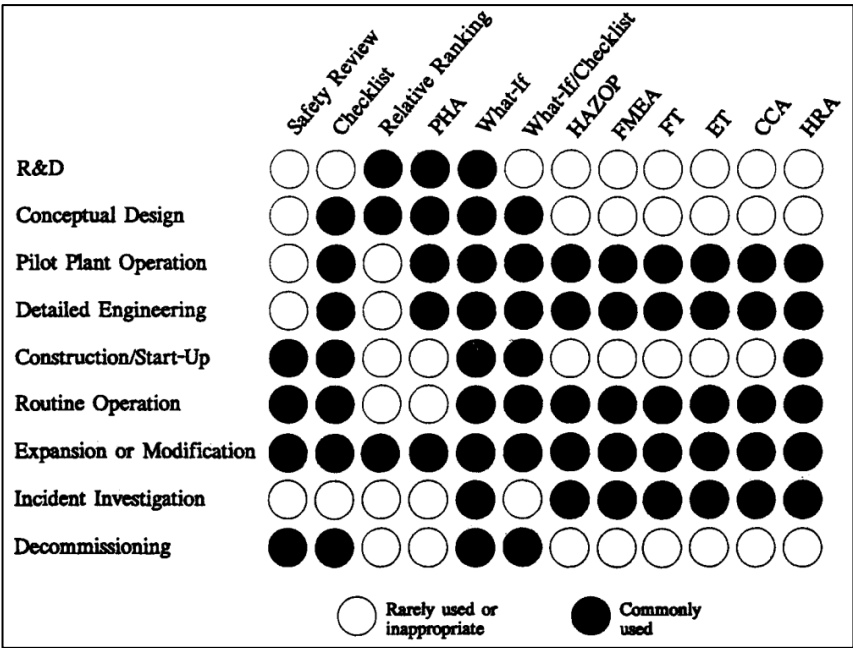
- Revisión de la Seguridad (Safety Review)
- Análisis de Lista de Verificación (Checklist Analysis)

- Ranking Relativo (Relative Ranking)
- Análisis de Peligros Preliminar (Preliminary Hazard Analysis: PHA)
- Análisis Qué Pasa Si (What-If Analysis)
- Análisis Qué Pasa Si/Lista de Verificación (What-If/Checklist Analysis)
- Análisis de Peligros y Operación (Hazard and Operability Analysis: HAZOP)
- Análisis de Efectos y Modos de Falla (Failure Modes and Effects Analysis: FMEA)
- Análisis de Árbol de Falla (Fault Tree Analysis: FTA)
- Análisis de Árbol de Eventos (Event Tree Analysis: ETA).
- Análisis Causa – Consecuencias (Cause – Consequence Analysis).
- Análisis de Confiabilidad Humana (Human Reliability Analysis).

En el estudio se utiliza una de las técnicas mencionadas líneas arriba, para seleccionar la técnica adecuada se usa dos condiciones, la primera es determinar en qué momento de la vida del proceso se necesita realizar el estudio, y la segunda es la calidad de la información disponible, la primera condición es fija y en la Figura 2 se puede ver las técnicas típicas usadas según su etapa, la segunda condición dependerá del estado de la información disponible para el proyecto y como referencia en la Tabla 3 se muestra la documentación típica requerida (Center for Chemical Process Safety, 1992).

Figura 2

Técnicas típicas usadas para evaluación de riesgos



Fuente: Center for Chemical Process Safety (1992).

Tabla 3

Información típica disponible para el análisis de riesgo

Type of Information	Increasing Level of Detail	Time When Information Becomes Available from Project Inception
• Specific operating experience • Operating procedures • Existing equipment • P&IDs • PFDs • Experience with similar processes • Material inventories • Basic process chemistry • Material, physical, and chemical data	↑	↑

Fuente: Center for Chemical Process Safety (1992).

De las dos condiciones mostradas y aplicadas al presente estudio se selecciona la técnica “Análisis Qué Pasa Si (What-If Analysis)” ya que la empresa CE&A cuenta con experiencia usando este tipo de metodologías, adicionalmente la documentación técnica

disponible del cliente es la que corresponde para una instalación en operación y por otro lado esta técnica facilita un barrido práctico de los diversos escenarios de riesgos.

El estudio es un Análisis de Riesgo que se basa principalmente en la identificación de peligros y evaluación de riesgos y presenta dos etapas.

La primera etapa identifica todos los peligros y evalúa sus riesgos desde el punto de vista cualitativo o evaluación cualitativa de riesgos, el cual requiere del conocimiento y experiencia a juicio de experto de las personas involucradas con el escenario de riesgo, para esto se usará la técnica de análisis What-If.

En la primera etapa es posible llegar a mitigar el riesgo de una determinada cantidad escenarios en base a las propias salvaguardas de la Planta o en base a las recomendaciones planteadas las que dependerán del nivel de información del riesgo, de esta manera se reducirá el nivel del riesgo de los escenarios, sin embargo, también se tendrá escenarios residuales con riesgo mayores (para mayor detalle ver la sección 5.4.2.1) o más complejos. Cabe mencionar que los resultados de la evaluación cualitativa son de carácter preliminar y es necesario que los mayores escenarios de riesgo sean sometidos a una mayor rigurosidad y precisión basándose en un ACR, correspondiente a una segunda etapa.

En esta segunda etapa, para cada uno de los escenarios de riesgos mayores identificados, se proceden a estimar las frecuencia de ocurrencia del siniestro, en donde se usa la técnica del Análisis del Árbol de Fallas (Fault Tree Analysis: FTA) y el Análisis del Árbol de Eventos (Event Tree Analysis: ETA); además, se procede a cuantificar sus consecuencias de efectos físicos utilizando los modelamientos que han sido desarrollados en su mayoría por el Center for Chemical Process Safety (CCPS) establecida por la American Institute of Chemical Engineers (AIChE), el trabajo desarrollado por la TNO - The Netherlands Organization of Applied Scientific Research (TNO) por auspicio del Committee for the Prevention of Disasters (CPR) y otras referencias también aceptadas.

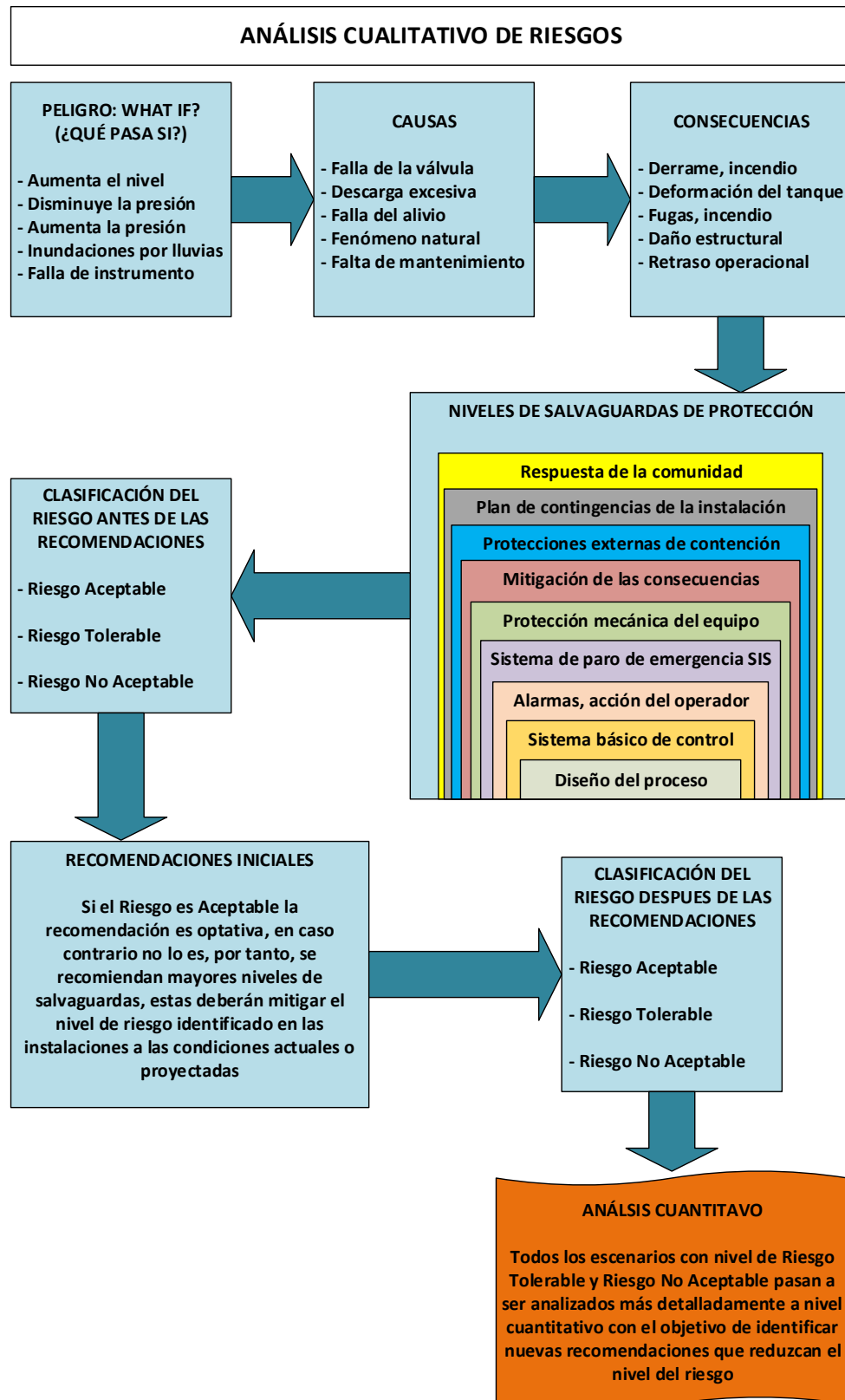
Una consideración importante a tomar en cuenta es que las estrategias propias de diseño de las instalaciones suelen ser más seguras y pueden prevenir mejor el inicio de un

accidente o reducir su nivel de afectación, mientras que los sistemas de protección de seguridad usados usualmente, como son las distancias de separación seguras, supervisión del operador, sistemas de control, alarmas, enclavamientos, elementos de protección física y sistemas de respuesta de emergencias, son más costosos y menos seguros, frente a una adecuada estrategia de diseño propia de las instalaciones (Grounds y Natale, 2003).

Para mayor comprensión de la metodología, ver las Figuras 3 y 4, la cual muestra una estructura general para abordar la etapa Cualitativa y Cuantitativa del presente trabajo.

Figura 3

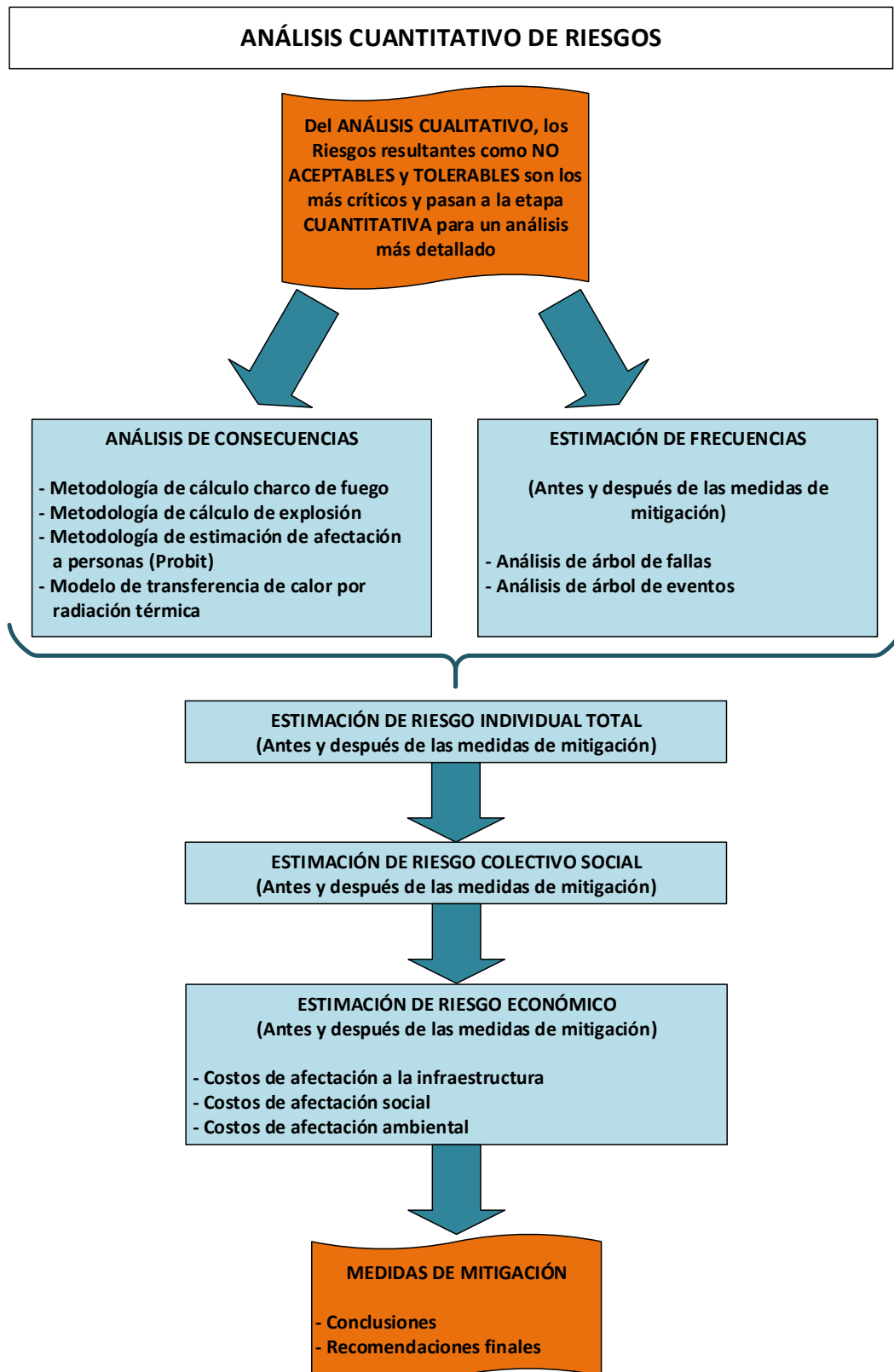
Proceso general del análisis cualitativo de riesgos



Fuente: Elaboración propia

Figura 4

Proceso general del análisis cuantitativo de riesgos



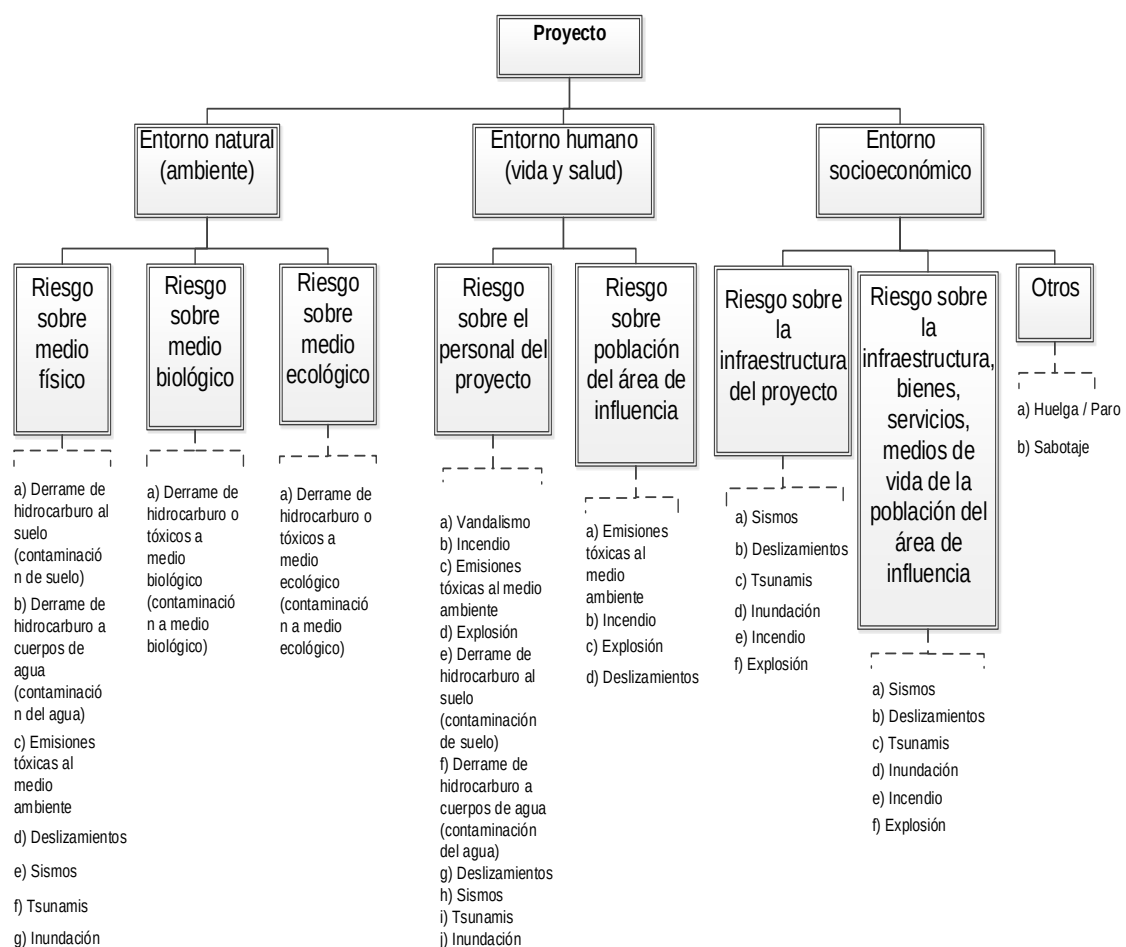
Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Análisis Cualitativo de Riesgos

En esta primera etapa se desarrolla una evaluación preliminar o cualitativa de riesgos utilizando la metodología What-If, teniendo como soporte informático el software PHA Pro 8. Esta evaluación preliminar se desarrolla con la finalidad de considerar de forma práctica todos los posibles escenarios de riesgos que pudieran presentarse en la Planta de Abastecimiento de Combustibles en concordancia con la categorización y estructura de desglose de riesgos considerando los principales objetos como son el Entorno Humano, Entorno Socioeconómico y Entorno Natural (Osinergmin, 2010) el cual se puede apreciar con la Figura 5.

Figura 5

Estructura de desglose de riesgos



Fuente: Osinergmin (2010)

5.4.2.1. Metodología What-If. Antes de ver directamente las plantillas What-If, es importante indicar que esta metodología identifica los mayores peligros en función de los valores de la magnitud de riesgo las cuales se obtienen de la frecuencia de ocurrencia y de la severidad del daño de los riesgos planteados por un equipo calificado de personas. Los valores para la frecuencia y severidad de los riesgos variarán dependiendo de la información histórica disponible o según lo determine el criterio del propio equipo de profesionales durante las sesiones What-If según su experiencia y conocimiento.

Para determinar la Magnitud de Riesgo de las consecuencias se usará una Matriz de Riesgo obtenida de la propia información que brinde el representante de las instalaciones o se puede consensuar el uso de una matriz de alguna bibliografía especializada, para esto es necesario conocer algunas definiciones, según el libro de Nolan (1994) se tiene:

Frecuencia (F): Es la medida esperada de la ocurrencia de un evento.

Severidad (S): Es la magnitud de las consecuencias de daños físicos o intangibles.

Magnitud del riesgo (MR): Es una estimación cualitativa del riesgo a partir de los niveles de severidad y frecuencia, con el objetivo de proporcionar una priorización del riesgo en función de su magnitud.

De las definiciones mostradas podemos indicar también lo siguiente:

- La severidad del riesgo, nos permite determinar la gravedad de los daños que presenta los equipos, instalaciones, medio ambiente y personas. Se le asigna niveles para clasificar su gravedad de daño.
- La frecuencia nos permite determinar la ocurrencia de riesgo ya sea por incendio, explosión, derrame, entre otros, en las instalaciones y/o equipos. Se le asigna niveles para clasificar su ocurrencia.
- La magnitud del riesgo permite clasificar y jerarquizar el riesgo a las personas, medio ambiente e instalación, de manera de focalizar y priorizar las acciones. Según los niveles de frecuencia y severidad clasifica el riesgo.

Según Casal et al. (1999), el nivel de riesgo o la magnitud de riesgo dependen de la frecuencia y de la severidad y se puede expresar mediante una ecuación en donde se multiplican estas últimas para obtener el MR; de esta manera se puede establecer un cuadro de doble entrada llamada Matriz de Riesgo para ubicar y categorizar la MR respectiva.

Ecuación:

$$\text{MR (Magnitud de riesgo)} = \text{F (Nivel de frecuencia)} \times \text{S (Nivel de severidad)}$$

En las Tablas 4, 5, 6 y 7 se detallan sobre los niveles de la frecuencia de ocurrencia y la severidad de las consecuencias. En las Tablas 8 y 9 se muestra la clasificación de la magnitud del riesgo como parte de la Matriz de Riesgo Cualitativa la cual integra estos tres elementos de análisis en un solo cuadro en donde se categoriza del riesgo.

Tabla 4

Niveles de la severidad y de la frecuencia

Severidad	Frecuencia
A = Despreciable	1 = Frecuente
B = Menor	2 = Probable
C = Severa	3 = Ocasional
D = Alta	4 = Poco esperable
E = Catastrófica	5 = Remoto
	6 = Extremadamente Remoto

Fuente: Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Tabla 5*Valores de los niveles de frecuencia de eventos iniciadores (cualitativos)*

Valores de niveles de frecuencia	Evento iniciador
1	Fallo de un instrumento sencillo, válvula de control o error humano
1	Fallo de un lazo de control cuando la válvula va hacia su posición ante fallo de aire de instrumentos
2	Pequeña fuga-derrame del proceso (por causas aleatorias)
2	Fallo de un instrumento duplicado, válvulas de control o errores humanos
2	Fallo de un lazo de control cuando la válvula va en contra de su posición ante fallo de aire de instrumentos
3	Considerable fuga-derrame del proceso (por causas aleatorias)
3	Fallo de múltiples instrumentos, válvulas de control
4	Fallos aleatorios en depósitos de procesos
2	Apertura / Cierre erróneo de válvulas con sello
2	Fallo de válvula de emergencia Shutdown (apertura/cierre)
2	Cierre espurio de válvula motorizada
2	Apertura espuria de una válvula de alivio
1	Pérdida de enfriamiento (fallo de un motor / ventilador de un air cooler sencillo – o múltiple pero alimentados desde la misma barra – o fallo del instrumento o válvula de control o fallo humano)
2	Pérdida de enfriamiento (fallo de varios motores / ventiladores de un air cooler – motores alimentados de diferentes barras – o fallos de instrumentos duplicados o válvulas de control o fallos humanos)
1	Pérdida local de aire de instrumentos
2	Pérdida general de aire de instrumentos o de suministro eléctrico
2	Fuga de tubos en un intercambiador de calor
3	Rotura de tubos en un intercambiador de calor
1	Fallo o paro espurio de una bomba o compresor
3	Obstrucción a la salida de un depósito
3	Fuego externo

Fuente: Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Tabla 6

Niveles de reducción de frecuencia de eventos iniciadores (cualitativos)

Valores de niveles de reducción de frecuencia	Capa independiente de protección
2	Válvula de alivio
1	Una o más alarmas independientes con suficiente tiempo para la intervención del operador desde sala de control (al menos 15 minutos) o desde campo (al menos 30 minutos)
1	Una válvula anti-retorno (servicio líquido) (Nota 1)
1	Dos válvulas anti-retorno (de diferente tipo), en servicio vapor / gas (Nota 1)
4	Línea de descarga de bombas diseñada a la presión de shut-off
2	Pavimento con pendiente adecuada para contener el material fugado (Nota 2)
1	Traceado (eléctrico / de vapor)
1	Detectores de gas tóxico que dan alarma con posibilidad de aislamiento o de-presurización desde sala de control por medio de válvulas de accionamiento remoto (Nota 3)
1	Detectores de gas que dan alarma con posibilidad de aislamiento o de-presurización desde sala de control por medio de válvulas de accionamiento remoto (Nota 3)
2	Arrestadores de llama / antidetonantes (Nota 4)
2	Dique / Cubeto
1	Enclavamientos de proceso
4	Límites mecánicos o protecciones de diseño
1	Doble sello mecánico para bombas
Nota 1: Las válvulas anti-retorno son efectivas para prevenir un flujo inverso masivo pero no deben considerarse efectivas para prevenir sobrepresiones.	
Nota 2: La pendiente requerida debe ser especificada e incluida en las especificaciones de pavimentaciones del área.	
Nota 3: Para tener una alarma “confirmada” normalmente es necesaria la señal desde dos detectores.	
Nota 4: Los arrestadores de llama / antidetonantes deben ser diseñados de acorde con la normativa relevante y debe ser certificado como sistema autónomo de protección.	

Fuente: Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Tabla 7

Niveles de la severidad de las consecuencias (cualitativos)

Nivel de severidad de las consecuencias	Consecuencias en:			
	Personas	Pérdida de contención	Medio Ambiente	Operatividad
A	Daños menores o sin daños	Ninguna	Pequeña fuga de producto sin contaminar suelo o agua. Baja probabilidad de quejas de la comunidad.	Tiempo de paro despreciable. Daño mínimo a los equipos, pérdidas económicas por debajo de 20 k€ (25,4 k\$)
B	Daños menores	Fuga limitada de HC. Fuego pequeño muy localizado (no es necesario la intervención de la brigada de bomberos)	Pequeña fuga de producto (área contaminada < 100 m ²). Flaring > 15 t/h. Quejas de la comunidad local. Cobertura de los medios locales. Incidente medioambiental que excede los límites legales (no es necesaria declaración).	Daño a algunos equipos o algún tiempo de paro, pérdidas económicas entre 20 k€ (25,4 k\$) y 200 k€ (254 k\$)
C	Daños mayores	Fuga limitada de HC dentro de la unidad / Fuga de gas tóxico dentro de la unidad. Fuego que requiere la intervención de la brigada de bomberos	Importante fuga de producto (área contaminada < 1000 m ²). Pequeños derrames de productos vertidos al agua. Cobertura de los medios regionales / Quejas a nivel regional. Incidente medioambiental que excede los límites legales (Debe ser declarado).	Daño grande a los equipos o paro de la unidad entre 3 días y 30, pérdidas económicas entre 200 k€ (254 k\$) y 2 M€ (2,54 M\$).
D	Fallecimientos (De 1 a 3)	Importante fuga tóxica o de HC extendiéndose fuera de la unidad. Fuego que requiere la intervención de la brigada de bomberos y ayuda externa	Gran fuga de producto (área contaminada > 1000 m ²). Serio derrame de productos vertidos al agua. Accidente medio ambiental grave. Repercusión nacional / quejas a nivel nacional	Paros mayores de 30 días, pérdidas económicas entre 2 M€ (2,54 M\$) y 10 M€ (12,7 M\$).
E	Múltiples fallecimientos (más de 3)	Gran fuga de tóxicos o HC fuera del complejo de la refinería	Importante responsabilidad de la limpieza del accidente. Daño medioambiental con modificación de la actividad de la comunidad (externa). Cobertura internacional.	Total o muy grande destrucción del área de procesos. Pérdidas económicas por encima de los 10 M€ (12,7 M\$).

Fuente: Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Tabla 8

Matriz de riesgo cualitativa

MATRIZ DE RIESGO CUALITATIVA		SEVERIDAD					
		NIVEL DE SEVERIDAD	A	B	C	D	E
		CATEGORÍA	Despreciable	Marginal	Crítico	Grave	Catastrófico
FRECUENCIA	NIVEL DE FRECUENCIA						
	1	Frecuente	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	RIESGO NO ACEPTABLE	RIESGO NO ACEPTABLE	RIESGO NO ACEPTABLE	RIESGO NO ACEPTABLE
	2	Probable	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	RIESGO NO ACEPTABLE	RIESGO NO ACEPTABLE	RIESGO NO ACEPTABLE
	3	Ocasional	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	RIESGO NO ACEPTABLE	RIESGO NO ACEPTABLE
	4	Poco Esperable	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	RIESGO NO ACEPTABLE
	5	Remoto	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
	6	Extremadamente remoto	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO TOLERABLE (ALARP)

Fuente: Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Tabla 9

Calificación de la magnitud del riesgo

RIESGO NO ACEPTABLE	Acciones correctivas tienen que ser implementadas y evaluadas detalladamente por medio de un Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR).
RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Acciones correctivas tienen que ser evaluadas detalladamente en un Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) o considerar mayor revisión.
RIESGO ACEPTABLE	No son necesarias acciones correctivas

Fuente: Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Hay variedad de metodologías para realizar análisis de riesgos, sin embargo es importante mostrar lo que indica el libro “Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas, Chemical and Related” del autor Dennis P. Nolan (2011):

PHA, What-If, Bow-Tie y HAZOP son los métodos cualitativos industriales más comunes que se utilizan para realizar análisis de riesgos de procesos. Se estima cualitativamente que hasta el 80% de la identificación de peligros y los análisis de seguridad de procesos de una empresa pueden consistir en estas metodologías. (p. 86)

El método What-If se basa en formular preguntas y desarrollar respuestas, evaluándolas y estableciendo una gran variedad de consecuencias que podrían ocurrir.

Para este método se requiere información como el diagrama de flujo de procesos, el diagrama de tuberías e instrumentación, layout de las instalaciones, manual y filosofía de operación, entre otros. Para ello se debe elaborar una lista de planteamientos según la actividad designada para poder generar una serie de preguntas dando una respuesta primero de manera individual y finalmente concertando colectivamente una respuesta resumida. Este método se nutre básicamente de la experiencia de las personas que participan de las sesiones What-If, que suelen ser supervisores, jefes de áreas, personal de seguridad, de ingeniería y operadores. Este método no es sistemático y si hubiera discrepancias, se analizará el caso de manera puntual participando colectivamente y haciendo uso de la lluvia de ideas (brain storming) para un mejor análisis (Nolan, 1994). El método What-If tiene tres aspectos:

- Identificar las condiciones y situaciones peligrosas que pueden resultar de controles inadecuados.
- Identificar eventos que pudieran provocar accidentes mayores.
- Recomendar medidas para poder reducir el riesgo de las instalaciones y mejorar su operatividad.

Una referencia para formular las preguntas What-If las extraemos del libro “Application of HAZOP and What-If Safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical and Chemical Industries” del autor Dennis P. Nolan, de donde extraemos unos ejemplos que pudieran ser: ¿Qué pasa si...

- La mezcla/agitación es deficiente?
- El recipiente se sobrellena?
- El llenado es insuficiente?
- El intercambiador se corroe?
- No cierra / no abre la válvula?
- No se realiza mantenimiento preventivo de la bomba?

Las posibles consecuencias que resulten al responder las preguntas What-If serán los escenarios de riesgo preliminares, como por ejemplo:

- Fuga de producto
- Incendio/explosión
- Liberación de gases tóxicos
- Accidentes para el personal
- Contaminación del medio ambiente
- Daños a las instalaciones
- Interrupción operativa

Las sesiones What-If tienen como objetivo contar con la participación del personal involucrado con las actividades en las instalaciones, los cuales podrían ser identificados como un peligro y por ende un nivel de riesgo, en estas sesiones se desarrolla el proceso descrito anteriormente, analizando los nodos seleccionados.

En esta metodología, los nodos son parte del proceso o una actividad, en donde se examina virtualmente puntos de vista del equipo humano integrante, respecto del diseño y

operación de las instalaciones y se enfoca en los peligros identificados en los documentos y planos disponibles (CCPS, 1992)

Por tanto, durante las sesiones se desarrollan las plantillas What-If, y se determinan las posibles causas, sus posibles consecuencias, su impacto económico, humano o ambiental, se proponen respuestas a las consecuencias por medio de salvaguardas existentes, después se evalúa de manera preliminar la magnitud del riesgo antes de las recomendaciones, para ello es necesario asignar los niveles de Frecuencia, según la Tabla 5, y de Severidad, según la Tabla 7, en la Matriz de Riesgo Cualitativa (ver Tabla 8 y 9) y por consiguiente determinar el riesgo antes de la reducción de esta. En caso se obtenga una clasificación de Riesgo No Aceptable o Riesgo Tolerable se procederá a reducir el riesgo realizando recomendaciones en la plantilla respectiva. En caso se obtenga de manera preliminar una clasificación de Riesgo Aceptable, las recomendaciones serán optativas.

Para realizar las recomendaciones se usa como referencia los niveles de reducción de la Frecuencia mostrados en la Tabla 6 y los niveles de Severidad, de esta manera se vuelve a evaluar el riesgo después de recomendar medidas de protección, las cuales posiblemente reduzcan el riesgo en la Matriz.

Toda esta información se presenta en forma de tablas donde habrá una lista de sistemas y para cada sistema una lista de nodos y por cada nodo una plantilla What-If en donde se plantean las preguntas respectivas. En la Tabla 10 se presenta el formato de la plantilla What-If, la cual facilita la entrada de datos y el análisis posterior al término de las sesiones.

Tabla 10**Plantilla What-If**

Sistema:

Nodo:

What-if	Causas	Consecuencia	Riesgo socio económico	Riesgo humano	Riesgo ambiental	Salvaguarda	MR antes de la reducción del riesgo			Recomendaciones para la reducción del riesgo	MR después de la reducción del riesgo		
							F	S	MR		F	S	MR
			☐	☐	☐								

Nota. F es la frecuencia del riesgo, S es la severidad del riesgo y MR es la magnitud del riesgo. Fuente: elaboración propia, extraída del software PHA Pro versión 8 (2016).

Los resultados de la plantilla What-If que tengan una calificación de Riesgo No Aceptable o cuenten con siniestros tales como incendio mayores, explosiones u otros de gran magnitud, o que en esta etapa no puedan definirse los sistemas de control para tener un Riesgo Aceptable o Riesgo Tolerable por considerarse un escenario complejo, pasarán a un Análisis Cuantitativo de Riesgo. A una parte de los escenarios identificados, las salvaguardas y/o recomendaciones podrían reducir el riesgo a un nivel de Riesgo Aceptable, para ellos no sería necesario un análisis mayor.

5.4.3. Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR)

Una vez identificados los mayores escenarios de riesgo mediante la evaluación preliminar (evaluación cualitativa), se someterá estos escenarios a un Análisis Cuantitativo de Riesgos. Se determina los riesgos que atentan contra la seguridad de las personas llamado Riesgo Individual Total y Riesgo Colectivo/Social. Asimismo, se determinará los riesgos que atentan contra la infraestructura, medio ambiente, personas y negocio llamado Riesgo Económico. Estos análisis se caracteriza por considerar la combinación de dos

elementos: Frecuencia y Consecuencia. Estos elementos se explican en las siguientes secciones.

5.4.3.1. Análisis de Consecuencias. Las consecuencias se centran en los daños hacia las personas, instalaciones y al ambiente que pudieran suscitarse en un escenario de riesgo (siniestro). Los mayores escenarios de riesgo tales como incendios tipo pool fire, explosiones y fugas producen radios de afectación como consecuencia de la radiación térmica, sobrepresión, dispersión, proyectiles, etc. u otro que pudiera presentarse. Para estimar estas consecuencias de los siniestros se utiliza principalmente los fundamentos técnicos de los libros Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis (CCPS y AIChE, 2000), Methods for the Calculation of Physical Effects – 'Yellow Book' CPR 14E (TNO, 2005), Methods for the Determination of Possible Damage – 'Green Book' CPR 16E (TNO, 1992) y por otras publicaciones también reconocidas.

Una vez estimados los radios de afectación para cada escenario, se determinará la afectación a las personas estimando su frecuencia y número de fatalidades y lesionados aplicando la metodología probabilísticas Probit. (National Institute of Public Health and the Environment, 2005). Para determinar la afectación económica correspondiente a los daños materiales, insumos, indemnizaciones sociales y ambientales se utilizará una base de costos referencial. Los modelos matemáticos necesarios para determinar las consecuencias citadas se muestran a continuación:

5.4.3.1.1. Metodología de cálculo charco de fuego. Las consecuencias del incendio se evalúan mediante un cálculo de radiación, y para ello se emplea el modelo matemático de incendio "Pool Fire Solid Plume" o tipo charco de fuego, típico para incendios en tanques atmosféricos de hidrocarburos.

- **Determinación de la geometría del fuego**

Si el líquido queda contenido dentro de un recipiente, tanque o área confinada, el incendio no dependerá tanto de si el escape es instantáneo o continuo, según los modelos dependerán en muchos casos del diámetro equivalente de la superficie del charco con fuego.

Para calcular la geometría de la llama con presencia de viento se deben utilizar las siguientes ecuaciones según CCPS-AIChE (2000):

$$\frac{H}{D} = 6.2 \times \left(\frac{m_B}{\rho_a \times \sqrt{g \times D}} \right)^{0.254} \times (u_{10}^*)^{-0.044}$$

$$u^* = \frac{u_w}{\left[\frac{g m_B D}{\rho_v} \right]^{1/3}}$$

$$y_{max}^* = 1.27 \times 10^{-6} \frac{\Delta H_c}{\Delta H^*}$$

$$m_B = \rho y_{max}^*$$

Donde:

- D** : Diámetro equivalente del charco (m).
- H** : Altura visible de la llama (m).
- y_{max}^{*}** : Tasa de descenso de nivel o velocidad de combustión (m/s).
- m_B** : Velocidad de combustión (kg.m⁻².s⁻¹).
- ΔH_c** : Calor neto de combustión (kJ/kg).
- ΔH^{*}** : Calor de vaporización en el punto de ebullición de líquido (kJ/kg).
- ρ_a** : Densidad del aire a temperatura de ambiente (kg/m³).
- ρ_v** : Densidad del vapor inflamable a temperatura de ebullición (kg/m³).
- ρ** : Densidad del producto a temperatura de ambiente (kg/m³).
- u_w** : Velocidad del viento (m/s).
- u^{*}** : Velocidad del viento adimensional.
- g** : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

- **Radio de la llama**

El efecto térmico del incendio de un charco es principalmente la radiación térmica, la cual debe tenerse en cuenta tanto el emisor de esta radiación como el objeto u objetos que se encuentran expuestos a ella. De acuerdo a la CCPS-AIChE (2000), las siguientes ecuaciones permiten determinar la radiación térmica sobre un objeto a cierta distancia:

$$E_t = T_a \times E_{av} \times F_{21}$$

Donde:

E_t : Radiación térmica o cantidad de calor emitido durante el incendio (kW/m²).

T_a : Transmisividad atmosférica (adimensional).

E_{av} : Poder emisor de zona luminosa (kW/m²).

F_{21} : Factor de vista máximo (adimensional).

- **Poder Emisor (E_{av})**

El poder emisor es la cantidad de calor emitido en forma de radiación por unidad de superficie de la llama. La radiación térmica de un incendio proviene tanto de los gases emitidos (vapor de agua, dióxido y monóxido de carbono) como de las partículas luminosas de ceniza. Las especies gaseosas emiten en una determinada franja del espectro mientras la ceniza lo hace en todo el espectro.

El humo absorbe una parte muy importante de la radiación emitida y esto provoca que la fracción de energía que llega al entorno sea mucho menor. Para este tipo de incendios se propone la correlación siguiente:

$$E_{av} = E_m e^{-SD} + E_s (1 - e^{-SD})$$

Donde:

E_{av} : Poder emisor de zona luminosa (kW/m²).

E_s : Poder emisor de humo (kW/m²).

- E_m : Poder emisor de llamas (kW/m²).
- D : Diámetro equivalente del charco en llamas (m).
- S : Parámetro experimental (m⁻¹).

Esta ecuación se adapta bastante bien a los resultados experimentales de diversos autores. Se puede considerar que el poder emisor del humo (E_s) es aproximadamente 20 kW/m² y el de las llamas (E_m) de preferencia es 140 kW/m² y el parámetro experimental S igual a 0,12 m⁻¹ (CCPS-AIChE, 2000).

- **Factor de vista geométrico (F_{21})**

El factor de vista puede definirse como la fracción de la energía total radiante, emitida por la superficie de la llama, que alcanza directamente a un infinitésimo de la superficie de un objeto cercano a la llama.

El ángulo de inclinación de la llama para los incendios tipo Pool Fire son a menudo inclinados por el viento por lo tanto las llamas del fuego se puede arrastrar a favor del viento y estos efectos alteran la radiación que reciben los lugares circundantes. Según los libros publicados por el CCPS-AIChE (2000) y por la National Fire Protection of Association (NFPA) conjuntamente con la Society of Fire Protection Engineers (SFPE) en el año 2002., la American Gas Association (AGA) propone la siguiente correlación para calcular el ángulo de inclinación de la llama:

$$\cos \theta = 1 \quad \text{para } u^* \leq 1$$

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{u^*}} \quad \text{para } u^* \geq 1$$

Donde:

- μ_w : Medida de la velocidad del viento (m/s).
- g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).
- m_B : Velocidad másica de combustión (kg/m²s).

D : Diámetro equivalente del charco (m).

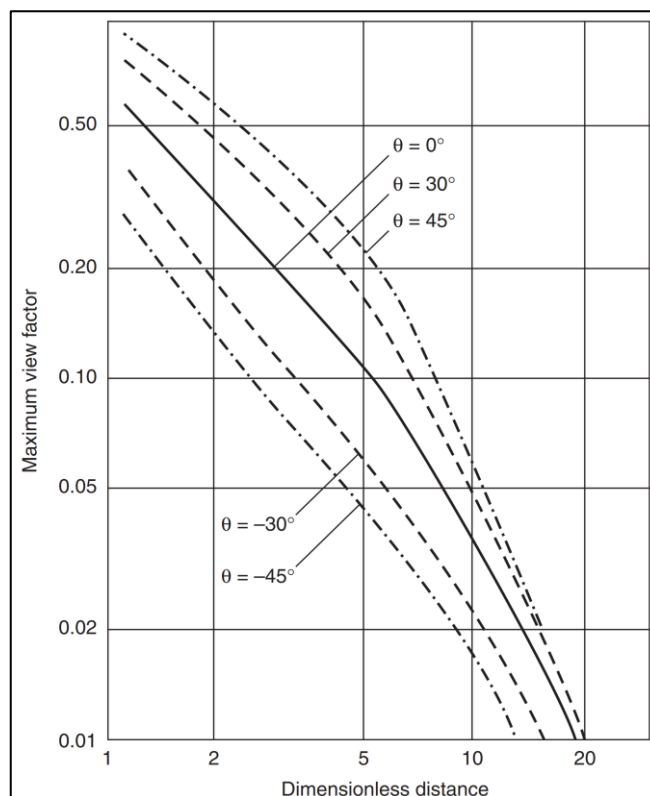
ρ_v : Densidad del vapor a la temperatura de ebullición del líquido (kg/m^3).

θ : Ángulo de inclinación de la llama (radianes) con respecto a la vertical.

Con el valor del ángulo en grados (haciendo la conversión correspondiente) y teniendo la distancia a evaluar, el Factor de Vista Geométrico (F_{21}) se calcula mediante Figura 6.

Figura 6

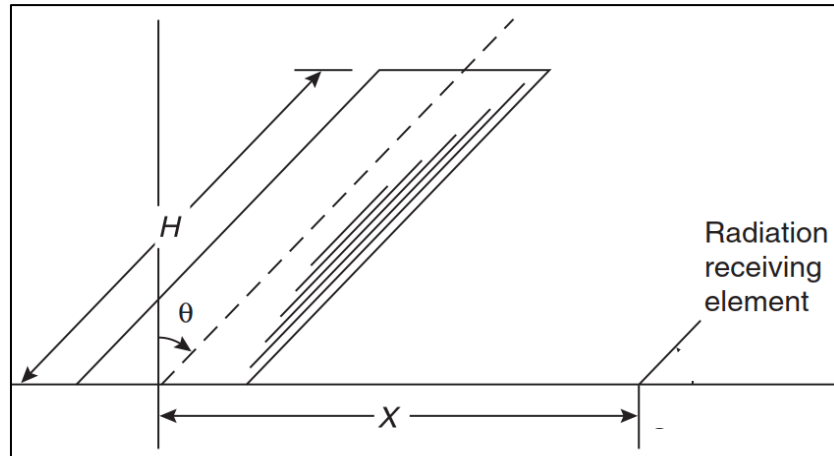
Factor de vista geométrico - modelo solid plume



Fuente: NFPA-SFPE (2002).

Figura 7

Esquema de evaluación de radiación tipo pool fire modelo solid plume



Fuente: NFPA-SFPE (2002).

- **Transmisividad Atmosférica (T_a)**

El valor de la transmisividad atmosférica es necesaria cuando se quiere determinar la cantidad de calor que recibe un objeto a una determinada distancia de la llama. En este caso, la radiación emitida por las llamas se verá parcialmente atenuada con la absorción y la reflexión que produce el medio durante el trayecto entre la llama y el objeto. El método más sencillo para calcular la transmisividad atmosférica se basa en la ecuación de acuerdo CCPS-AIChE (2000):

$$T_a = 2.02(P_w X_s)^{-0.09}$$

$$P_w = 101325 (RH) \exp \left(14.4114 - \frac{5328}{T_a} \right)$$

Donde:

T_a : Transmisividad atmosférica (adimensional).

X_s : Distancia desde la superficie (m) de la llama hasta el punto S (ver Figura 7).

RH : Humedad relativa (%).

P_w : Presión parcial del agua (Pa).

T_a : Temperatura de ambiente (K).

5.4.3.1.2. Metodología de cálculo de explosión. Las consecuencias de una explosión se evaluarán mediante un cálculo de sobrepresión por el método del modelo de Multienergía, el cual permite predecir la forma, la duración, sobrepresión y el impulso de la onda por sobrepresión desde el origen hacia todas las direcciones libres del espacio a una distancia radial. (TNO, 2005, pp. 5.33-5.38) Las correlaciones dadas por el método, se menciona a continuación:

$$r' = \frac{r}{(E/P_0)^{1/3}}$$

$$P'_s = \frac{P_s}{P_0}$$

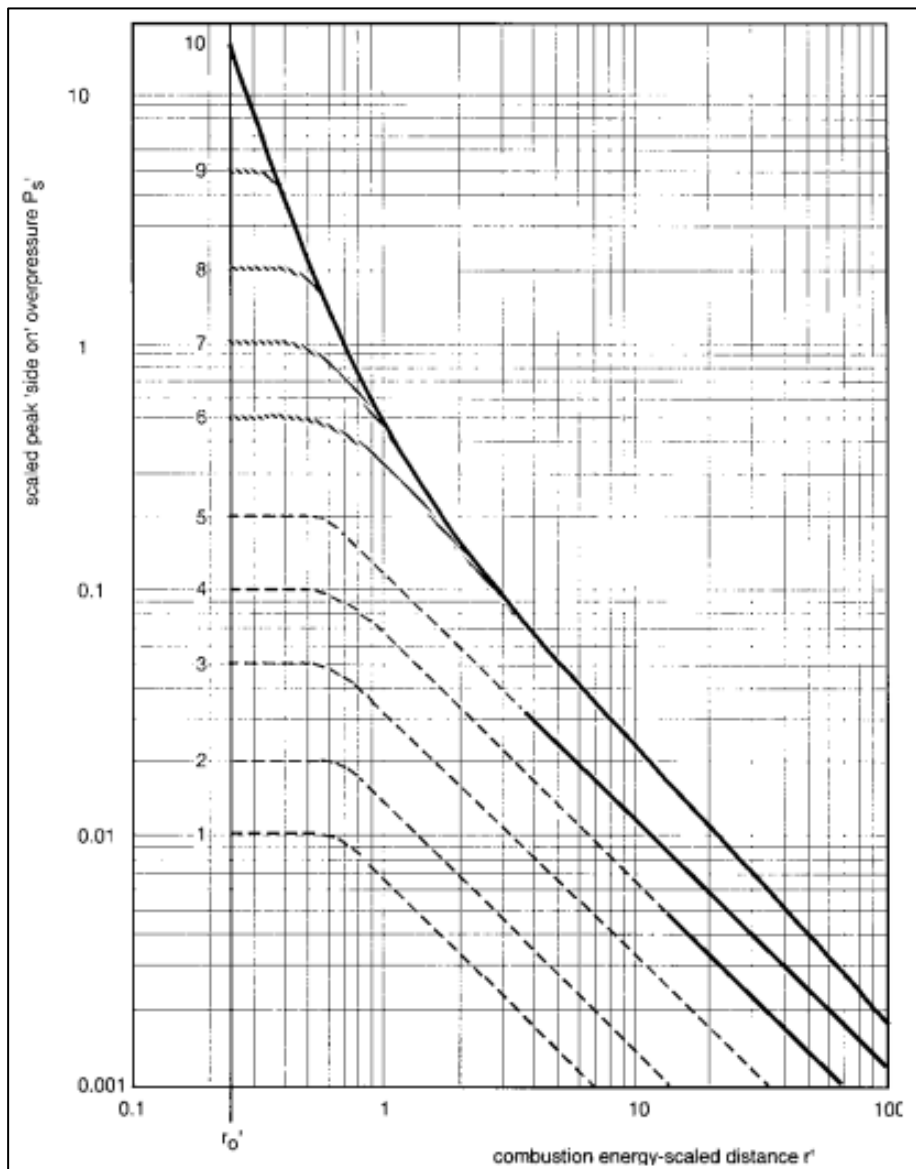
$$t_p = t'_p \left[\frac{(E/P_0)^{1/3}}{c_0} \right]$$

Donde:

- r' : Distancia normalizada.
- r : Distancia a evaluar (m).
- P'_s : Presión normalizada (adimensional, ver Figura 8).
- P_s : Sobrepresión (Pa).
- P_0 : Presión atmosférica.
- E : Energía liberada igual a 3.5×10^6 J/m³ de volumen confinado según TNO.
- c_0 : Velocidad del sonido (m/s).
- t'_p : Duración de la sobrepresión (adimensional, ver Figura 9).
- t_p : Duración de la sobrepresión (s).

Figura 8

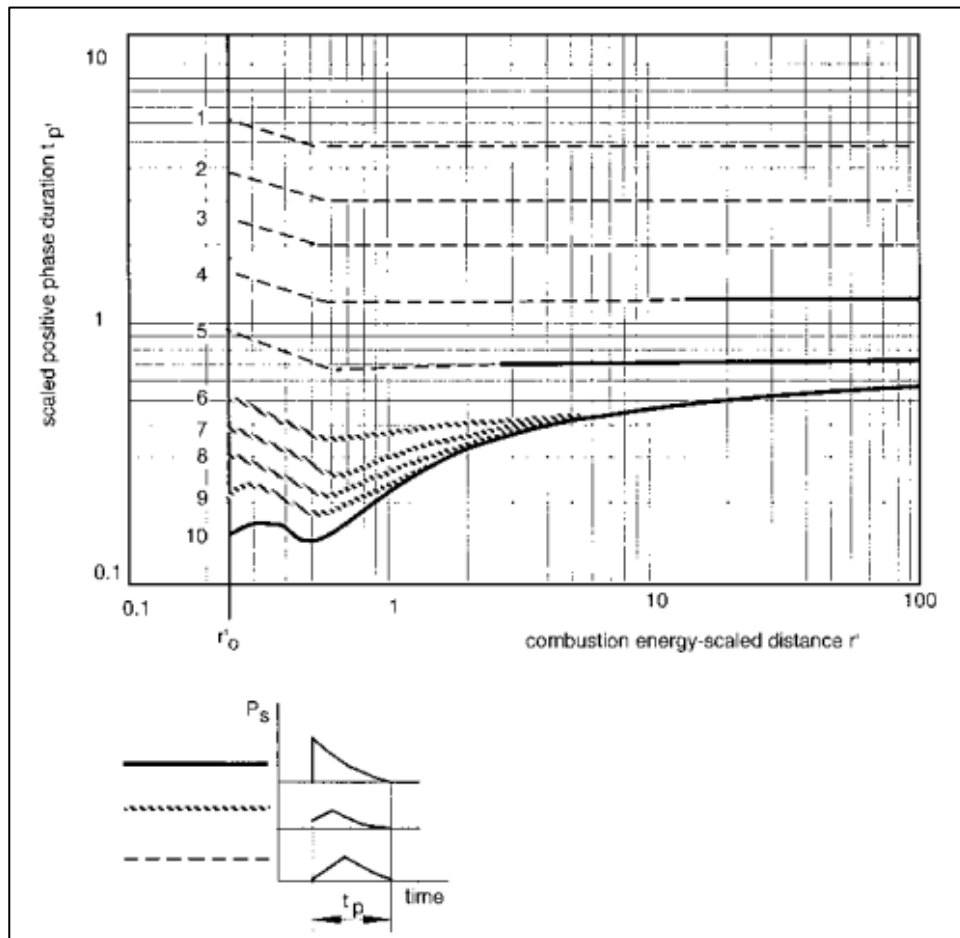
Pico de sobre presión de un explosión con el modelo multienergía



Fuente: TNO (2005).

Figura 9

Duración de la fase positiva y forma de la explosión con el modelo multienergía



Fuente: TNO (2005).

5.4.3.1.3. Metodología de estimación de afectación a personas (Probit). Los motivos para el desarrollo de este método Probit son accidentes que podrían ser evitados, por lo tanto prevenir la afectación a personas expuestas al accidente las cuales podrían resultar muertas, heridas,... etc. Este método experimental calcula este número de personas afectadas para lo cual se usa correlaciones matemáticas que se muestran en esta sección. (Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo, s.f.).

El valor Probit obtenido nos permite conocer el porcentaje de afectación de la población expuesta que sería afectada por intoxicación, radiación térmica y por sobrepresión causada por una carga de exposición, en la Tabla 11 se muestran las

equivalencias del valor Probit y dicho porcentaje (National Institute of Public Health and the Environment, 2005).

Tabla 11

Equivalencia del valor Probit Pr y el porcentaje de afectación a la población P

P	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0	-	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
0.1	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
0.2	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
0.3	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
0.4	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
0.5	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
0.6	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
0.7	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
0.8	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
0.9	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33

Fuente: National Institute of Public Health and the Environment (2005).

En los siguientes puntos se detalla los modelos de cálculo Probit para las afectaciones a las personas por radiación térmica, explosión e intoxicación:

- ***Letalidad por radiación térmica***

Según National Institute of Public Health and the Environment (2005), la función Probit para determinar el porcentaje de muerte por radiación térmica se calcula con la siguiente expresión:

$$Pr = -36.38 + 2.56 \times \ln(Q^{4/3} \times t_e)$$

Donde:

Pr : Probit asociado al porcentaje de muerte por radiación térmica.

Q : Calor por radiación térmica (W/m²).

t_e : Tiempo de exposición (s).

Ahora según publicación de la TNO (1992), el cálculo para el **tiempo de exposición** es con la siguiente expresión:

$$t_e = t_r + \frac{3 X_0}{5 \mu} \left[1 - \left(1 + \frac{\mu}{X_0} t_v \right)^{-5/3} \right]$$

Donde:

t_e : Tiempo de exposición efectivo (s).

t_r : Tiempo de reacción (5 segundos).

X_0 : Distancia al centro del incendio para una radiación de 1kW/m² (m).

μ : Velocidad de escape de la persona (m/s). Velocidad con fines conservadores: 1 m/s.

t_v : Tiempo en llegar a la distancia en donde la intensidad de radiación es 1kW/m² (s).

- ***Vulnerabilidad a radiaciones térmicas***

Este modelo Probit se usa para determinar el porcentaje de afectación a personas por radiación térmica en función de su intensidad y del tiempo de exposición a ella. La institución holandesa TNO (1992) presenta las ecuaciones siguientes para este tipo de vulnerabilidades:

Quemaduras de 2° grado:

$$P_r = -43.14 + 3.0186 \ln(t_e q^{4/3})$$

Quemaduras de 1° grado:

$$P_r = -39.83 + 3.0186 \ln(t_e q^{4/3})$$

Daños de equipos:

$$P_r = -7.525 + 4.084 \ln(q)$$

Donde:

P_r : Probit asociado a la probabilidad de vulneración por radiación térmica.

t_e : Tiempo de exposición efectivo (s).

q : Intensidad de calor por radiación térmica (W/m²).

- **Vulnerabilidad a explosiones**

Este modelo Probit se usa para determinar el porcentaje de afectación a personas por explosiones, los daños directos son las lesiones a los pulmones y tímpanos y los daños indirectos son lesiones ocasionados por proyección de fragmentos e impacto del cuerpo de la persona contra obstáculos. El Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo, (s.f.) de España nos muestran las ecuaciones Probit de Eisenberg et al. (1975).

La ecuación Probit, para determinar el porcentaje de muertes por **hemorragia pulmonar** es la siguiente:

$$P_r = -77.1 + 6.91 \ln P$$

Donde:

P: Sobrepresión máxima (N/m²).

La ecuación Probit para determinar el porcentaje de **lesionados por impacto** y desplazamiento del cuerpo contra obstáculos es la siguiente:

$$P_r = 39.1 + 4.45 \ln J$$

Donde:

J: Impulso por la sobrepresión (N.s/m²).

La ecuación Probit para determinar el porcentaje de **muerte por impacto** y desplazamiento del cuerpo contra obstáculos es la siguiente:

$$P_r = -46.1 + 4.82 \ln J$$

Donde:

J: Impulso por la sobrepresión durante el tiempo de actuación (N. s/m²).

La ecuación Probit para determinar el porcentaje de afectación por **rotura de tímpano** es la siguiente:

$$P_r = -15.6 + 1.93 \ln P$$

Donde:

P: Sobrepresión máxima (N/m²).

La ecuación Probit para determinar el porcentaje de **destrucción de infraestructura** es la siguiente:

$$P_r = -23.8 + 2.92 \ln P$$

Donde:

P: Sobrepresión máxima (N/m²).

5.4.3.1.4. Modelo de transferencia de calor por radiación térmica. Este modelo se recoge del libro Methods for the Determination of Possible Damage de la TNO (1992) en donde se realiza un balance de transferencia de calor entre la superficie metálica afectada y la radiación incidente sobre ella (q_i) en W/m². Con esta ecuación se desarrolla el perfil de temperatura (T) en K de la superficie versus el tiempo de exposición a la radiación térmica (tales como incendios). De esa forma se determinará la necesidad o no de enfriar superficies para un tiempo de exposición sin que colapse la estructura.

El balance de calor referenciado para una placa metálica afectada por la radiación de un incendio es de la siguiente forma:

$$\Delta T = \frac{1}{\rho c d} [a q_i - 2\{\epsilon \sigma T^4 + \alpha(T - T_0)\}] \Delta t$$

Donde:

ΔT : Variación de temperatura (K).

ρ : Densidad.

c : Calor específico.

d : Espesor de la placa (m).

a : Coeficiente de absorción (= 1).

q_i : Calor de radiación (W/m²).

- ϵ : Coeficiente de emisión (= 1).
- σ : Constante de Boltzmann (= $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$).
- T : Temperatura del material de acero (K).
- α : Coeficiente convección (= $7 \text{ w/m}^2\text{K}$).
- T_0 : Temperatura ambiental (= 296.88 K).
- Δt : Variación del tiempo de exposición.

5.4.3.1.5. Criterios de evaluación. Se evalúa las distancias de afectación para las vulnerabilidades del 99%, 50% y 1% obtenidas de los modelos Probit, estas consideraciones son para fines de evaluación, además a manera de asunción, las personas expuestas a una vulnerabilidad mayor del 50%, de ocurrirle el efecto no deseado prácticamente sería un hecho, y que todas las personas fuera de este límite, es decir los que se encuentran con una vulnerabilidad menor del 50% se presume la no ocurrencia de este daño. En la mayoría de los casos este supuesto es conveniente para las personas, ya que en realidad no todas las personas cuyas ubicaciones se encuentran con mayores del 50% de vulnerabilidad se verán afectadas y que algunas personas con menores vulnerabilidades al 50% pudieran ser afectadas. Por lo tanto el supuesto permite equilibrar el promedio de la situación y es útil para el desarrollo del presente análisis establecido.

En esta sección, en las Tablas 12 y 13 se pueden apreciar valores límites como criterios referenciales de fuentes importantes con la finalidad de evaluar los valores obtenidos con los métodos Probit para escenarios de incendio y explosión.

Tabla 12*Criterios referenciales de evaluación de radiación térmica*

Radiación (kW/m ²)	Comentario/Vulnerabilidades
37,5	Suficiente para causar daños a equipos de procesos (CCPS-AIChE, 2000).
12,5	Expone a equipos y estructuras a una temperatura de 300°C, es lo máximo seguro que podrían soportar para que puedan soportar frente a un incendio sin la aplicación de agua de enfriamiento (American Petroleum Institute-API 2218, 1999).
8	Límite para enfriar estructuras vulnerables (American Petroleum Institute-API 2218, 1999). A partir de 1 hora pueden fallar las estructuras y surgir deformaciones por efectos de temperatura de alrededor de los 157°C, considerando un tanque atmosférico de acero con un nivel de líquido casi vacío de 0,5m (Liu, Y., 2011).
1	Radiación térmica solar equivalente en un día de verano (CCPS-AIChE, 2000).

Nota. Elaboración propia.

Tabla 13*Criterios referenciales de evaluación en caso de explosión*

Sobrepresión (bar)	Comentario/vulnerabilidades
2,025	Zona límite al 99% de muerte por hemorragia pulmonar.
1,445	Zona límite al 50% de muerte por hemorragia pulmonar.
1,032	Zona límite al 1% de muerte por hemorragia pulmonar.
1,445	Zona límite al 99% de lesión por rotura de tímpano.
0,432	Zona límite al 50% de lesión por rotura de tímpano.
0,129	Zona límite al 1% de lesión por rotura de tímpano.
0,427	Zona límite al 99% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
0,192	Zona límite al 50% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
0,087	Zona límite al 1% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
0,07	Rotura de todos los cristales de ventanas.
0,02	95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas.
0,01	Rotura de algún cristal.

Fuente: Eisenberg et al. (1975) & CCPS-AIChE (2000).

5.4.3.2. Estimación de Frecuencias. La estimación de frecuencias de ocurrencias de eventos se realiza usando los siguientes métodos:

- Análisis de Árbol de Fallas (Fault Tree Analysis: FTA).
- Análisis de Árbol de Eventos (Event Tree Analysis: ETA).

Antes de desarrollar el análisis de este tema, es necesario conocer la definición de frecuencia y probabilidad de ocurrencia según National Institute of Public Health and the Environment (2005):

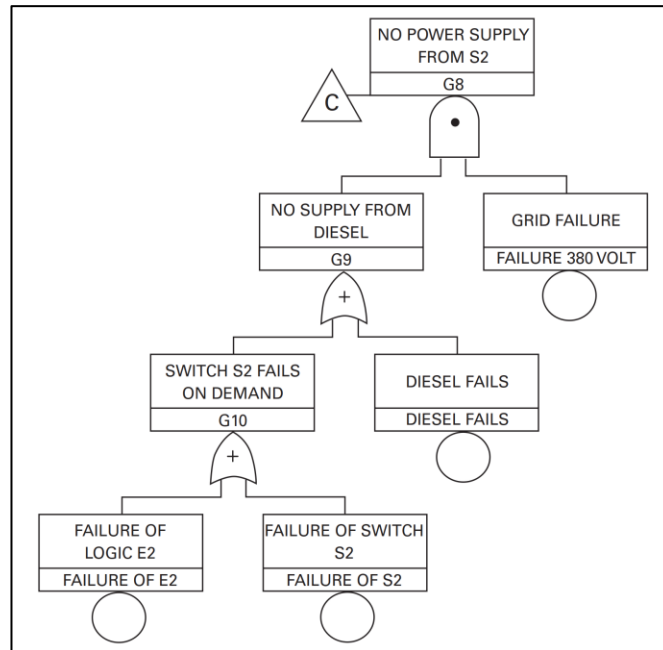
Frecuencia: Es el número de veces que se espera que ocurra un resultado en un período de tiempo determinado, generalmente un año.

Probabilidad: Medida de que ocurra una ocurrencia, expresada como un número adimensional entre 0 y 1. El riesgo se define como la probabilidad de que dentro de un período de tiempo fijo, generalmente un año, ocurra un efecto no deseado. En consecuencia, el riesgo es un número adimensional. Sin embargo, el riesgo a menudo se expresa en unidades de frecuencia, “por año”. Dado que las frecuencias de fallas son bajas, la probabilidad de que ocurra un efecto no deseado dentro de un período de tiempo fijo de un año es prácticamente igual a la frecuencia de ocurrencia por año. (pp. G.3, G.5)

5.4.3.2.1. Análisis de Árboles de Fallas. Es una técnica deductiva que se centra en un suceso accidental particular (accidente) y proporciona un método para determinar las causas que han producido dicho accidente. El hecho de su gran utilización se basa en que puede proporcionar resultados tanto cualitativos mediante la búsqueda de caminos críticos, como cuantitativos, en términos de probabilidad de fallos de componentes.

Figura 10

Ejemplo de diagrama de árbol de falla de elementos críticos

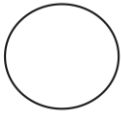
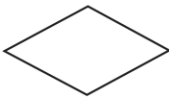


Fuente: J.C.H. Schüller (2005).

Para el tratamiento del problema se utiliza un modelo gráfico que muestra las distintas combinaciones de fallos de componentes y/o errores humanos cuya ocurrencia simultánea es suficiente para desembocar en un suceso accidental. La técnica consiste en un proceso deductivo basado en las leyes del Álgebra de Boole, que permite determinar la expresión de sucesos complejos estudiados en función de los fallos básicos de los elementos que intervienen en él. Consiste en descomponer sistemáticamente un suceso complejo en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos, ligados normalmente a fallos de componentes, errores humanos, errores operativos, etc. Este proceso se realiza enlazando dichos tipos de sucesos mediante lo que se denomina puertas lógicas que representan los operadores del álgebra de sucesos. Cada uno de estos aspectos se representa gráficamente durante la elaboración del árbol mediante diferentes símbolos que representan los tipos de sucesos (ver la Tabla 14), las puertas lógicas y las transferencias o desarrollos posteriores del árbol.

Tabla 14

Descripción de los símbolos de árbol de fallas

Symbol	Description
	Intermediate event A fault event that occurs because of one or more antecedent causes acting through logic gates have occurred.
	And gate The AND-gate is used to show that the output event occurs only if all the input events occur.
	Or gate The OR-gate is used to show that the output event occurs only if one or more of the input events occur.
	Basic Event A basic event that requires no further development because the appropriate limit of resolution has been reached.
	Transfer A triangle indicates that the tree is developed further at the occurrence of the corresponding transfer symbol.
	Undeveloped Event A diamond is used to define an event which is not further developed either because it is of insufficient consequence or because information is unavailable.

Fuente: J.C.H. Schüller (2005).

El análisis del árbol sobre el plano de su estructura lógica para poder determinar las combinaciones mínimas de sucesos básicos que hagan que se produzca el suceso no deseado o evento que se pretende evitar (noción de "conjunto mínimo de fallos"). Además, la estructura lógica de un árbol de fallos permite utilizar el Álgebra de Boole, traduciendo esta estructura a ecuaciones lógicas. Para ello se expone muy brevemente tal sistema de equivalencia lógica:

- Una puerta "O" equivale a un signo "+", no de adición sino de unión en teoría de conjuntos.
- Una puerta "Y" equivale a un signo "." equivalente a la intersección.

Para la resolución de árboles de fallos se realizan los siguientes pasos:

- Identificación de todas las puertas lógicas y sucesos básicos.
- Resolución de todas las puertas en sus sucesos básicos.
- Eliminación de los sucesos repetidos en los conjuntos de fallo: aplicación de la propiedad idempotente del álgebra de Boole.
- Eliminación de los conjuntos de fallo que contengan a su vez conjuntos de fallo más pequeños, es decir, determinación de entre todas las combinaciones posibles, los conjuntos mínimos de fallo: aplicación de la ley de absorción del álgebra de Boole.

La estructura lógica de los árboles de falla puede ser expresada en términos de ecuaciones algebraicas de Boolean, como muestra la Tabla 15. El álgebra de Boolean es usado para reducir ecuaciones compuestas de variables que pueden ser tomadas en solo dos valores.

Tabla 15*Selección de reglas del álgebra de Boolean*

Regla	Forma matemática
Regla conmutativa	$A \cdot B = B \cdot A$ $A + B = B + A$
Regla asociativa	$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$ $A + (B + C) = (A + B) + C$
Regla distributiva	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$ $A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$
Regla idempotente	$A \cdot A = A$ $A + A = A$
Regla de absorción	$A \cdot (A + B) = A$ $A + A \cdot B = A$

Fuente: CCPS-AIChE (2000).

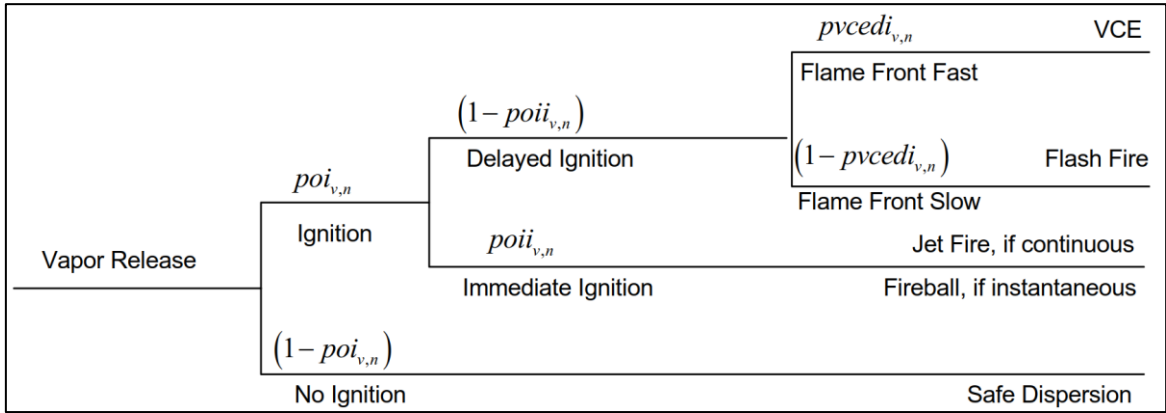
5.4.3.2.2. Análisis de Árbol de Eventos. El análisis de las frecuencias de las hipótesis de accidentes es realizado por árboles de eventos que cubren una secuencia lógica de propagación del evento, desde el derrame de producto, hasta las consecuencias posibles como incendio, explosión o simplemente la dispersión de la sustancia.

Posterior a la construcción de los árboles de eventos, la frecuencia de cada escenario de accidente se obtiene multiplicando la frecuencia de los eventos iniciadores por las probabilidades de cada una de las ramificaciones del árbol (probabilidad de ignición y probabilidad de ocurrencia de explosión). Además, este puede ser extensivo multiplicando las probabilidades de las direcciones del viento, como por ejemplo.

En las Figuras 11 y 12 se muestran arboles de eventos partiendo de siniestros iniciales como liberaciones de vapores y/o líquidos, además, se deben calcular los valores de probabilidad de ignición inmediata (*poi*) y probabilidades de acumulación rápida y lenta de producto (*pvc*). Para ello, se usará la Tabla 16 cuyas probabilidades dependen de si la liberación de producto está en forma de vapor o de líquido y si es de forma continua o instantánea dicha liberación.

Figura 11

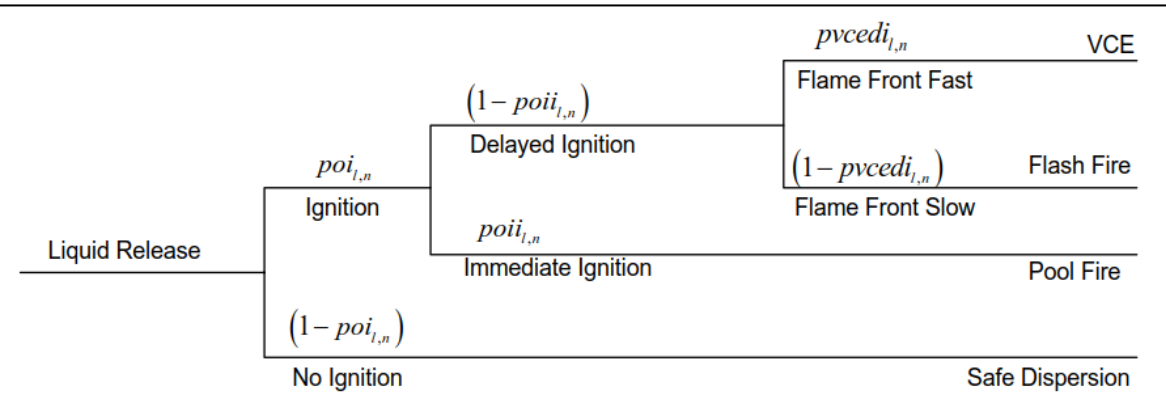
Análisis de árbol de eventos para el caso de liberación de vapor



Fuente: America Petroleum Institute - API RP 581 (2008).

Figura 12

Análisis de árbol de eventos para el caso de liberación de líquido



Fuente: America Petroleum Institute - API RP 581 (2008).

Tabla 16*Probabilidad de eventos*

Tipo de liberación	Fase del fluido	Probabilidad de ignición inmediata, dada una ignición		Probabilidad de VCE o Flash Fire, dada una ignición tardía	
		T_{amb} poi_{in}^{amb}	TIA poi_{ait}	VCE $pvcedi_{l,n}$ o $pvcedi_{v,n}$	Flash Fire $pffdi_{l,n}$ o $pffdi_{v,n}$
Continuo	Líquido	0,80	1,00	0,25	0,75
Continuo	Vapor	0,50	1,00	0,50	0,50
Instantáneo	Líquido	0,80	1,00	0,125	0,875
Instantáneo	Vapor	0,10	1,00	0,25	0,75

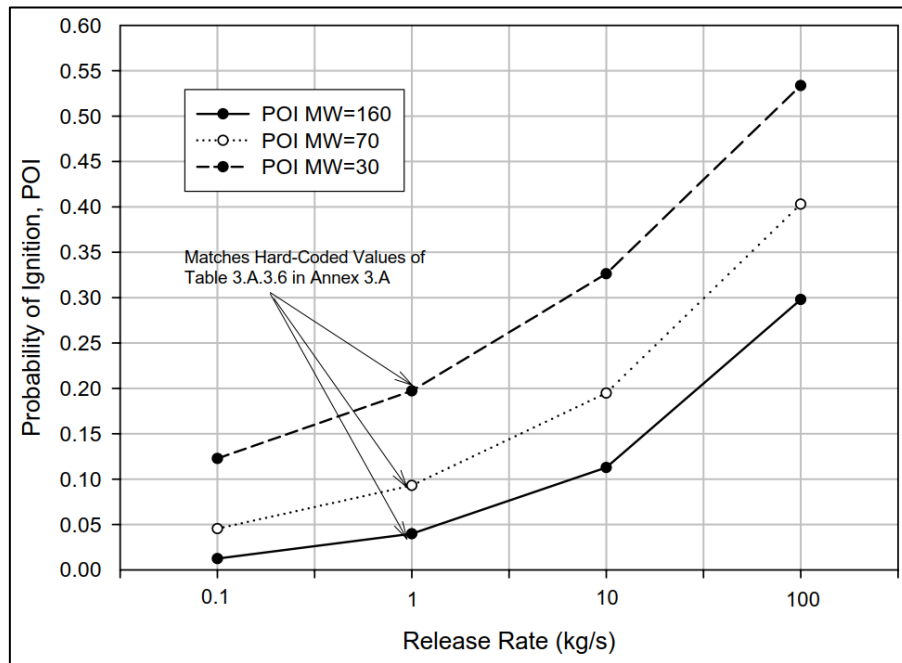
Nota: TIA significa temperatura de auto ignición inmediata, CVE se traduce en explosión de vapores confinados (Confined Vapor Explosion). Fuente: American Petroleum Institute - API RP 581 (2008).

La referencia Risk-Based Inspection Technology - Downstream Segment de la American Petroleum Institute - API RP 581, es una fuente para la valoración de las probabilidades de ignición. Sin embargo, se debe conocer previamente si la liberación de producto es continua o instantánea. Para ello, se calcula el flujo másico de liberación (en Kg/s), dada de un Análisis de Consecuencias, y si este valor en 3 minutos supera las 10 000 libras la liberación de producto será instantánea, caso contrario será continuo (API RP 581, 2008).

Luego de ello, con los valores de flujo másico de liberación de producto y la masa molar del mismo se ingresa a la Figura 13 o 14 y se halla el valor de ignición inicial (poi) para el árbol de eventos. Si la masa molar no fuera alguna de las líneas marcadas, se hará una interpolación para hallar el valor de probabilidad de ignición.

Figura 13

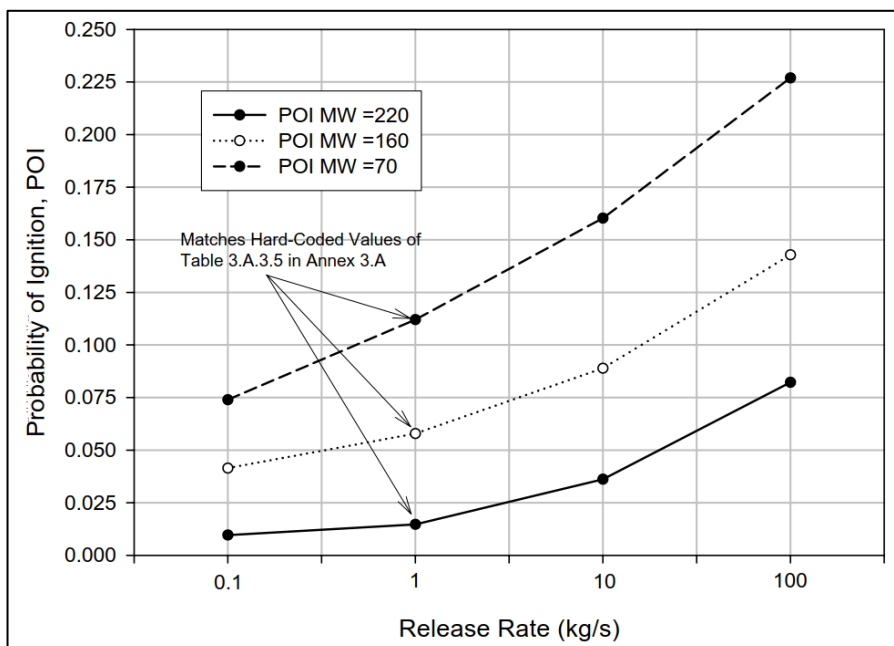
Probabilidad de ignición para vapores



Fuente: American Petroleum Institute - API RP 581 (2008).

Figura 14

Probabilidad de ignición para líquidos



Fuente: American Petroleum Institute - API RP 581 (2008).

Una vez obtenido los valores de probabilidad de ignición se procede a realizar el árbol de eventos (Figuras 11 y 12) descrito en el API RP 581.

El método de estimación de frecuencia mencionado líneas arriba son recomendados para recipientes a presión, tuberías, equipos de procesos e instalaciones afines; sin embargo, según el libro Guideline for Quantitative Risk Assessment - 'Purple Book' de la National Institute of Public Health and the Environment (2005), la frecuencia de fallas de tanques atmosféricos son basadas en su mayoría en el juicio experto considerando que para estos tipos de instalaciones sus productos almacenados se encuentran en contacto directo con el medio ambiente, por lo tanto, se hace necesario plantear un método de cálculo para los mayores escenarios de riesgo que se identifiquen.

5.4.3.3. Estimación de Riesgo Individual Total. Según CCPS-AIChE, (2000) la estimación del Riesgo Individual Total en cualquier ubicación geográfica (x,y) del área industrial y alrededores, es la suma de los riesgos individuales en ese punto, debido a los varios casos de resultados asociados a los distintos sectores del área industrial de análisis. A continuación se muestran las ecuaciones que calculan el riesgo mencionado:

$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^n IR_{x,y,i}$$

$$IR_{x,y,i} = f_i \times p_{f,i}$$

Donde:

$IR_{x,y}$: Es el riesgo individual total de fatalidad para la ubicación geográfica (x, y) para todos los posibles casos de un escenario (año⁻¹)

$IR_{x,y,i}$: Es el riesgo individual de fatalidad para la ubicación geográfica (x, y) para el caso i de un escenario (año⁻¹)

f_i : Frecuencia de la fatalidad producto del caso i (año⁻¹) en (x, y)

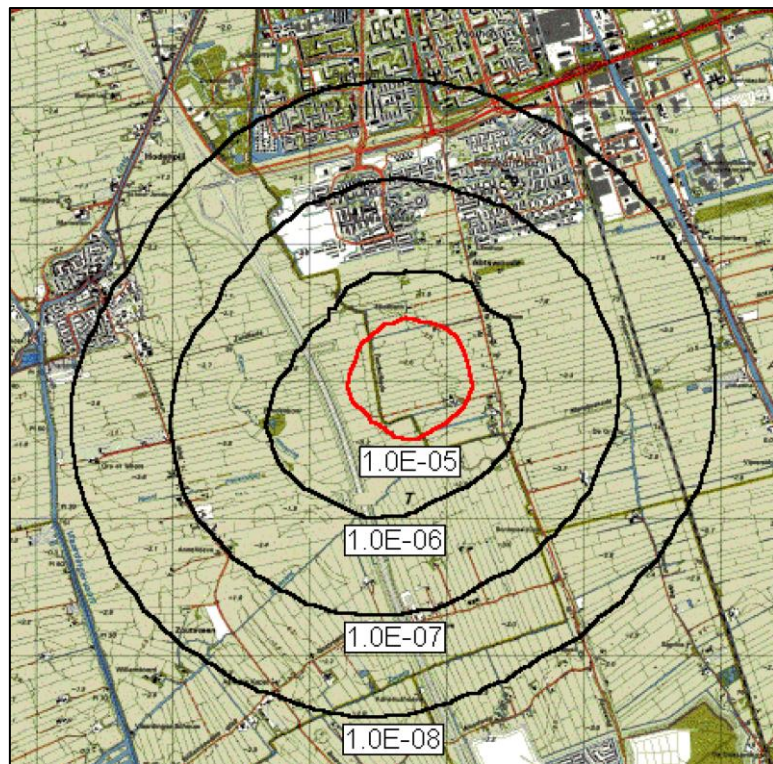
$p_{f,i}$: Probabilidad de la fatalidad producto del caso i en (x, y)

- n** : Número total de casos considerados en el análisis.
- i** : Caso particular de un escenario de riesgo.

Cabe mencionar que el riesgo individual total es calculado para una ubicación específica, en el cual se puede representar mediante contornos de riesgos individuales totales como se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Contornos de riesgos individuales totales

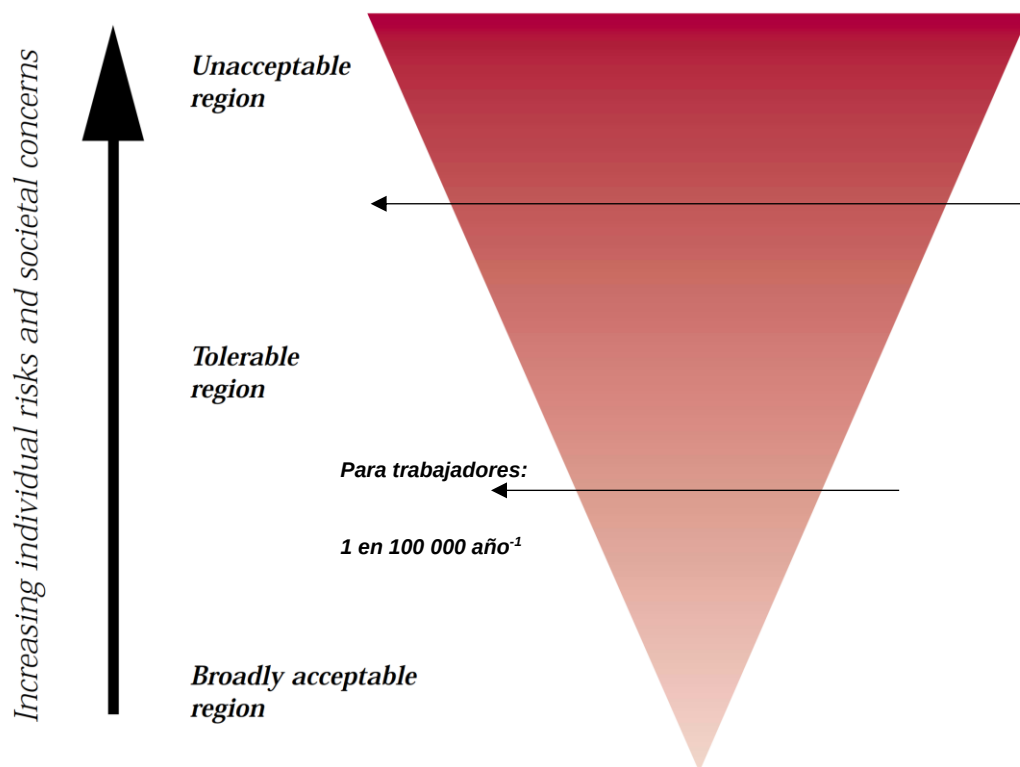


Fuente: National Institute of Public Health and the Environment (2005).

El criterio de aceptación de riesgo individual total es según como indica la Figura 16, en tres categorías: Aceptable, Tolerable y No aceptable.

Figura 16

Criterios de aceptación de riesgo individual (Fatalidades por año)



Fuente: Health & Safety Executive (2001).

De la Figura 16 se establece un riesgo individual para el personal ubicado dentro de las instalaciones de la siguiente forma:

- El riesgo individual situado por encima de 10^{-3} fatalidades/año, es catalogado como Riesgo No Aceptable y debe ser reducido independientemente del costo que implique.
- El riesgo individual igual o menor a 10^{-3} fatalidades/año pero mayor a 10^{-5} fatalidades/año, es catalogado como Riesgo Tolerable, por lo que deberá ser reducida a niveles tan bajos como sea posible. Esta región recibe el nombre de ALARP (As Low As Reasonably Practicable). Los riesgos situados en esta región no serán reducidos si es que el costo requerido sea desproporcionado en comparación con la mejora obtenida según viabilidad costo-beneficio, el cual

consiste en confirmar si los daños económicos anualizados antes de las acciones de mitigación son mayores a los costos de los daños después de la mitigación (riesgos residuales) más los costos anualizados de las acciones de mitigación.

- El riesgo individual que es igual o menor de 10^{-5} fatalidades/año, es catalogado como riesgo aceptable y no necesita acciones de mitigación, salvo las acciones de reducción de riesgos que disponga el usuario.

De la Figura 16 para una persona que se encuentra fuera de las instalaciones se establece:

- El riesgo individual situado por encima de 10^{-4} fatalidades/año, es catalogado como Riesgo No Aceptable y debe ser reducido independientemente del costo que implique.
- El riesgo individual igual o menor a 10^{-4} fatalidades/año pero mayor a 10^{-6} fatalidades/año, es catalogado como Riesgo Tolerable, por lo que deberá ser reducida a niveles tan bajos como sea posible. Esta región recibe el nombre de ALARP (As Low As Reasonably Practicable). Los riesgos situados en esta región no serán reducidos si es que el costo requerido sea desproporcionado en comparación con la mejora obtenida según viabilidad costo-beneficio, el cual consiste en confirmar si los daños económicos anualizados antes de las acciones de mitigación son mayores a los costos de los daños después de la mitigación (riesgos residuales) más los costos anualizados de las acciones de mitigación.
- El riesgo individual que es igual o menor de 10^{-6} fatalidades/año, es catalogado como riesgo aceptable y no necesita acciones de mitigación, salvo las acciones de reducción de riesgos que disponga el usuario.

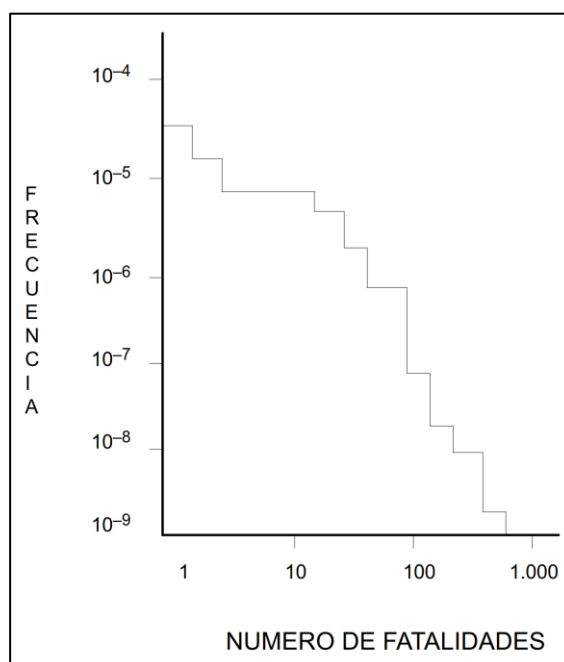
5.4.3.4. Estimación de Riesgo Colectivo Social. La determinación del Riesgo Colectivo Social se realiza mediante la estimación de las consecuencias y de las frecuencias, de manera análoga al cálculo del Riesgo Individual Total; en donde se establece el número de personas afectadas (fatalidades) para cada caso en todos los escenarios de riesgo con su respectiva frecuencia de ocurrencia del siniestro.

Para fines prácticos se asume como personas afectadas por fatalidades al que se ubique dentro del radio del 50% de probabilidad de letalidad que se produce en cada uno de los escenarios.

Seguidamente se ordena de mayor a menor con respecto al número de fatalidades con sus respectivas frecuencias de ocurrencia, para después obtener la frecuencia acumulativa y graficarla según la Figura 17 que representa el riesgo social mediante gráficos F-N en donde F es la Frecuencia Acumulada (año^{-1}) y N es el Número de Fatalidades (CCPS-AIChE, 2000).

Figura 17

Curva F-N de riesgo colectivo/social

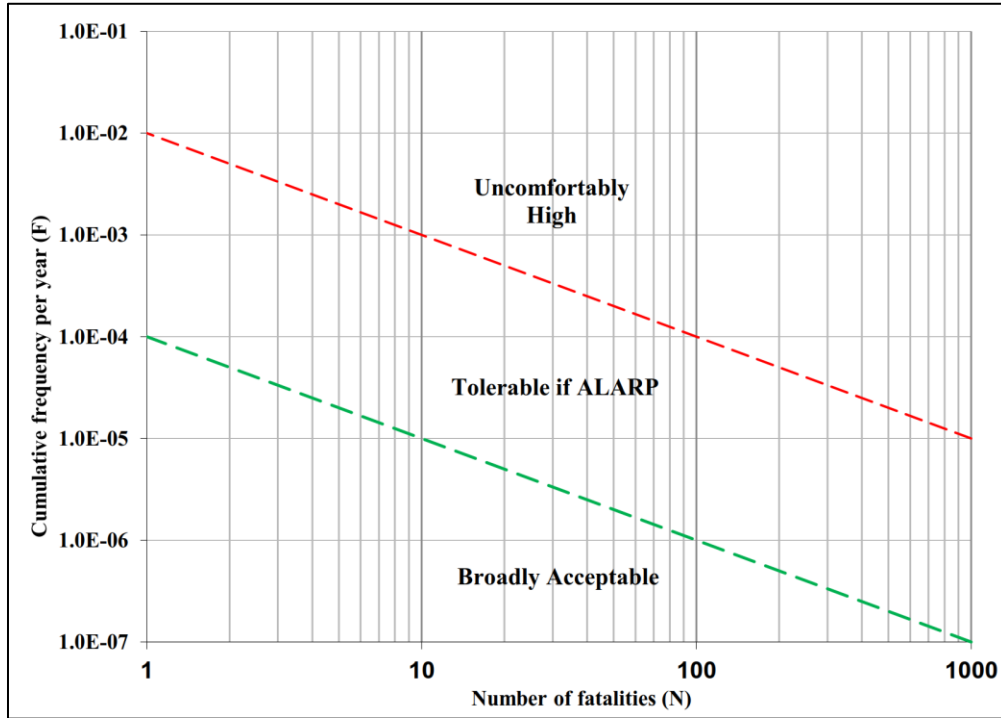


Fuente: Petróleos de Venezuela SA (1995).

En la Figura 18 se muestran los criterios de aceptación y tolerabilidad del Riesgo Colectivo Social y en función de la ubicación de todos los puntos de la curva F-N se puede visualizar como se clasifican los escenarios de riesgo analizados.

Figura 18

Criterios de aceptación de riesgo social (Curva F-N)



Fuente: Stanley et al. (2018).

5.4.3.5. Estimación de Riesgo Económico. Según CCPS-AIChE (2000), “el riesgo se evalúa en función de la probabilidad o frecuencia y de la consecuencia de un escenario en particular no deseado” (p. 2). De este concepto, el riesgo económico se calcula de la siguiente manera:

$$R_k = Función_{(C_k, F_k)}$$

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ki} \times f_{k,i}}{F_k}$$

$$F_k = \sum_{i=1}^n f_{k,i}$$

Donde:

- R_k : Riesgo económico del escenario k (año⁻¹).
- C_k : Consecuencia en costo equivalente de daños del escenario k (año 2016).
- c_{ki} : Consecuencia en costo de daños del caso i del escenario k (año 2016).
En dólares americanos, producto del análisis de consecuencias.
- F_k : Frecuencia de ocurrencia del escenario k (año⁻¹)
- f_{ki} : Frecuencia de ocurrencia del caso i del escenario k (año⁻¹).
Determinado en la sección de estimación de frecuencias.
- i : Número de caso del escenario k.
- n : Número total de casos del escenario k.
- k : Número del escenario.

Según los valores resultantes para las consecuencias y frecuencias, se le asigna un índice respectivo, con estos índices se categoriza y jerarquiza el riesgo económico de acuerdo con la Matriz de Riesgo Económico mostrada en la Tabla 17. El criterio de aceptación del riesgo económico es similar a la realizada con la Matriz de Riesgo Cualitativo.

Tabla 17

Matriz cuantitativa de riesgo económico

MATRIZ CUANTITATIVA DE RIESGO ECONÓMICO			CONSECUENCIA (C) (US\$@2016)					
			ÍNDICE DE SEVERIDAD	A	B	C	D	E
			CATEGORÍA	Despreciable	Marginal	Crítico	Grave	Catastrófico
FRECUENCIA (F) (AÑO ⁻¹)	ÍNDICE DE FRECUENCIA	CATEGORÍA	RANGO DE VALORES	≤ \$ 25 400	<\$ 25 400 - \$ 254 000]	<\$ 254 000 - \$ 2 540 000]	<\$ 2 540 000 - \$ 12 700 000]	> \$ 12 700 000
	1	Frecuente	>10 ⁻¹	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	RIESGO NO ACEPTABLE	RIESGO NO ACEPTABLE	RIESGO NO ACEPTABLE	RIESGO NO ACEPTABLE
	2	Probable	<10 ⁻² - 10 ⁻¹]	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	RIESGO NO ACEPTABLE	RIESGO NO ACEPTABLE	RIESGO NO ACEPTABLE
	3	Ocasional	<10 ⁻³ - 10 ⁻²]	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	RIESGO NO ACEPTABLE	RIESGO NO ACEPTABLE
	4	Poco Esperable	<10 ⁻⁴ - 10 ⁻³]	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	RIESGO NO ACEPTABLE
	5	Remoto	<10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁴]	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
	6	Extremadamente remoto	≤10 ⁻⁵	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO TOLERABLE (ALARP)

Fuente: Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

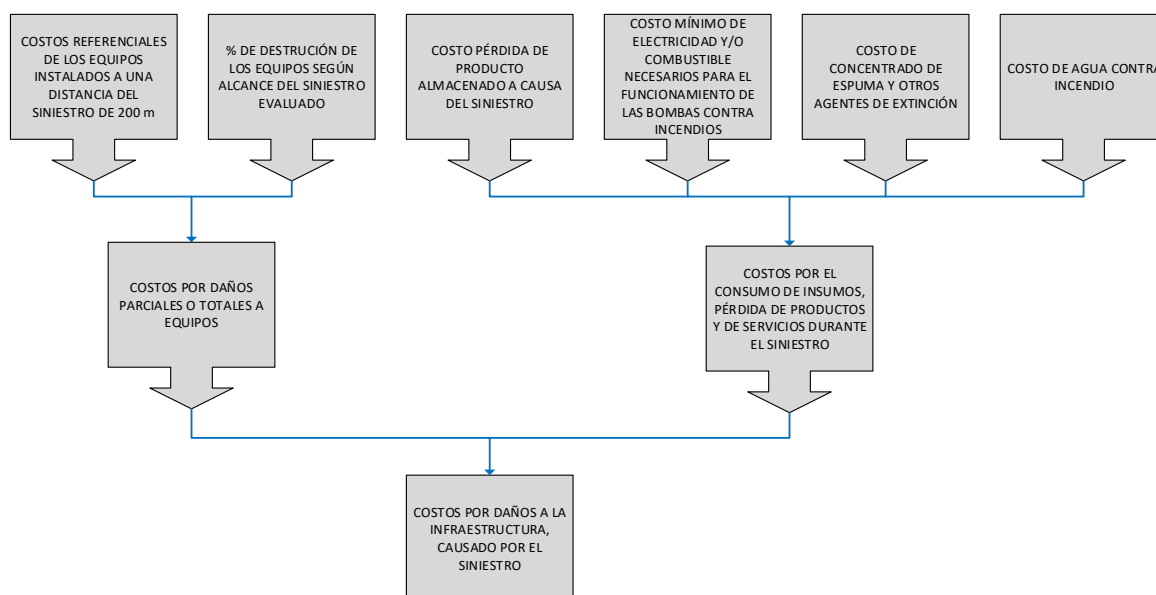
La estimación de las consecuencias económicas por la afectación de cada uno de los casos y escenarios, necesarios para determinar el Riesgo Económico, están enfocados en los daños de a la infraestructura, daños a las personas y daños al medio ambiente, a continuación se muestra de manera general la metodología usada para determinar estos costos:

5.4.3.5.1. Costos de afectación a la infraestructura. Los costos de afectación a la infraestructura causados por incendios o explosiones son calculados en base a la metodología mostrada en la Figura 19, la cual utiliza los resultados de las metodologías de cálculo del Análisis de Consecuencias de la Sección 5.4.3.1 en donde se determinan los niveles de radiación y de sobrepresión a ciertas distancias desde el siniestro causando un porcentaje de daño sobre la infraestructura cercana.

Como parte del desarrollo de la metodología, es importante indicar que los costos no consideran la infraestructura civil (menos vulnerables), solo se consideran las instalaciones mecánicas (tanques con 50% de producto), eléctricas y de instrumentación ya que estas son más vulnerables a escenarios de incendio o explosión.

Figura 19

Metodología de estimación de costos de afectación a la infraestructura



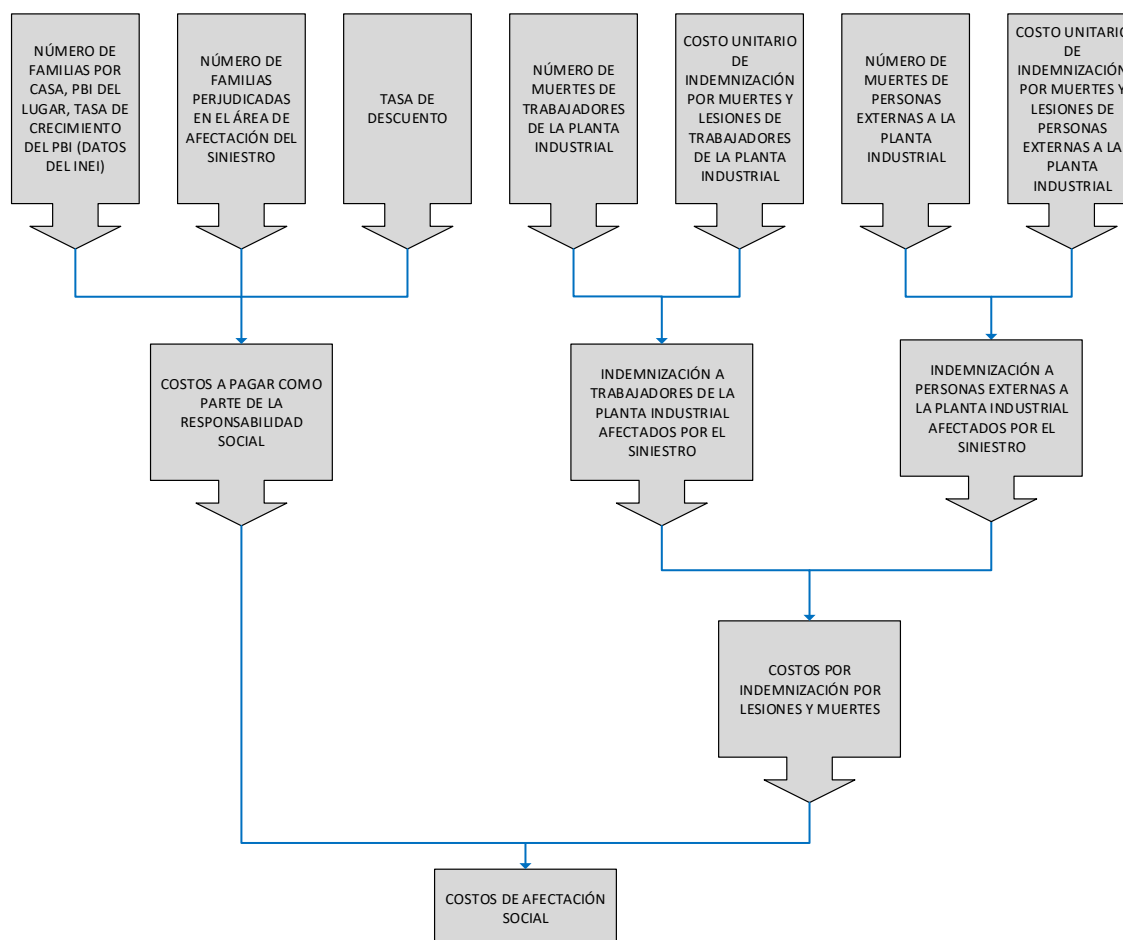
Nota: Elaboración propia para una mejor ilustración. Fuente: empresa CE&A (2016)

5.4.3.5.2. Costos de afectación social. Los costos de afectación social causados por siniestros son calculados en base a la metodología mostrada en la Figura 20, la cual utiliza los resultados de las metodologías de cálculo del Análisis de Consecuencias de la Sección 5.4.3.1 en donde se determinan los niveles de radiación y de sobrepresión a ciertas distancias desde el siniestro causando un daño sobre las personas.

Los costos por aseguramiento de personas afectadas en caso de lesiones o muertes de dentro o fuera de la planta son considerados, sin embargo, en este caso la Planta de Abastecimiento se encuentra alejada de la población por lo tanto no se contabilizó el costo de afectación a personas fuera de la planta.

Figura 20

Metodología de estimación de costos de afectación social



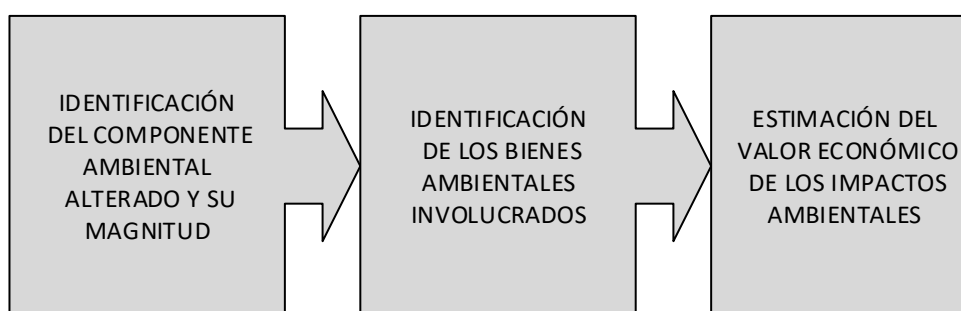
Nota: Elaboración propia para una mejor ilustración. Fuente: empresa CE&A (2016)

5.4.3.5.3. Costos de afectación ambiental. Los costos de afectación ambiental causados por siniestros son calculados en base a la secuencia de etapas mostrada en la Figura 21; los costos considerados fueron las principales afectaciones más extremas que podrían impactar al medio ambiente, en este caso fue la contaminación del aire por gases de combustión, causado por posibles escenarios de incendios.

Para este caso, los costos de afectación ambiental solo constituyeron los gastos por puntos monitoreo ambiental, ya que la Planta de Abastecimiento se encuentra alejada de la población y el daño por intoxicación de personas era muy poco probable.

Figura 21

Etapas para la estimación de costos de afectación ambiental



Nota: Elaboración propia para una mejor ilustración. Fuente: empresa CE&A (2016)

5.4.4. Descripción general de las instalaciones de la Planta de Abastecimiento

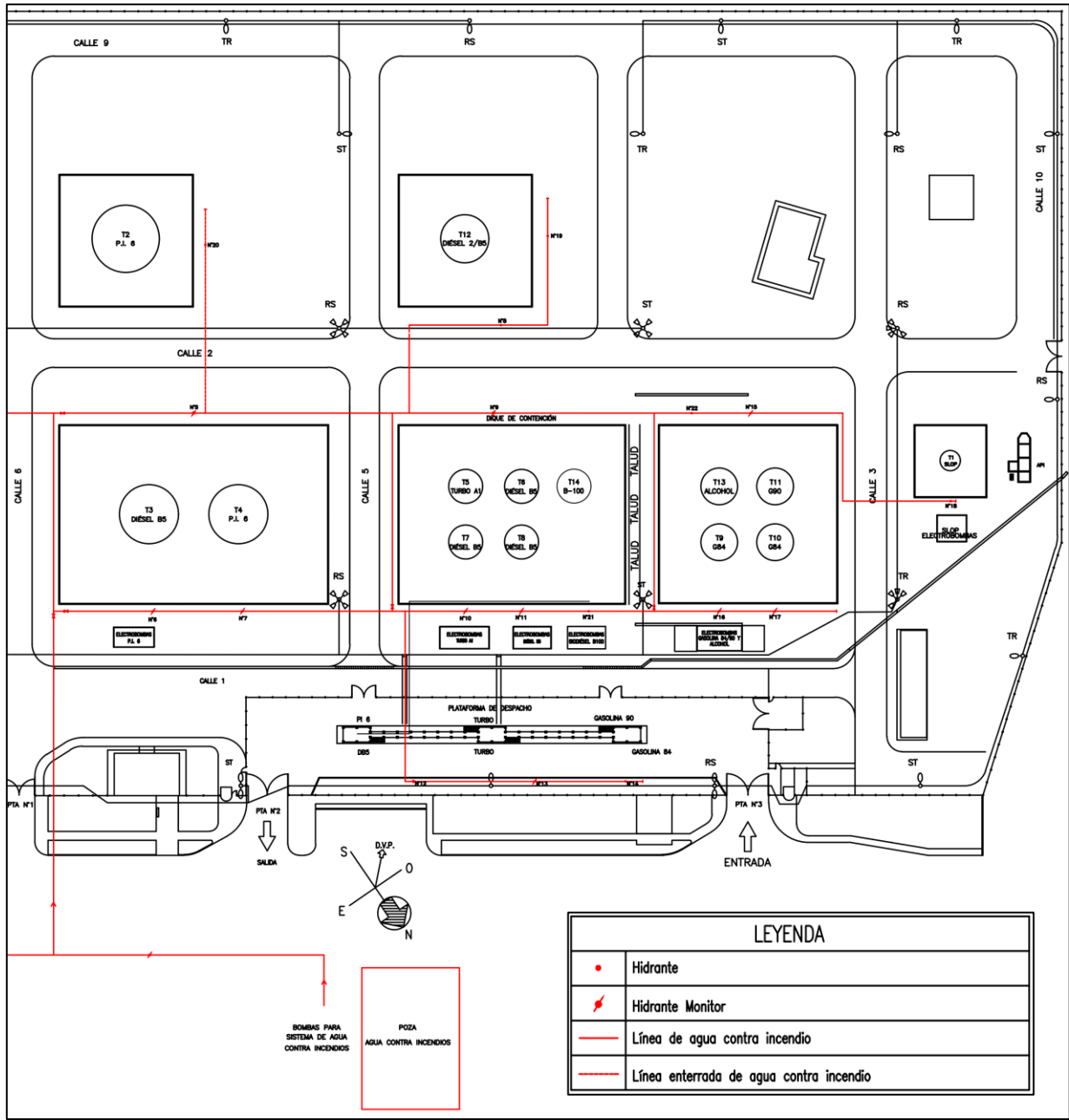
La Planta de Abastecimiento de Combustibles, objeto del presente trabajo, esta ubicada en la región amazónica norte del país, adyacente a ella se encuentra su Refinería la cual provee parte de los productos almacenados en la Planta, sin embargo, el alcance del presente trabajo solo comprende las instalaciones de la Planta de Abastecimiento de Combustibles. En la Figura 22 se puede observar de manera general la vista de planta de sus equipos principales, su distribución y su sistema contra incendio, mientras que en las Tablas 18 y 19 se describen los principales equipos de estas instalaciones.

Respecto del suministro del sistema contra incendios, la capacidad existente disponible de agua contra incendios es de 1 318 m³ (348 153 galones), distribuidas en una Pileta de 1000 m³ y un tanque de 318 m³. La capacidad existente de concentrado de espuma contra incendios es de 575 galones distribuidos en tres (03) tanques rodantes de 115gal, 130gal y 330gal respectivamente, adicionalmente de manera general, el sistema contra incendios se compone de lo siguiente:

- 2 bombas contra incendios con una capacidad de 1000 gpm cada una, para una presión en la red de 150 psi.
- Mangueras de 2.5" y 1.5" para el combate de incendios.
- Pitones de agua de 2.5" y de 1.5" con chorro regulable.
- 03 lanzadores de espuma rodantes.
- Liquido proteico en equipo rodante y en stock.
- Una brigada contra incendios disponible las 24 horas del día.
- Cámaras de espuma contra incendio en los tanques T-2/13/14.
- Anillos tipo toroide con aspersores para agua de enfriamiento en los tanques T-2/13/14.
- 09 gabinetes contra incendios distribuidos en Planta.
- 03 tanques rodantes con concentrado de espuma contra incendios en Planta.
- Extintores contra incendios distribuidos en Planta.
- 10 monitores-hidrantes y 7 hidrantes distribuidos en Planta.

Figura 22

Red del sistema contra incendios de las instalaciones



Fuente: Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Tabla 18*Características de las bombas de transferencia de productos*

Tag	Tipo	Potencia	RPM	Caudal (gpm)	Presión (ft)	Clasificación de Áreas	Función
P1A	Centrífuga	44,7kW	3570	---	200-400	Clase I, División I	Despacho y Transferencia de Petróleo Industrial 6
P1B	Tornillo/Horizontal	25hp	1765	---	200-400	---	Despacho y Transferencia de Petróleo Industrial 6
P1C	Tornillo/Horizontal	25hp	1765	---	200-400	---	Despacho y Transferencia de Petróleo Industrial 6
P1D	Centrífuga/Vertical	44,7kW	3570	---	200-400	Clase I, División I	Despacho y Transferencia de Petróleo Industrial 6
P1E	Centrífuga/Horizontal	---	---	---	---	---	Despacho y Transferencia de Petróleo Industrial 6
P2A	Centrífuga/Horizontal	18,5kW	3520	---	---	---	Recepción de Gasolinas 84 y 90
P2B	Centrífuga/Horizontal	---	---	---	---	---	Recepción de Gasolinas 84 y 90
P3A	Centrífuga/Horizontal	10hp	---	---	---	---	Despacho de Gasolina 84/90
P3B	Centrífuga/Horizontal	15hp	3600	250	134	Clase I, División I	Despacho de Gasolina 84/90
P3C	Centrífuga/Horizantal	15hp	3600	250	140	Clase I, División I	Despacho de Gasolina 84/90
P3D	Centrífuga/Horizantal	---	---	---	---	---	Despacho de Gasolina 90
P4A	Centrífuga/Horizantal	10hp	---	---	---	---	Transferencia de Diesel B5
P4B	Centrífuga/Horizantal	10hp	---	---	---	---	Transferencia de Diesel B5
P4C	Centrífuga/Horizantal	11kW	3510	---	---	---	Recepción de Diesel B5/Mezcla de Diesel 2
P4D	Centrífuga/Horizantal	15hp	3520	250	143	Clase I, División I	Transferencia de Diesel B5
P4A1	Centrífuga	7,5hp	1750	300	38	Clase I, División I	Recepción de Alcohol Carburante
P4B1	Engranajes	---	---	---	---	Clase I, División I	Inyección de Alcohol Carburante y Gasolinas
P4C1	Engranajes	---	---	---	---	Clase I, División I	Inyección de Alcohol Carburante y Gasolinas
P5A	Centrífuga/Horizantal	10hp	---	---	---	---	Despacho y Transferencia de Diesel B5
P5B	Centrífuga/Horizantal	10hp	---	---	---	---	Despacho y Transferencia de Diesel B5
P5C	Centrífuga/Horizantal	15hp	3510	250	134	Clase I, División I	Despacho de Diesel B5

Tag	Tipo	Potencia	RPM	Caudal (gpm)	Presión (ft)	Clasificación de Áreas	Función
P6A	Centrífuga/Horizantal	10hp	---	---	80	---	Recepción y Transferencia de Turbo A-1
P6B	Centrífuga/Horizantal	10hp	---	---	80	---	Despacho y Transferencia de Turbo A-1
P8A	Centrífuga	5hp	1750	300	39	Clase I, División I	Recepción de Biodiesel B100
P8B	Engranajes	2hp	1160	---	---	Clase I, División I	Inyección de Biodiesel B100 en línea
P8C	Engranajes	2hp	1160	---	---	Clase I, División I	Inyección de Biodiesel B100 en línea
P1AS	Centrífuga/Horizantal	---	---	---	200-300	---	Transferencia de producto desde Separador API hacia Tanque SLOP
P1CS	Centrífuga/Vertical	---	---	---	200-300	---	Transferencia de producto desde Separador API hacia Tanque SLOP
P2CS	Centrífuga/Vertical	---	---	---	200-300	---	Transferencia de producto desde Tanque SLOP hacia tanques de Petróleo Crudo
P2BS	Engranaje/Horizantal	---	---	---	200-300	---	Transferencia de producto desde Tanque SLOP hacia tanques de Petróleo Crudo

Fuente: Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Tabla 19

Características de los tanques de almacenamiento de combustibles

Tag	Tipo de tanque/Tipo de techo	Diámetro (m)	Altura (m)	Producto almacenado	Norma de diseño/Año de fabricación	Capacidad (bbl)
T-1	Cilindro Vertical/Techo Fijo	4,5	5,2	Slop	API 650 7ma Edición / 1994	500
T-2	Cilindro Vertical/Techo Fijo	15,1	12,6	Petróleo Industrial 6	API 650 / 2008	12 500
T-3	Cilindro Vertical/Techo Fijo	13,3	12,2	Diesel B5	API 650 7ma Edición / 1994	10 800
T-4	Cilindro Vertical/Techo Fijo	13,3	12,2	Petróleo Industrial 6	API 650 7ma Edición / 1994	10 800
T-5	Cilindro Vertical/Techo Fijo	7,6	7,6	Turbo A1	API 650 7ma Edición / 1994	2 000
T-6	Cilindro Vertical/Techo Fijo	7,6	7,6	Diesel B5	API 650 7ma Edición / 1994	2 000
T-7	Cilindro Vertical/Techo Fijo	7,6	7,6	Diesel B5	API 650 7ma Edición / 1994	2 000

Tag	Tipo de tanque/Tipo de techo	Diámetro (m)	Altura (m)	Producto almacenado	Norma de diseño/ Año de fabricación	Capacidad (bbl)
T-8	Cilindro Vertical/ Techo Fijo	7,6	7,6	Diesel B5	API 650 7ma Edición / 1994	2 000
T-9	Cilindro Vertical/ Techo Fijo con Sabana Flotante	8,2	8,7	Gasolina 84	API 650 7ma Edición / 1994	3 000
T-10	Cilindro Vertical/ Techo Fijo con Sabana Flotante	8,2	8,7	Gasolina 84	API 650 7ma Edición / 1994	3 000
T-11	Cilindro Vertical/ Techo Fijo con Sabana Flotante	8,2	8,7	Gasolina 90	API 650 7ma Edición / 1994	3 000
T-12	Cilindro Vertical/ Techo Fijo	10,8	8,8	Diesel 2	API 650 7ma Edición / 1994	5 000
T-13	Cilindro Vertical/ Techo Fijo con Sabana Flotante	8,2	9,0	Alcohol Carburante	API 650 7ma Edición / 2010	3 000
T-14	Cilindro Vertical/ Techo Fijo	7,6	7,8	Biodiesel B100	API 650 7ma Edición / 2010	2 000
Capacidad total de almacenamiento (bbl)						61 600

Fuente: Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

5.4.5. Condiciones ambientales y características de los productos almacenados

En las Tablas 20-27 se muestra la información medio ambiental de la zona de ubicación de la Planta y las características físico químicas de los productos almacenados en cada uno de los tanques de almacenamiento, esta información será necesaria para determinar las consecuencias de cada escenario de riesgo, este cálculo se realiza durante la etapa de análisis cuantitativo, antes de la aplicación de las respectivas medidas de mitigación del riesgo.

Tabla 20*Parámetros meteorológicos (años 2014 y 2015)*

Parámetro	Descripción	Valor
Vmax	Velocidad del viento máximo histórico (m/s).	8,00
Vpr	Velocidad del viento medio histórico (m/s).	2,27
Tmin	Temperatura ambiental mínima histórica (°C).	18,4
Tpr	Temperatura ambiental medio histórica (°C).	26,5
HRmin	Humedad relativa ambiental mínima histórica (%).	17,58
HRpr	Humedad relativa ambiental promedio histórica (%).	76,22
Dirección	Peor de los casos (de donde viene)	Depende de cada caso
Dirección	Casó medio (de donde viene)	Sur-Oeste

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, (2016).

Tabla 21*Propiedades fisicoquímicas del petróleo industrial 6*

Propiedades		T ambiental mínima y promedio	
		Tmin = 18,4 °C	Tpr = 26,5 °C
Temperatura de ebullición del líquido (VABP)	°C	500,12	500,12
Calor de Combustión del líquido (ΔH_c)	kJ/kg	44400	44400
Calor de Vaporización en punto de ebullición de líquido (ΔH^*)	kJ/kg	349,7	348
Capacidad Calorífica (Cp)	kJ/kgK	1,75	1.79
Densidad del líquido (ρ_L)	kg/m ³	937,1	931,08

Nota. Propiedades calculadas con el software CHEMCAD 6.3.1. Chemstation Inc, (2016).

Tabla 22*Propiedades fisicoquímicas del turbo A1*

Propiedades		T ambiental mínima y promedio	
		Tmin = 18,4 °C	Tpr = 26,5 °C
Temperatura de ebullición del líquido (VABP)	°C	206,59	206,59
Calor de Combustión del líquido (ΔH_c)	kJ/kg	46470	46470
Calor de Vaporización en punto de ebullición de líquido (ΔH^*)	kJ/kg	337,1	334,3
Capacidad Calorífica (Cp)	kJ/kgK	1,81	1,85
Densidad del líquido (ρ_L)	kg/m ³	804,9	798,6

Nota. Propiedades calculadas con el software CHEMCAD 6.3.1. Chemstation Inc, (2016).

Tabla 23*Propiedades fisicoquímicas del diesel B5*

Propiedades		T ambiental mínima y promedio	
		Tmin = 18,4 °C	Tpr = 26,5 °C
Temperatura de ebullición del líquido (VABP)	°C	253,75	253,75
Calor de Combustión del líquido (ΔH_c)	kJ/kg	46510	46510
Calor de Vaporización en punto de ebullición de líquido (ΔH^*)	kJ/kg	322	319,5
Capacidad Calorífica (Cp)	kJ/kgK	1,88	1,92
Densidad del líquido (ρ_L)	kg/m ³	798,61	792,57

Nota. Propiedades calculadas con el software CHEMCAD 6.3.1. Chemstation Inc, (2016).

Tabla 24*Propiedades fisicoquímicas de gasolina 90*

Propiedades		T ambiental mínima y promedio	
		Tmin = 18,4 °C	Tpr = 26,5 °C
Temperatura de ebullición del líquido (VABP)	°C	102,16	102,16
Calor de Combustión del líquido (ΔH_c)	kJ/kg	47180	47180
Calor de Vaporización en punto de ebullición de líquido (ΔH^*)	kJ/kg	357,7	353,4
Capacidad Calorífica (Cp)	kJ/kgK	1,92	1,96
Densidad del líquido (ρ_L)	kg/m ³	729,95	722,75

Nota. Propiedades calculadas con el software CHEMCAD 6.3.1. Chemstation Inc, (2016).

Tabla 25*Propiedades fisicoquímicas de gasolina 84*

Propiedades		T ambiental mínima y promedio	
		Tmin = 18,4 °C	Tpr = 26,5 °C
Temperatura de ebullición del líquido (VABP)	°C	100,41	100,41
Calor de Combustión del líquido (ΔH_c)	kJ/kg	47220	47220
Calor de Vaporización en punto de ebullición de líquido (ΔH^*)	kJ/kg	347,4	343
Capacidad Calorífica (Cp)	kJ/kgK	1,94	1.98
Densidad del líquido (ρ_L)	kg/m ³	720,49	713.29

Nota. Propiedades calculadas con el software CHEMCAD 6.3.1. Chemstation Inc, (2016).

Tabla 26*Propiedades fisicoquímicas del alcohol carburante*

Propiedades		T ambiental mínima y promedio	
		Tmin = 18,4 °C	Tpr = 26,5 °C
Temperatura de ebullición del líquido (VABP)	°C	89,6	89,6
Calor de Combustión del líquido (ΔH_c)	kJ/kg	47230	47230
Calor de Vaporización en punto de ebullición de líquido (ΔH^*)	kJ/kg	368,7	363,9
Capacidad Calorífica (Cp)	kJ/kgK	1,98	2,02
Densidad del líquido (ρ_L)	kg/m ³	718,53	710,97

Nota. Propiedades calculadas con el software CHEMCAD 6.3.1. Chemstation Inc, (2016).

Tabla 27*Propiedades fisicoquímicas del biodiesel B100*

Propiedades		T ambiental mínima y promedio	
		Tmin = 18,4 °C	Tpr = 26,5 °C
Temperatura de ebullición del líquido (VABP)	°C	343,79	343,79
Calor de Combustión del líquido (ΔH_c)	kJ/kg	40140	40140
Calor de Vaporización en punto de ebullición de líquido (ΔH^*)	kJ/kg	340,34	338
Capacidad Calorífica (Cp)	kJ/kgK	2	2,03
Densidad del líquido (ρ_L)	kg/m ³	874,86	869,16

Nota. Propiedades calculadas con el software CHEMCAD 6.3.1. Chemstation Inc, (2016).

5.4.6. Descripción general de las operaciones de la Planta de Abastecimiento

Parte de los productos que almacena la Planta de Abastecimiento de Combustibles son obtenidos desde su Refinería la cual provee de Gasolinas, Turbo A1, Diesel 2 y Petróleo Industrial 6, otra parte de los combustibles son obtenidos desde el exterior por medio de camiones cisterna en el Puente de despacho de la Planta.

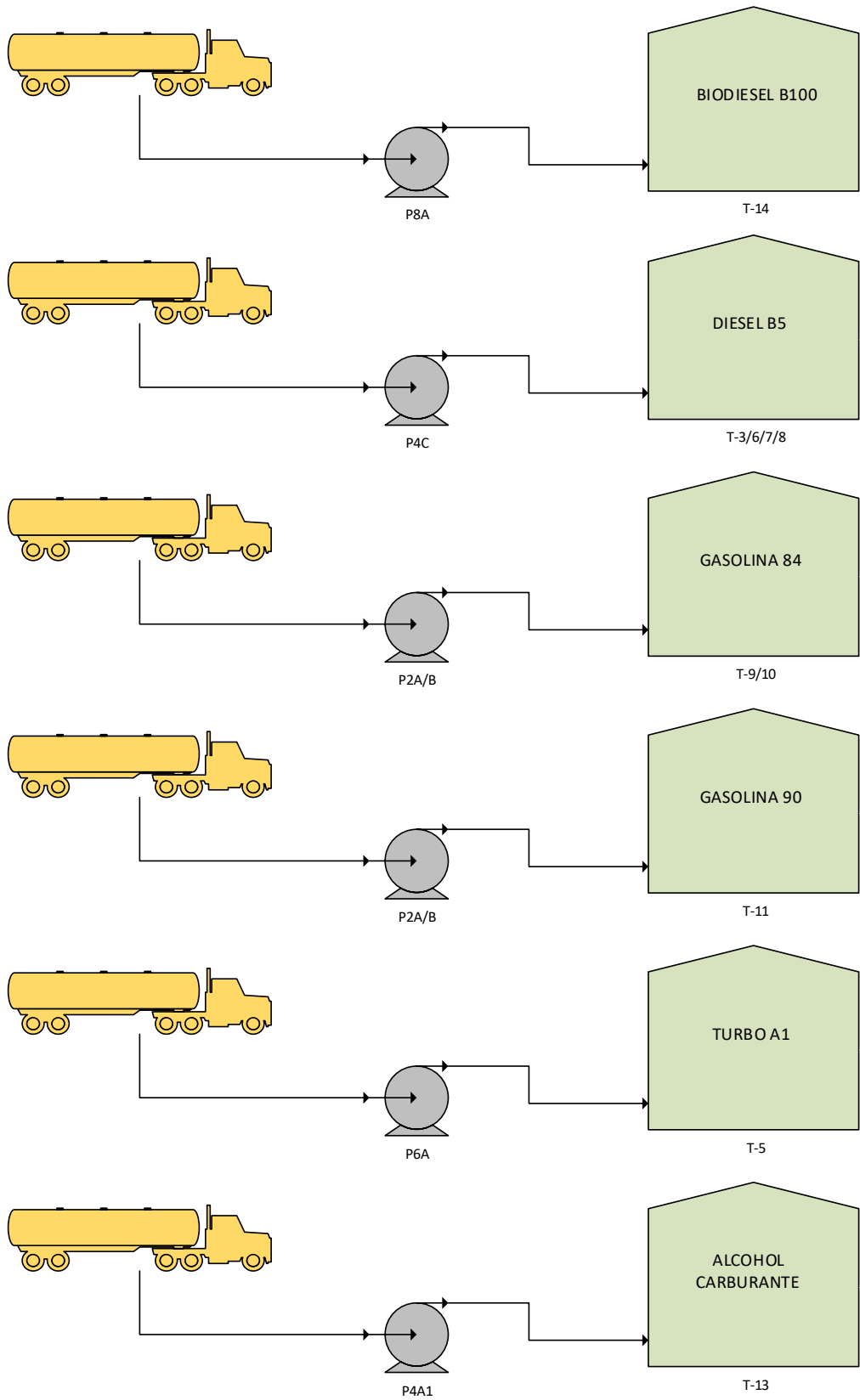
En esta sección se describen de manera general las operaciones de los tanques de almacenamiento de Gasohol 90, Gasohol 84, Diesel B5, Petróleo Industrial N°6, Alcohol Carburante y Turbo A-1 de la Planta los cuales deben seguir algunos procedimientos que aseguren una operación correcta, segura y eficiente.

5.4.6.1. Recepción de productos. La recepción de productos se realiza por medio de las bombas P8A (Biodiesel B100), P4C (Diesel B5), P2A/B (Gasolina 84/90), P6A (Turbo A1) y P4A1 (Alcohol Carburante) las cuales están ubicadas próximas a la zona de tanques, su función es bombear productos terminados y Alcohol Carburante (intermedio) desde el camión cisterna, ubicado en el Puente de despacho de la Planta, hasta los tanques de almacenamiento T-14 (Biodiesel B100), T-3/6/7/8 (Diesel B5), T-9/10 (Gasolina 84), T-11 (Gasolina 90), T-5 (Turbo A1) y T-13 (Alcohol Carburante) respectivamente a través de líneas de acero al carbono, ver la Figura 23 para mejor ilustración.

Para verificar el volumen en los camiones cisterna se instaló contómetros en el Puente de despacho; para evitar la cavitación de las bombas por ingreso de aire, se instaló un tanque eliminador de aire con una válvula contrapresión. Esta operación también considera la instalación de puesta a tierra de la cisterna, ubicación de extintores, toma de temperatura y grados API del producto, apertura del manhole superior de la cisterna, alineación de válvulas en la línea de succión y descarga de la bomba correspondiente, cebado de la bomba, encendido de la bomba con apertura gradual de su línea de descarga, registro del tiempo de la operación y la fiscalización de la cisterna y del tanque a una temperatura de 60°F con el objetivo de determinar el volumen real de producto recepcionado.

Figura 23

Recepción de productos



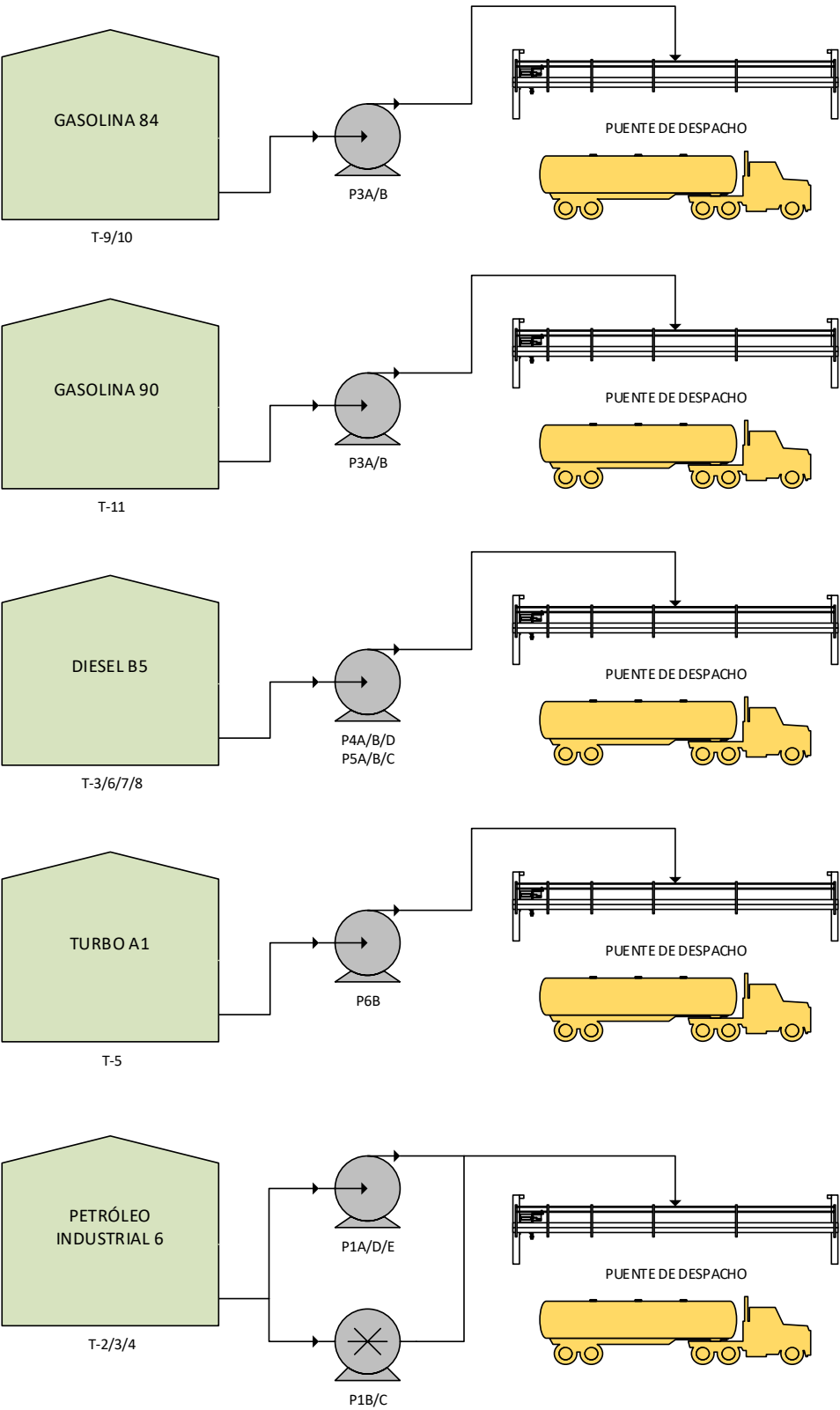
Fuente: Elaboración propia

5.4.6.2. Despacho de productos. El sistema de despacho es aquel mediante el cual se efectúa la venta y transferencias de los diferentes productos en la zona del Puente de despacho de la Planta, estas operaciones se realizan por medio de las bombas P3A/B (Gasolina 84/90), P4A/B/D (Diesel B5), P5A/B/C (Diesel B5), P6B (Turbo A1) y P1A/B/C/D/E (Petróleo Industrial 6) las cuales están ubicadas próximas a la zona de tanques, su función es bombear productos terminados desde los tanques de almacenamiento T-9/10 (Gasolina 84), T-11 (Gasolina 90), T-3/6/7/8 (Diesel B5), T-5 (Turbo A1) y T-2/3/4 (Petróleo Industrial 6) respectivamente a los camiones cisterna, ubicados en el Puente de despacho de la Planta, través de líneas de acero al carbono, ver la Figura 24 para mejor ilustración.

Para verificar el volumen en los camiones cisterna se instaló contómetros en el Puente de despacho; para evitar la cavitación de las bombas por ingreso de aire, se instaló un tanque eliminador de aire con una válvula contrapresión. Esta operación también considera la instalación de puesta a tierra de la cisterna, ubicación de extintores, toma de temperatura y grados API del producto, apertura del manhole superior de la cisterna, alineación de válvulas en la línea de succión y descarga de la bomba correspondiente, cebado de la bomba, encendido de la bomba con apertura gradual de su línea de descarga, registro del tiempo de la operación y la fiscalización de la cisterna y del tanque a una temperatura de 60°F con el objetivo de determinar el volumen real de producto despachado.

Figura 24

Despacho de productos

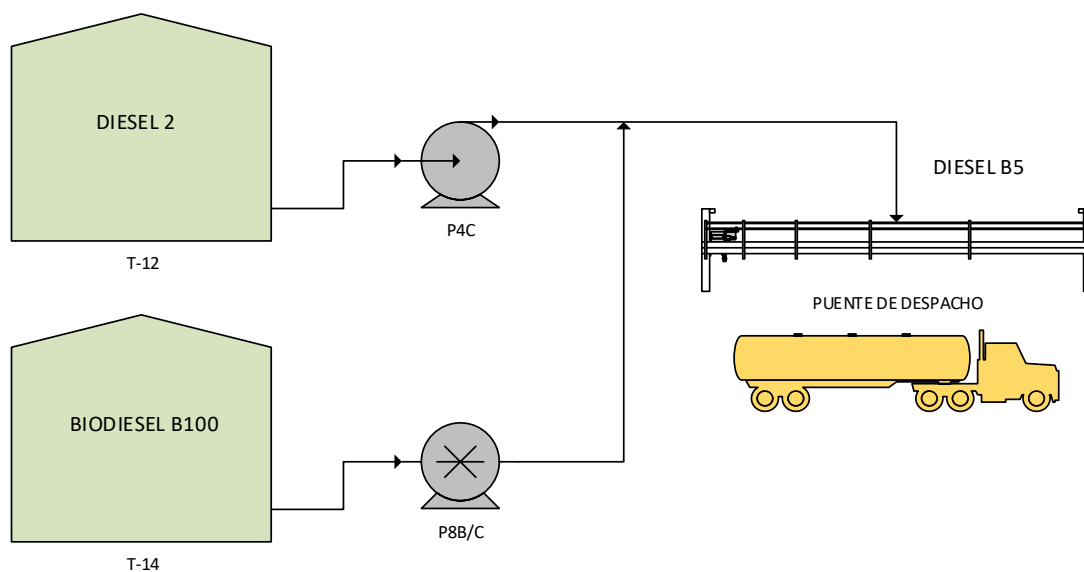


Fuente: Elaboración propia

Mezcla en línea y despacho de Diesel B5. Para obtener Diesel B5 se realiza la mezcla de 95% en volumen de Diesel 2 almacenado en el tanque T-12 y 5% en volumen de Biodiesel B100 almacenado en el tanque T-14. El Biodiesel B100 es transportado por las bombas de engranaje P8B/C hasta la zona del Puente de despacho de la Planta en donde se realiza la mezcla en línea con el Diesel 2 que proviene de la línea de descarga de la bomba P4C, el sistema de mezcla en línea tiene un control automático que permite inyectar la cantidad requerida de ambos fluidos para obtener el Diesel B5, ver la Figura 25 para mejor ilustración.

Figura 25

Mezcla en línea para obtener diesel B5



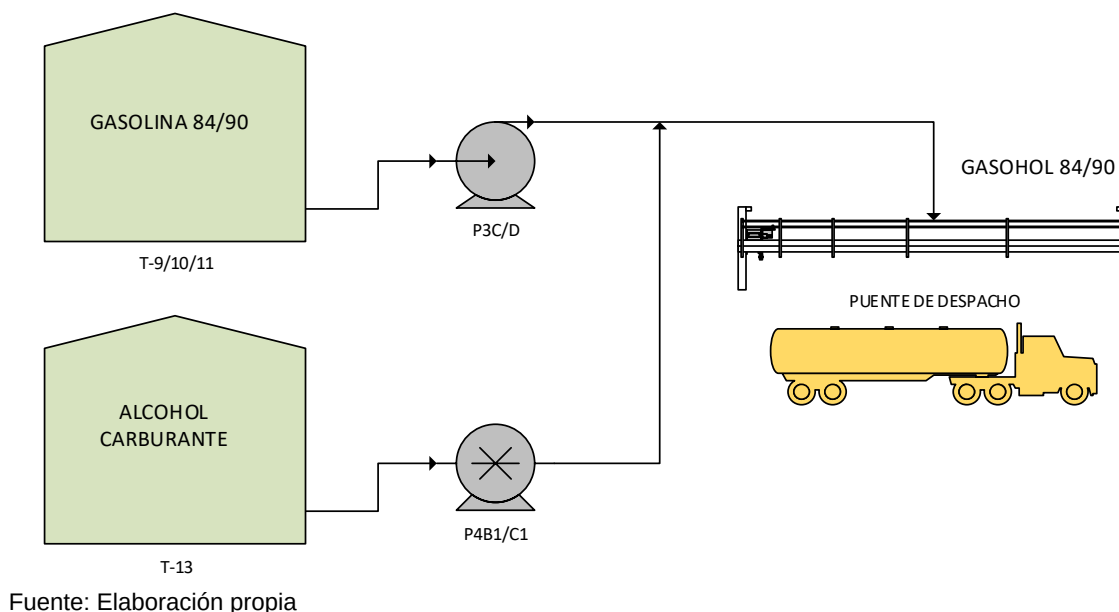
Fuente: Elaboración propia

Mezcla en línea y despacho de Gasohol 84/90. Para obtener Gasohol 84/90 se realiza la mezcla de 90% en volumen de Gasolina 84/90 almacenados en los tanques T-9/10/11 y 10% en volumen de Alcohol Carburante almacenado en el tanque T-13. El Alcohol Carburante es transportado por las bombas de engranaje P4B1/C1 hasta la zona del Puente de despacho de la Planta en donde se realiza la mezcla en línea con la Gasolina 84 o Gasolina 90, según sea el producto requerido, los que provienen de las líneas de descarga

de las bombas P3C/D, el sistema de mezcla en línea tiene un control automático que permite inyectar la cantidad requerida de los fluidos para obtener el Gasohol 84 o Gasohol 90, ver la Figura 26 para mejor ilustración.

Figura 26

Mezcla en línea para obtener gasohol 84/90



Fuente: Elaboración propia

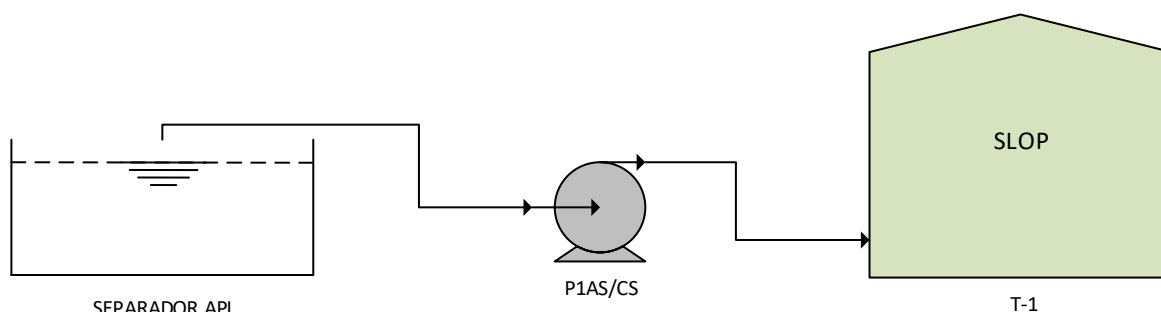
5.4.6.3. Transferencia de SLOP. Se tienen las siguientes operaciones:

Trasferencia de SLOP desde Separador API. La transferencia de SLOP se realiza desde el Separador API hasta el tanque de almacenamiento T-1 dentro de la zona de tanques de la Planta, esta operación es por medio de las bombas P1AS y P1CS, su función es bombear SLOP desde el Separador API hasta el tanque, través de líneas de acero al carbono, ver la Figura 27 para mejor ilustración.

Esta operación también considera, ubicación de extintores, alineación de válvulas en la línea de succión y descarga de la bomba correspondiente, cebado de la bomba, encendido de la bomba con apertura gradual de su línea de descarga, medición del volumen transferido al tanque T-1.

Figura 27

Transferencia de slop desde Separador API



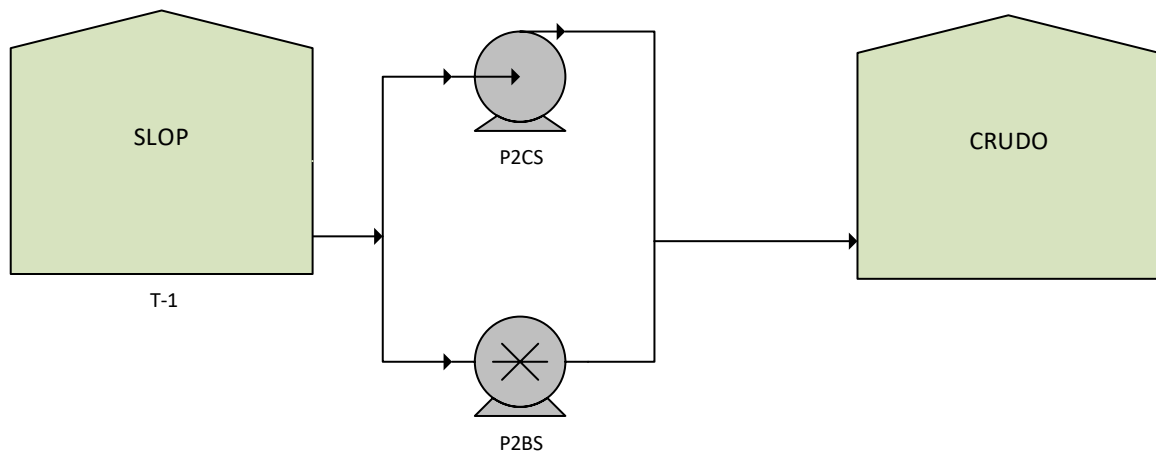
Fuente: Elaboración propia

Trasferencia de SLOP desde tanque T-1. La transferencia de SLOP se realiza desde el tanque T-1, dentro de la zona de tanques de la Planta, hasta los tanques de almacenamiento de Crudo ubicados en la zona de Refinería, esta operación se realiza por medio de las bombas P2CS y P2BS, su función es bombear y transferir SLOP entre los tanques mencionados a través de líneas de acero al carbono, ver la Figura 28 para mejor ilustración.

Esta operación también considera, ubicación de extintores, alineación de válvulas en la línea de succión y descarga de la bomba correspondiente, cebado de la bomba, encendido de la bomba con apertura gradual de su línea de descarga, medición del volumen transferido al tanque de crudo.

Figura 28

Transferencia de slop desde tanque T-1



Fuente: Elaboración propia

5.5 Objetivos de uso de las técnicas propuestas

Los objetivos de las técnicas presentadas en la sección anterior son las siguientes:

- Determinar los sistemas y subsistemas (nodos) en las instalaciones, evaluarlas cualitativamente y de esta manera recomendar parte de las medidas de mitigación del riesgo e identificar los escenarios de riesgo mayores.
- Evaluar cuantitativamente, antes y después de las medidas de mitigación adicionales, las consecuencias y las frecuencias de ocurrencia de los escenarios de riesgo mayores identificados durante la etapa de análisis cualitativo.
- Recomendar la implementación de medidas de mitigación adicionales que ayuden a reducir el nivel de riesgos a niveles aceptables o tolerables.

5.6 Cálculos y determinaciones utilizadas en las aplicaciones

En las siguientes secciones se muestran los cálculos y determinaciones utilizadas.

5.6.1. Determinación de los Escenarios de Riesgo

De la etapa de Análisis Cualitativo de Riesgos mostrada en la sección 5.4.2, se identifican los escenarios de riesgos mayores mediante la metodología de análisis What-If.

Como se puede ver en la Tabla 28, para cada escenario de riesgo de incendio es posible tener dos casos, uno peor y otro medio, esto es en relación al Artículo 11, sección H, del RCD 240-2010-OS-CD, en donde dice que para la estimación de daños económicos causados por una máxima afectación del riesgo, se establece un escenario peor y un escenario medio, esto ayudará a cuantificar el monto de la póliza.

Para poder calcular los daños de “el peor de los casos” (Caso 1) y de “el caso medio” (Caso 2) de los escenarios de incendio, se tendrán los siguientes criterios:

- **El peor de los casos** será cuando el siniestro inicia justo cuando se tiene las condiciones meteorológicas a favor del mayor daño, en ese sentido, se evaluará a una velocidad del viento máxima, con dirección del viento a mayor afectación, con una temperatura ambiental mínima y una humedad relativa mínima.
- **El caso medio** será cuando el siniestro inicia cuando se tiene las condiciones meteorológicas promedio, es decir, una velocidad del viento media, una dirección del viento más probable, una temperatura ambiental y humedad relativa media.

Tabla 28

Escenarios de riesgo

Nodo (peligro)	Escenario N°	Casos de los Escenarios de Riesgo
Tanque T-1 de almacenamiento de Slop de 500 barriles	1	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-1 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-1 en el caso medio
	2	Caso 1: Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-1
Tanque T-2 de almacenamiento de Petróleo Industrial 6 de 12 500 barriles	3	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-2 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-2 en el caso medio
Tanque T-3 de almacenamiento de Diesel B5 de 10 800 barriles	4	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-3 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-3 en el caso medio
Tanque T-4 de almacenamiento de Petróleo Industrial 6 de 10 800 barriles	5	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-4 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-4 en el caso medio
Tanque T-5 de almacenamiento de Turbo A1 de 2 000 barriles	6	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-5 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-5 en el caso medio
	7	Caso 1: Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-5
Tanque T-6 de almacenamiento de Diesel B5 de 2 000 barriles	8	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-6 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-6 en el caso medio
Tanque T-7 de almacenamiento de Diesel B5 de 2 000 barriles	9	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-7 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-7 en el caso medio
Tanque T-8 de almacenamiento de Diesel B5 de 2 000 barriles	10	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-8 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-8 en el caso medio
Tanque T-9 de almacenamiento de Gasolina 84 de 3 000 barriles	11	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-9 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-9 en el caso medio
	12	Caso 1: Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-9
Tanque T-10 de almacenamiento de Gasolina 84 de 3 000 barriles	13	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-10 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-10 en el caso medio
	14	Caso 1: Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-10
Tanque T-11 de almacenamiento de Gasolina 90 de 3 000 barriles	15	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-11 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-11 en el caso medio

Nodo (peligro)	Escenario N°	Casos de los Escenarios de Riesgo
	16	Caso 1: Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-11
Tanque T-12 de almacenamiento de Diesel 2 de 5 000 barriles	17	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-12 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-12 en el caso medio
Tanque T-13 de almacenamiento de Alcohol carburante de 3 000 barriles	18	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-13 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-13 en el caso medio
	19	Caso 1: Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-13
Tanque T-14 de almacenamiento de Biodiesel B100 de 2 000 barriles	20	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-14 en el peor de los casos
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-14 en el caso medio
Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Petróleo Industrial 6	21	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Petróleo Industrial 6 en el peor de los casos.
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Petróleo Industrial 6 en el caso medio.
Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Alcohol Carburante	22	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Alcohol Carburante en el peor de los casos.
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Alcohol Carburante en el caso medio.
Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolinas 84	23	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 84 en el peor de los casos.
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 84 en el caso medio.
Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolinas 90	24	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 90 en el peor de los casos.
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 90 en el caso medio.
Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Diesel B5	25	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Diesel B5 en el peor de los casos.
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Diesel B5 en el caso medio.
Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Biodiesel B100	26	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Biodiesel B100 en el peor de los casos.
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Biodiesel B100 en el caso medio.
Electrobombas de Transferencia para	27	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Turbo A1 en el peor de los casos.

Nodo (peligro)	Escenario N°	Casos de los Escenarios de Riesgo
Recepción y Despacho de Turbo A1		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Turbo A1 en el caso medio.
Electrobombas de Transferencia para Carga y Descarga de SLOP	28	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Carga y Descarga de SLOP en el peor de los casos. Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Carga y Descarga de SLOP en el caso medio.
Poza API	29	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado de la Poza API en el peor de los casos Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado de la Poza API en el caso medio
Puente de Despacho para Gasolina 84	30	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 84 en el peor de los casos Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 84 en el caso medio
Puente de Despacho para Gasolina 90	31	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 90 en el peor de los casos Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 90 en el caso medio
Puente de Despacho para Diesel B5	32	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Diesel B5 en el peor de los casos Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Diesel B5 en el caso medio
Puente de Despacho para Turbo A1	33	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Turbo A1 en el peor de los casos Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Turbo A1 en el caso medio
Puente de Despacho para Petróleo Industrial 6	34	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Petróleo Industrial 6 en el peor de los casos Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Petróleo Industrial 6 en el caso medio

Nota. Elaboración propia, como parte del servicio brindado a la Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

5.6.2. Cálculos que determinan las consecuencias y frecuencias de los escenarios

De la etapa de Análisis Cuantitativo de Riesgos mostrado en la sección 5.4.3 se calcula las consecuencias y frecuencias de todos los escenarios de riesgo planteados en la etapa cualitativa, el objetivo de estos cálculos es determinar los costos generados por los daños de cada escenario de riesgo, antes de las medidas de mitigación y después de las medidas de mitigación respectivamente. En la Tabla 29 se muestran las consecuencias de los casos de cada escenario de incendio antes de las medidas de mitigación del riesgo.

Tabla 29

Distancias de efectos por casos de escenarios de incendio

Escenario Nº	Casos por cada escenario de incendio	Distancias (m) desde el incendio, en donde se podría causar un porcentaje de daño a las personas				Distancias (m) desde el incendio tipo charco, en donde se tendría niveles referenciales de radiación según Tabla 12.			
		Letalidad			Quemaduras de 1º grado				
		99%	50%	1%		37,5 kW/m²	12,5 kW/m²	8 kW/m²	1 kW/m²
1	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-1 en el peor de los casos	0	2,4	4,9	7	4,8	7,3	8,5	19
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-1 en el caso medio	0	1	3,9	7,6	3,4	7,9	9,7	23,6
3	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-2 en el peor de los casos	0	0	5,6	12,35	2,4	12	14,5	33,6
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-2 en el caso medio	0	0	2,3 8	11,9	0	10,5	14,7	40,7
4	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-3 en el peor de los casos	0	0	8,3	15,9	3,9	15	18,1	38,9
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-3 en el caso medio	0	0	4	4	0,8	12,5	17,7	48,1
5	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-4 en el peor de los casos	0	0	6,1	11,7	3,7	11,5	13,8	31,7
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-4 en el caso medio	0	0	3	11,6	0,8	10,6	14,3	38,6
6	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-5 en el peor de los casos	0	2,6	8,3	12,7	6,8	12,6	14,7	31,7
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-5 en el caso medio	0	0,9	5,5	13	3,1	12	15,6	38,8
8	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-6 en el peor de los casos	0	2,4	7,7	11,8	6,5	11,7	13,8	30
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-6 en el caso medio	0	0,8	5,2	12,2	3,1	11,5	14,8	36,8
9	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-7 en el peor de los casos	0	2,4	7,7	11,8	6,5	11,7	13,8	30,3
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-7 en el caso medio	0	0,8	5,2	12,2	3,1	11,5	14,8	36,8
10	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-8 en el peor de los casos	0	2,4	7,7	11,8	6,5	11,7	13,8	30
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-8 en el caso medio	0	0,8	5,2	7,9	3,1	11,5	14,8	36,8

Escenario Nº	Casos por cada escenario de incendio	Distancias (m) desde el incendio, en donde se podría causar un porcentaje de daño a las personas				Distancias (m) desde el incendio tipo charco, en donde se tendría niveles referenciales de radiación según Tabla 12.			
		Letalidad			Quemaduras de 1º grado				
		99%	50%	1%		37,5 kW/m²	12,5 kW/m²	8 kW/m²	1 kW/m²
11	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-9 en el peor de los casos	0	2,9	10	16,1	7,2	15,4	18,1	38,2
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-9 en el caso medio	0	1	6,1	15,8	2,9	13,7	18,4	46,6
13	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-10 en el peor de los casos	0	2,9	10	16,1	7,2	15,4	18,1	38,2
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-10 en el caso medio	0	1	6,1	15,8	2,9	13,7	18,4	46,6
15	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-11 en el peor de los casos	0	2,9	10	15,9	7,2	15,2	17,9	37,8
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-11 en el caso medio	0	1	6,1	15,7	2,9	13,6	18,2	46,2
17	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-12 en el peor de los casos	0	1	8,4	14,2	5,6	13,7	16,2	35,6
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-12 en el caso medio	0	0	4,8	14	1,8	12,4	16,6	43,3
18	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-13 en el peor de los casos	0	2,9	10	16	7,2	15,4	18,1	38
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-13 en el caso medio	0	1	6,2	15,8	2,9	13,7	18,4	46,5
20	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-14 en el peor de los casos	0	1,8	6	9,2	5,5	9,4	11	25
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-14 en el caso medio	0	0,5	4,4	9,9	3	9,7	12,3	30,9
21	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Petróleo Industrial 6 en el peor de los casos.	0	1,7	2,9	3,9	2,9	4,3	5	11,2
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Petróleo Industrial 6 en el caso medio.	0	0,8	2,7	4,8	2,7	5,2	6,3	15,2
22	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Alcohol Carburante en el peor de los casos.	0	0	9,9	21,9	2,5	19,4	23,9	51,7

Escenario Nº	Casos por cada escenario de incendio	Distancias (m) desde el incendio, en donde se podría causar un porcentaje de daño a las personas				Distancias (m) desde el incendio tipo charco, en donde se tendría niveles referenciales de radiación según Tabla 12.			
		Letalidad			Quemaduras de 1º grado				
		99%	50%	1%		37,5 kW/m²	12,5 kW/m²	8 kW/m²	1 kW/m²
23	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Alcohol Carburante en el caso medio.	0	0	4,5	19	0	13,2	20,9	61,9
	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 84 en el peor de los casos.	0	1,5	10, 7	19,3	5,5	17,8	21,3	45,3
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 84 en el caso medio.	0	0	5,7	18	1,5	14,1	20,3	54,9
24	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 90 en el peor de los casos.	0	1,6	10, 6	18,8	5,6	17,5	20,8	44,4
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 90 en el caso medio.	0	0	5,7	17,7	1,6	14,1	20	53,9
25	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Diesel B5 en el peor de los casos.	0	0,5	8,5	15,4	4,6	14,6	17,5	38,5
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Diesel B5 en el caso medio.	0	0	4,3	14,9	1	12,6	17,5	47
26	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Biodiesel B100 en el peor de los casos.	0	2,2	5,6	8,3	5,3	8,5	10	22,5
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Biodiesel B100 en el caso medio.	0	0,7	4,3	9,1	3,3	9,2	11,4	28,4
27	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Turbo A1 en el peor de los casos.	0	2,9	6,3	9,1	5,9	9,3	10,7	23
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de	0	1,3	4,7	9,7	3,6	9,7	12,1	28,8

Escenario Nº	Casos por cada escenario de incendio	Distancias (m) desde el incendio, en donde se podría causar un porcentaje de daño a las personas				Distancias (m) desde el incendio tipo charco, en donde se tendría niveles referenciales de radiación según Tabla 12.			
		Letalidad			Quemaduras de 1° grado				
		99%	50%	1%		37,5 kW/m²	12,5 kW/m²	8 kW/m²	1 kW/m²
	Transferencia para Recepción y Despacho de Turbo A1 en el caso medio								
28	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Carga y Descarga de SLOP en el peor de los casos	0	2,4	4,6	6,6	4,5	6,9	8	17,9
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Carga y Descarga de SLOP en el caso medio	0	1	3,9	7,6	3,4	7,9	9,7	23,5
29	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado de la Poza API en el peor de los casos	0	1,9	3,3	4,6	3,4	4,9	5,7	12,5
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado de la Poza API en el caso medio	0	0,9	2,8	5	2,8	5,5	6,6	15,7
30	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 84 en el peor de los casos	0	3,5	8,2	12,2	7,1	12,1	14	29,4
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 84 en el caso medio	0	1,5	5,5	12,5	3,7	11,8	15	36,4
31	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 90 en el peor de los casos	0	3,4	8	11,9	7	11,9	13,8	28,9
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 90 en el caso medio	0	1,5	5,5	12,3	3,7	11,6	14,8	35,9
32	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Diesel B5 en el peor de los casos	0	2,8	5,7	8,1	5,5	8,4	9,7	21
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Diesel B5 en el caso medio	0	1,2	4,3	8,8	3,6	8,9	11	26,5
33	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Turbo A1 en el peor de los casos	0	2,9	6,3	9	5,9	9,3	10,8	23
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Turbo A1 en el caso medio	0	1,3	4,7	9,7	3,6	9,7	12	28,8
34	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Petróleo Industrial 6 en el peor de los casos	0	0,7	1,1	1,3	1	1,5	1,7	3,6
	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho	0	0	1	1,6	1,1	1,8	2,2	4,9

Escenario Nº	Casos por cada escenario de incendio	Distancias (m) desde el incendio, en donde se podría causar un porcentaje de daño a las personas				Distancias (m) desde el incendio tipo charco, en donde se tendrían niveles referenciales de radiación según Tabla 12.			
		Letalidad			Quemaduras de 1º grado				
		99%	50%	1%	50%	37,5 kW/m²	12,5 kW/m²	8 kW/m²	1 kW/m²
	para Petróleo Industrial 6 en el caso medio								

Nota. Elaboración propia, como parte del servicio brindado a la Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

En las Tablas 30 y 31 se muestran las consecuencias de cada escenario de explosión antes de las medidas de mitigación del riesgo.

Tabla 30

Niveles de daño a ciertas distancias por cada caso de escenario de explosión

Escenario Nº	Distancia desde la pared del tanque (m)	Sobrepresión (bar)	Destrucción (%)	Descripción del daño según la Tabla 13
2	-	1 - 2	99,0	Zona límite al 99% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	3,44	0,192	50,0	Zona límite al 50% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	11,3	0,087	1,0	Zona límite al 1% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	14,2	0,07	-	Rotura de todos los cristales de ventanas
	113,9	0,01	-	Rotura de algún cristal
	58,1	0,02	-	95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas.
7	-	1 - 2	99,0	Zona límite al 99% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	10	0,192	50,0	Zona límite al 50% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	29,1	0,087	1,0	Zona límite al 1% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	36,2	0,07	-	Rotura de todos los cristales de ventanas

Escenario Nº	Distancia desde la pared del tanque (m)	Sobrepresión (bar)	Destrucción (%)	Descripción del daño según la Tabla 13
12	257	0,01	-	Rotura de algún cristal
	135	0,02	-	95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas.
	-	1 - 2	99,0	Zona límite al 99% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	4,36	0,192	50,0	Zona límite al 50% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	16	0,087	1,0	Zona límite al 1% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	20,8	0,07	-	Rotura de todos los cristales de ventanas
	170,8	0,01	-	Rotura de algún cristal
	84,6	0,02	-	95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas.
	-	1 - 2	99,0	Zona límite al 99% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	4,36	0,192	50,0	Zona límite al 50% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	16	0,087	1,0	Zona límite al 1% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	20,8	0,07	-	Rotura de todos los cristales de ventanas
	170,8	0,01	-	Rotura de algún cristal
	84,6	0,02	-	95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas.
14	-	1 - 2	99,0	Zona límite al 99% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	4,36	0,192	50,0	Zona límite al 50% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	16	0,087	1,0	Zona límite al 1% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	20,8	0,07	-	Rotura de todos los cristales de ventanas
	170,8	0,01	-	Rotura de algún cristal
	84,6	0,02	-	95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas.
	-	1 - 2	99,0	Zona límite al 99% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
16	4,36	0,192	50,0	Zona límite al 50% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	16	0,087	1,0	Zona límite al 1% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	20,8	0,07	-	Rotura de todos los cristales de ventanas
	171	0,01	-	Rotura de algún cristal
	84,7	0,02	-	95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas.
	-	1 - 2	99,0	Zona límite al 99% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	4,36	0,192	50,0	Zona límite al 50% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
19	-	1 - 2	99,0	Zona límite al 99% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	4,36	0,192	50,0	Zona límite al 50% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.

Escenario Nº	Distancia desde la pared del tanque (m)	Sobrepresión (bar)	Destrucción (%)	Descripción del daño según la Tabla 13
	16	0,087	1,0	Zona límite al 1% de destrucción de equipos, tanques de almacenamiento y estructuras por efectos de sobrepresión.
	20,8	0,07	-	Rotura de todos los cristales de ventanas
	170,8	0,01	-	Rotura de algún cristal
	84,7	0,02	-	95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas.

Nota. Elaboración propia, como parte del servicio brindado a la Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Tabla 31

Distancias desde escenarios de explosión que causan daño a personas

Escenario Nº	Distancia (m) desde punto de vista de letalidad por hemorragia pulmonar			Distancia (m) desde punto de vista de lesiones por rotura de tímpano			Distancia (m) desde punto de vista de muerte por impacto			Distancia (m) desde punto de vista de lesiones por impacto		
	99%	50%	1%	99%	50%	1%	99%	50%	1%	99%	50%	1%
2	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	21,9	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	13,4	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	13,4	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	13,4	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	13,4	-	-	-	-	-	-

Nota. Elaboración propia, como parte del servicio brindado a la Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

En la Tabla 32 se muestran los cálculos de las frecuencias de ocurrencia de todos los escenarios de riesgo, su categoría y criterios respectivos antes de las medidas de mitigación del riesgo.

Tabla 32

Resumen de frecuencias de ocurrencia de los escenarios de riesgo

Escenario N°	Nodo (peligro)	Casos de los Escenarios de Riesgo ¹	Frecuencia ²	Índice ³	Categoría ⁴
1	Tanque T-1 de almacenamiento de Slop de 500 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-1 en el peor de los casos	$6,27 \times 10^{-6}$	6	Extremadamente remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-1 en el caso medio	$2,10 \times 10^{-5}$	5	Remoto
2		Caso 1: Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-1	$2,57 \times 10^{-5}$	5	Remoto
3	Tanque T-2 de almacenamiento de Petróleo Industrial 6 de 12 500 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-2 en el peor de los casos	$3,69 \times 10^{-5}$	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-2 en el caso medio	$1,23 \times 10^{-4}$	4	Poco esperable
4	Tanque T-3 de almacenamiento de Diesel B5 de 10 800 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-3 en el peor de los casos	$5,59 \times 10^{-5}$	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-3 en el caso medio	$1,87 \times 10^{-4}$	4	Poco esperable
5	Tanque T-4 de almacenamiento de Petróleo Industrial 6 de 10 800 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-4 en el peor de los casos	$3,34 \times 10^{-5}$	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-4 en el caso medio	$1,12 \times 10^{-4}$	4	Poco esperable
6	Tanque T-5 de almacenamiento de Turbo A1 de 2 000 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-5 en el peor de los casos	$3,57 \times 10^{-5}$	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-5 en el caso medio	$1,19 \times 10^{-4}$	4	Poco esperable
7		Caso 1: Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-5	$1,54 \times 10^{-4}$	4	Poco esperable
8	Tanque T-6 de almacenamiento de Diesel B5 de 2 000 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-6 en el peor de los casos	$3,57 \times 10^{-5}$	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-6 en el caso medio	$1,20 \times 10^{-4}$	4	Poco esperable
9	Tanque T-7 de almacenamiento de Diesel B5 de 2 000 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-7 en el peor de los casos	$3,57 \times 10^{-5}$	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-7 en el caso medio	$1,19 \times 10^{-4}$	4	Poco esperable
10	Tanque T-8 de almacenamiento de Diesel B5 de 2 000 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-8 en el peor de los casos	$3,57 \times 10^{-5}$	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-8 en el caso medio	$1,20 \times 10^{-4}$	4	Poco esperable
11	Tanque T-9 de almacenamiento de Gasolina 84 de 3 000 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-9 en el peor de los casos	$6,74 \times 10^{-5}$	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-9 en el caso medio	$2,26 \times 10^{-4}$	4	Poco esperable
12		Caso 1: Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-9	$2,49 \times 10^{-4}$	4	Poco esperable
13	Tanque T-10 de almacenamiento de Gasolina 84 de 3 000 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-10 en el peor de los casos	$6,73 \times 10^{-5}$	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-10 en el caso medio	$2,25 \times 10^{-4}$	4	Poco esperable
14		Caso 1: Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-10	$2,49 \times 10^{-4}$	4	Poco esperable
15	Tanque T-11 de almacenamiento	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-11 en el peor de los casos	$6,74 \times 10^{-5}$	5	Remoto

¹ Mayores escenarios de riesgo determinado en la sección 5.6.1.

² Valores obtenidos en el desarrollo del árbol de eventos de la sección 5.4.3.2.

³ Valores asignados según la Tabla 17.

⁴ Criterios asumidos según la Tabla 17.

Escenario N°	Nodo (peligro)	Casos de los Escenarios de Riesgo ¹	Frecuencia ²	Índice ³	Categoría ⁴
16	de Gasolina 90 de 3 000 barriles	Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-11 en el caso medio	2,26x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
		Caso 1: Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-11	2,49x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
17	Tanque T-12 de almacenamiento de Diesel 2 de 5 000 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-12 en el peor de los casos	4,11x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-12 en el caso medio	1,38x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
18	Tanque T-13 de almacenamiento de Alcohol carburante de 3 000 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-13 en el peor de los casos	6,99x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-13 en el caso medio	2,34x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
19		Caso 1: Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-13	2,53x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
20	Tanque T-14 de almacenamiento de Biodiesel B100 de 2 000 barriles	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-14 en el peor de los casos	3,62x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-14 en el caso medio	1,21x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
21	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Petróleo Industrial 6	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Petróleo Industrial 6 en el peor de los casos.	4,63x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Petróleo Industrial 6 en el caso medio.	1,55x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
22	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Alcohol Carburante	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Alcohol Carburante en el peor de los casos.	4,63x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Alcohol Carburante en el caso medio.	1,55x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
23	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolinas 84	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 84 en el peor de los casos.	4,63x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 84 en el caso medio.	1,55x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
24	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolinas 90	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 90 en el peor de los casos.	4,63x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 90 en el caso medio.	1,55x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
25	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Diesel B5	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Diesel B5 en el peor de los casos.	4,63x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Diesel B5 en el caso medio.	1,55x10 ⁻⁴	4	Poco esperable

Escenario N°	Nodo (peligro)	Casos de los Escenarios de Riesgo ¹	Frecuencia ²	Índice ³	Categoría ⁴
26	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Biodiesel B100	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Biodiesel B100 en el peor de los casos.	4,63x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Biodiesel B100 en el caso medio.	1,55x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
27	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Turbo A1	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Turbo A1 en el peor de los casos.	4,63x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Turbo A1 en el caso medio.	1,55x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
28	Electrobombas de Transferencia para Carga y Descarga de SLOP	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Carga y Descarga de SLOP en el peor de los casos.	4,63x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Carga y Descarga de SLOP en el caso medio.	1,55x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
29	Poza API	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire confinado de la Poza API en el peor de los casos	2,95x10 ⁻⁶	6	Extremadamente remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire confinado de la Poza API en el caso medio	9,87x10 ⁻⁶	6	Extremadamente remoto
30	Puente de Despacho para Gasolina 84	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 84 en el peor de los casos	3,25E-05	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 84 en el caso medio	1,09x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
31	Puente de Despacho para Gasolina 90	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 90 en el peor de los casos	3,25x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 90 en el caso medio	1,09x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
32	Puente de Despacho para Diesel B5	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Diesel B5 en el peor de los casos	3,25x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Diesel B5 en el caso medio	1,09x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
33	Puente de Despacho para Turbo A1	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Turbo A1 en el peor de los casos	3,25x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Turbo A1 en el caso medio	1,09x10 ⁻⁴	4	Poco esperable
34	Puente de Despacho para Petróleo Industrial 6	Caso 1: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Petróleo Industrial 6 en el peor de los casos	3,25x10 ⁻⁵	5	Remoto
		Caso 2: Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Petróleo Industrial 6 en el caso medio	1,09x10 ⁻⁴	4	Poco esperable

Nota. Elaboración propia, como parte del servicio brindado a la Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

5.6.3. Cálculo de requerimiento mínimo de agua y concentrado de espuma

Una medida de mitigación y control del riesgo, es el Sistema Contra Incendios de la propia Planta de Abastecimiento de Combustibles, de esta forma se realizará un balance de agua para cuantificar, según el Artículos 91 y 92 del DS 043-2007-EM, la capacidad mínima requerida de bombeo y el almacenamiento de agua contra incendios, así mismo de la mínima dotación de concentrado de espuma como elemento de extinción que debe disponer la Planta, estos resultados cuantitativos se muestran en la Tabla 33.

Es importante destacar que para determinar que superficies metálicas de las instalaciones deben ser enfriadas, frente a la afectación de la radiación térmica producto de un posible incendio, se aplica la ecuación de transferencia de calor mostrada en la sección 5.4.3.1.4 y se considera el umbral de radiación de 8 kW/m² (ver Tabla 12) para decidir si una superficie metálica se enfría o no.

Tabla 33

Requerimiento mínimo de agua y concentrado de espuma contra incendios

Requerimiento mínimo	Cantidad
Capacidad de flujo de bombeo de agua contra incendio	1 826 gpm
Capacidad total de agua contra incendio (abastecimiento de 4 horas)	438 261 galones (1 659 m ³)
Capacidad total de concentrado de espuma contra incendio	787 galones

Nota. Elaboración propia, como parte del servicio brindado a la Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

5.6.4. Estimación de los costos de afectación

Para estimar el costo total de afectación del daño causado por cada escenario de riesgo, usaremos las metodologías mostradas en la sección 5.4.3.5. Estos costos se evaluaron en dos condiciones, para antes y después de las medidas de mitigación de los

riesgos. Los resultados de estos costos se muestran como parte de los resultados del Anexo 1.

5.7 Resultados y aportes técnicos de la actividad

De los resultados del Análisis Cualitativo de Riesgos por medio de la Metodología What-If se logró determinar los escenarios de riesgo principales, los cuales son la base referencial de estudio del presente trabajo, estos escenarios se muestran en la Tabla 28.

Los resultados del Análisis Cuantitativo de Riesgos se muestran en el Anexo 1 y que están en base al uso de la Matriz Cuantitativa de Riesgo Económico (ver Tabla 17), de esta forma se logró aportar con la cálculo y clasificación de las consecuencias, de las frecuencias y de la magnitud de Riesgo Económico antes de las medidas de mitigación y después de las medidas de mitigación para cada escenario de riesgo. Es importante mencionar que las consecuencias de daño de cada escenario de riesgo han sido valorizadas monetariamente, tomando como referencia al año 2016, y se les llamarán efectos económicos.

Por otra parte, determinó cuantitativamente los resultados del Riesgo Individual Total y el Riesgo Colectivo Social antes y después de las medidas de mitigación, estos se muestran en los Anexos 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

Adicionalmente se calculó el requerimiento mínimo de agua y de concentrado de espuma contra incendios que debía cumplir el cliente y de esta manera posibilitar las recomendaciones respectivas, estos resultados se muestran en la Tabla 33.

5.8 Análisis de resultados

De los resultados obtenidos en la estimación de Riesgo Económico, solo para los escenarios de incendio tipo Pool Fire confinado de los Tanques T-6/7/8 se pudo reducir su nivel de Riesgo, de Tolerable a Aceptable por medio de las medidas de mitigación. En los escenarios de incendio tipo Pool Fire confinado de los Tanques 3 y 4 se obtiene las

mayores reducciones de las consecuencias económicas, superando el millón de dólares, sin embargo mantuvieron su nivel de riesgo en Tolerable.

Los demás escenarios no lograron reducir su nivel de Riesgo Tolerable para antes y después de las medidas de mitigación respectivamente, se entiende que para mayores acciones de mitigación de lo ya establecido, no se tendría un efecto importante en la reducción de riesgo, por lo tanto los riesgos residuales de categoría Tolerable son aceptados.

De los resultados obtenidos en la estimación del Riesgo Individual Total y del Riesgo Colectivo Social, visiblemente se observa que no existe variación en los niveles de riesgo manteniéndose el Riesgo Aceptable y el Riesgo Tolerable para antes y después de las medidas de mitigación respectivamente, se entiende que para mayores acciones de mitigación de lo ya establecido, no se tendría un efecto importante en la reducción de riesgo, por lo tanto los riesgos residuales de categoría Tolerable se aceptan.

Del balance de agua y concentrado de espuma contra incendios, se puede ver que la Planta de Abastecimiento de Combustibles cuenta con menor capacidad de almacenamiento de agua y concentrado de espuma respecto de lo mínimo requerido. En cuanto al bombeo de agua, la Planta si supera lo mínimo requerido.

Por otra parte, se hizo un análisis de la distribución y composición de los hidrantes del Sistema Contra Incendios que poseía la Planta de Abastecimiento de Combustibles, producto de éste análisis se recomienda reubicar hidrantes y monitores-hidrantes una distancia fuera del alcance de una radiación térmica de $12,5 \text{ kW/m}^2$ (según criterios de la Tabla 12) e instalar nuevos monitores-hidrantes, para mayor detalle de esta recomendación ver la Tabla 34.

5.9 Evaluaciones y decisiones tomadas

De la etapa de evaluación cualitativa por medio de metodología What-If se recomendaron medidas de mitigación del riesgo, adicionalmente de la etapa de evaluación cuantitativa se obtiene otro grupo de medidas de mitigación, por lo tanto para conservar los

niveles de riesgo mostrados en los resultados se establece un cronograma de implementación de todas las medidas de mitigación recomendadas, en donde se muestran los costos y tiempos referenciales de cada una de las recomendaciones de la siguiente forma:

Tabla 34

Cronograma de implementación de las medidas de mitigación

N°	MEDIDAS DE MITIGACIÓN	Costo (US\$)	Año 1						Año 2					
			Bimestre 1	Bimestre 2	Bimestre 3	Bimestre 4	Bimestre 5	Bimestre 6	Bimestre 1	Bimestre 2	Bimestre 3	Bimestre 4	Bimestre 5	Bimestre 6
1	Aumentar la capacidad de almacenamiento de agua contra incendio en 341 m ³ en la Planta de Abastecimiento de Combustibles.	400 000												
2	Aumentar la capacidad de almacenamiento de concentrado de espuma ARFFF en 212 galones en la Planta de Abastecimiento de Combustibles.	40 000												
3	Reubicar el hidrante 18 con respecto al tanque T-1 (SLOP), el hidrante 21 con respecto a la bombas para Biodiesel B100/Diesel B5, el hidrante 22 con respecto al tanque T-13, el hidrante 20 respecto del tanque T-2, el monitor-hidrante10 respecto del tanque T-7, el monitor-hidrante 11 respecto del tanque T-8, el monitor-hidrante 16 respecto del tanque T-9, el monitor-hidrante 19 respecto del tanque T-12, el monitor-hidrante 15 respecto del tanque T-13 y el monitor-hidrante 17 respecto del tanque T-10, a una distancia fuera del alcance de una radiación térmica de 12,5 kw/m ² .	10 000												
4	Instalar un sistema de enfriamiento mediante anillo tipo toroide con boquillas aspersores para los tanques T-3/5/6/7/8/9/10/11, en concordancia con el Artículo 92 del D.S. 043-2007-EM y la NFPA 15.	60 000												
5	Adecuar las instalaciones del Sistema Contra Incendio con equipos de bombeo, sistema de cámaras para espuma y sistema de aspersión o enfriamiento con certificación UL o aprobación de FM para la Planta de Abastecimiento de Combustibles. Adicionalmente se deberá contar con transferencia automática en el controlador de la electrobomba contra incendio del suministro normal (energía eléctrica externa) y suministro alternativo (grupo electrógeno).	150 000												
6	Instalar tres monitores-hidrantes como medio de enfriamiento y extinción, en caso de incendio del tanque T-12, en concordancia al Artículo 92 del D.S. 043-2007-EM.	40 000												

N°	MEDIDAS DE MITIGACIÓN	Costo (US\$)	Año 1						Año 2					
			Bimestre 1	Bimestre 2	Bimestre 3	Bimestre 4	Bimestre 5	Bimestre 6	Bimestre 1	Bimestre 2	Bimestre 3	Bimestre 4	Bimestre 5	Bimestre 6
7	Implementar un sistema de drenaje industrial en la zona o patio de maniobra del puente de despacho, con la finalidad que el agua de lluvia contaminada o trazas de hidrocarburos sea conducida al sistema de tratamiento (Poza API) y no directamente hacia los cursos de agua pluviales en cumplimiento de Art. 12 del D.S. 045-2001-EM.	30 000												
8	Considerar instalar alarma de emergencia en sala de operadores.	10 000												
9	Documentar memoria de cálculo del diseño estructural antisísmico en concordancia con el API 650 y de su Anexo E para todos los tanques de almacenamiento T-1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14.	15 000												
10	Verificar y documentar el cálculo de dimensionamiento del sistema de presión vacío de los tanques T-1/2/3/4/5/6/7/8/12/13/14 según el estándar API 2000 y en cumplimiento al Art. 37 del D.S. 052-93-EM y verificar de procedimientos de inspección para las válvulas de presión vacío de acuerdo al estándar API 2000.	5 000												
11	Documentar el análisis hidráulico del sistema contra incendio de la Planta de Abastecimiento de Combustibles.	5 000												
12	Actualización de procedimientos de mantenimiento e inspección del sistema de protección catódica en concordancia al estándar API 651.	5 000												
13	Actualización de procedimientos de inspección de los tanques (y sus planchas de fondo) T-1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14 en concordancia al estándar API 653.	5 000												
14	Actualización del Plan de Contingencias de la Planta de Abastecimiento de Combustibles en cumplimiento del Artículo 19 del D.S. 043-2007-EM, de la RCD 240-2010-OS-CD y concordante a su Estudio de Riesgos actualizado.	10 000												
15	Implementar y documentar pruebas de sistema contra incendio de extinción, enfriamiento y bombeo en concordancia con la NFPA 11/15/20/25.	20 000												
16	Actualización de procedimientos de inspección y pruebas de los equipos de medición e instrumentación de nivel y sistemas relacionados, considerando los intervalos de inspección y prueba no mayor a un año, en concordancia con la NFPA-30.	5 000												
17	Actualización de procedimientos de inspección del sistema puesta a tierra en concordancia al estándar API-540 para los tanques de almacenamiento T-1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14, todas las bombas, sus líneas y puentes de despacho.	5 000												

N°	MEDIDAS DE MITIGACIÓN	Costo (US\$)	Año 1						Año 2					
			Bimestre 1	Bimestre 2	Bimestre 3	Bimestre 4	Bimestre 5	Bimestre 6	Bimestre 1	Bimestre 2	Bimestre 3	Bimestre 4	Bimestre 5	Bimestre 6
18	Verificar y reemplazar las bombas de accionamiento eléctrico actuales que no consideran los criterios de clasificación mostrados en los planos de clasificación de áreas peligrosas, NFPA 70 y API 500, en cumplimiento del Art. 50 y 55 del D.S. 052-93-EM.	100 000												
19	Evaluar y documentar la factibilidad para la instalación de un sistema de traceado para las líneas de succión y descarga de las bombas de transferencia de Petróleo Industrial 6 P1A/B/C/D/E y/o sus tanques de almacenamiento T-2 y T-4 respectivamente.	8000												
Costo total		923 000												

Nota. Elaboración propia, como parte del servicio brindado a la Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

5.10 Informes o reportes presentados como resultados de las actividades realizadas

Para desarrollar mi actividad seleccionada (Consultoría en Seguridad de los Procesos) usé documentos guía (plantillas) de la empresa CE&A y que me servían para presentar mis trabajos, en este caso reportar al Jefe del Área de Ingeniería Química y Procesos, a continuación muestro los nombres de dichos documentos que utilicé para el desarrollo del Estudios de Riesgos, el cual es base para el presente informe:

- Capítulo I Generalidades
- Capítulo II Descripción de la Metodología
- Capítulo III Descripción del Proyecto o Instalaciones
- Capítulo IV Evaluación de Riesgos
- Capítulo V Matriz de Riesgo
- Capítulo VI Medidas de Mitigación
- Capítulo VII Conclusiones y Recomendaciones
- Anexo A.1 Plantillas What-If
- Anexo A.2 Análisis de Consecuencia de Siniestros

- Anexo A.3 Estimación de la Frecuencia de Ocurrencia de Siniestros
- Anexo A.4 Estimación Cuantitativa de Riesgos
- Anexo A.5 Análisis de Reducción de Riesgo y Costo Beneficio
- Anexo A.6 Cálculo de Requerimiento Mínimo de Agua y Agente de Extinción Contra Incendios
- Anexo A.8 Listado de Equipos Contra Incendio
- Anexo A.9 Listado de Equipos de Detección
- Anexo A.10 Estimación de Costos de Daños Económicos
- Plano de escenario de Explosión de Vapores Confinados (CVE)
- Plano de Escenario Pool Fire Confinado
- Plano de Isoriesgos Individuales Totales

Capítulo VI. Actividades complementarias

En este capítulo se muestran mis actividades complementarias desarrolladas durante mi permanencia en la empresa CE&A.

6.1 Actividades de investigación o innovación realizadas como bachiller

Dentro de mis actividades complementarias, relacionadas a trabajos de investigación e innovación, realicé el seguimiento de precios de combustibles en Sudamérica, Norteamérica, Europa y Asia/Oceanía, esta actividad fue por un servicio brindado al Osinergmin.

6.2 Participación en unidades o grupos de seguridad industrial

Dentro de mis actividades complementarias, relacionadas a temas de seguridad industrial, brindé charlas a mis compañeros de trabajo en temas de ergonomía dentro de las oficinas y de medidas de seguridad del personal en las diversas actividades en una refinería o planta industrial.

6.3 Actividades de representación de la empresa

Las actividades de representación de la empresa CE&A las pude realizar de las siguientes formas:

- Para las actividades de relevamiento de campo, en donde mi persona y otros compañeros de trabajo, acudíamos a las charlas de inducción de seguridad de las empresas cliente a las cuales les brindábamos servicio, y posteriormente se realizaba las actividades propias el relevamiento del proyecto, en donde se recorría las instalaciones de interés y así recoger la información requerida.
- Reuniones pactadas con el personal de la empresa cliente para realizar las sesiones What-If, o HAZOP, en estas sesiones me encargaba de ejecutar el software PHA Pro, necesario para este tipo de sesiones.

- Reuniones con el personal de nuestro cliente, en este caso mi actividad era de coordinación y de soporte a mi Jefe inmediato para así resolver observaciones o requerimientos del cliente.

6.4 Otras actividades complementarias

Otras actividades complementarias durante mi permanencia en la empresa CE&A fueron las siguientes:

- Exámenes médicos de salud ocupacional previa a las actividades de relevamiento.
- Participación recreativa durante con motivo del aniversario de la empresa.
- En actividades de conservación del medio ambiente promovida por la empresa.

Capítulo VII. Contribuciones al desarrollo de la empresa

Mis contribuciones al desarrollo de la empresa se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Actualización, digitalización y mejoras en la implementación de las metodologías ACR, de esta forma se agilizaron y mejoraron la exactitud de los cálculos y con ello las expectativas del cliente fueron cubiertas.
- Desarrollo de entregables conforme a los principios físicos y químicos en las disciplinas de ingeniería de procesos y de ingeniería de riesgos y según los requerimientos de la normativa nacional e internacional correspondiente.
- La empresa obtuvo mis conocimientos y experiencia en ingeniería de procesos necesarios para la resolución de problemas y requerimientos en distintos tipos de proyectos de consultoría.
- Conseguir que la empresa sea vista como responsable y cumplidora de sus compromisos con sus clientes.
- Implementación de formatos, plantillas e instructivos destinados a mejorar en sistema de gestión de calidad de la empresa.
- Colaboré con éxito durante las actividades de auditoría destinadas a conseguir la certificación ISO 9001.

Conclusiones

A continuación se muestra las conclusiones producto del presente trabajo:

- En la Planta de Abastecimiento de Combustibles se concluye que se tiene una categoría general de Riesgo Tolerable (ALARP), siendo los escenarios de mayor Riesgo Económico, el incendio tipo Pool Fire del tanque T-3 y la explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-13.
- La mayor frecuencia de ocurrencia es de $3,04 \times 10^{-4}$ año⁻¹ (poco esperable según la metodología ACR) perteneciente al escenario de incendio tipo Pool Fire confinado del tanque T-13 de almacenamiento de Alcohol Carburante.
- En la estimación cuantitativa de riesgos, se ha evaluado el Riesgo Individual Total y Riesgo Colectivo/Social. Los resultados indican que ambos poseen un Riesgo Tolerable (ALARP).
- El personal de brigada contra incendio, utilizando la ropa de protección contra fuegos, deberá considerar una distancia mínima prudente de 16 m respecto del incendio, a la cual le corresponde un nivel de radiación de 12,5 kW/m².
- La capacidad existente disponible de agua contra incendio para la Planta de Abastecimiento de Combustibles es de 1 318 m³ (348 153 galones), distribuidas en una Pileta de 1000 m³ y en un tanque de 318 m³, sin embargo este volumen no podrá satisfacer el requerimiento mínimo de agua contra incendios para el escenario de mayor de riesgo (incendio del Tanque T-3 o T-4) para las cuatro (04) horas de reserva, en cumplimiento con el Art. 91 del D.S. 043-2007-EM. De la evaluación realizada, la cual considera las instalaciones actuales, se requiere una reserva mínima de agua de 1659 m³ (438 261 galones).
- La capacidad mínima requerida de almacenamiento de concentrado de espuma deberá ser de 787 galones, mientras que la capacidad existente de la Planta de Abastecimiento de Combustibles es de 575 galones distribuidos en tres (03) tanques rodantes de 115gal, 130gal y 330gal respectivamente, por tanto no cumple

con el suministro requerido en concordancia al Art. 86 y Art. 92 del D.S. 043-2007-EM y del estándar NFPA 30.

Recomendaciones

En vista que el mayor riesgo residual tiene un nivel de “Riesgo Tolerable”, se recomienda el seguimiento y control para la implementación de las medidas de mitigación propuestas en la sección 5.9, estas implementaciones recomendadas son las siguientes:

- Aumentar la capacidad de almacenamiento de agua contra incendio en 341 m³ en la Planta de Abastecimiento de Combustibles.
- Aumentar la capacidad de almacenamiento de concentrado de espuma tipo ARFFF en 212 galones en la Planta de Abastecimiento de Combustibles.
- Reubicar el hidrante 18 con respecto al tanque T-1 (SLOP), el hidrante 21 con respecto a la bombas para Biodiesel B100/Diesel B5, el hidrante 22 con respecto al tanque T-13, el hidrante 20 respecto del tanque T-2, el monitor-hidrante 10 respecto del tanque T-7, el monitor-hidrante 11 respecto del tanque T-8, el monitor-hidrante 16 respecto del tanque T-9, el monitor-hidrante 19 respecto del tanque T-12, el monitor-hidrante 15 respecto del tanque T-13 y el monitor-hidrante 17 respecto del tanque T-10, a una distancia fuera del alcance de una radiación térmica de 12,5 kw/m².
- Instalar un sistema de enfriamiento mediante anillo tipo toroide con boquillas aspersores para los tanques T-3/5/6/7/8/9/10/11, en concordancia con el Artículo 92 del D.S. 043-2007-EM y la NFPA 15.
- Adecuar las instalaciones del Sistema Contra Incendio con equipos de bombeo, sistema de cámaras para espuma y sistema de aspersion o enfriamiento con certificación UL o aprobación de FM para la Planta de Abastecimiento de Combustibles. Adicionalmente se deberá contar con transferencia automática en el controlador de la electrobomba contra incendio del suministro normal (energía eléctrica externa) y suministro alternativo (grupo electrógeno).
- Instalar tres hidrantes monitores como medio de enfriamiento y extinción, en caso de incendio del tanque T-12, en concordancia al Artículo 92 del D.S. 043-2007-EM.

- Implementar un sistema de drenaje industrial en la zona o patio de maniobra del puente de despacho, con la finalidad que el agua de lluvia contaminada o trazas de hidrocarburos sea conducida al sistema de tratamiento (Poza API) y no directamente hacia los cursos de agua pluviales en cumplimiento de Art. 12 del D.S. 045-2001-EM.
- Considerar instalar alarma de emergencia en sala de operadores.
- Documentar memoria de cálculo del diseño estructural antisísmico en concordancia con el API 650 y de su Anexo E para todos los tanques de almacenamiento T-1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14.
- Verificar y documentar el cálculo de dimensionamiento del sistema de presión vacío de los tanques T-1/2/3/4/5/6/7/8/12/13/14 según el estándar API 2000 y en cumplimiento al Art. 37 del D.S. 052-93-EM y verificar de procedimientos de inspección para las válvulas de presión vacío de acuerdo al estándar API 2000.
- Documentar el análisis hidráulico del sistema contra incendio de la Planta de Abastecimiento de Combustibles.
- Actualización de procedimientos de mantenimiento e inspección del sistema de protección catódica en concordancia al estándar API 651.
- Actualización de procedimientos de inspección de los tanques (y sus planchas de fondo) T-1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14 en concordancia al estándar API 653.
- Actualización del Plan de Contingencias de la Planta de Abastecimiento de Combustibles en cumplimiento del Artículo 19 del D.S. 043-2007-EM, de la RCD 240-2010-OS-CD y concordante a su Estudio de Riesgos actualizado.
- Implementar y documentar pruebas de sistema contra incendio de extinción, enfriamiento y bombeo en concordancia con la NFPA 11/15/20/25.
- Actualización de procedimientos de inspección y pruebas de los equipos de medición e instrumentación de nivel y sistemas relacionados, considerando los intervalos de inspección y prueba no mayor a 1 año según la NFPA-30.

- Actualización de procedimientos de inspección del sistema puesta a tierra en concordancia al estándar API-540 para los tanques de almacenamiento T-1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14, todas las bombas, sus líneas y puentes de despacho.
- Verificar y reemplazar las bombas de accionamiento eléctrico actuales que no consideran los criterios de clasificación mostrados en los planos de clasificación de áreas peligrosas, NFPA 70 y API 500, en cumplimiento del Art. 50 y 55 del D.S. 052-93-EM.
- Evaluar y documentar la factibilidad para la instalación de un sistema de traceado para las líneas de succión y descarga de las bombas de transferencia de Petróleo Industrial 6 P1A/B/C/D/E y/o sus tanques de almacenamiento T-2 y T-4 respectivamente.

Referencias bibliográficas

- American Petroleum Institute. (1999). API 2218: Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants (2nd ed.).
<https://www.cablejoints.co.uk/upload/API2218---Fireproofing-Practices-In-Petroleum-and-Petrochemical-Processing-Plants.pdf>
- American Petroleum Institute. (2008). API RP 581: *Risk-Based Inspection Technology* (2nd ed.). <https://dokumen.tips/engineering/risk-based-inspection-technology-api-581-2008-55c44dd764007.html?page=1>
- Aprueban el Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos y modifican diversas disposiciones. (2007). Ministerio de Energía y Minas. El Peruano 351940.
https://www.minem.gob.pe/_legislacionM.php?idSector=5&idLegislacion=5607
- Base Metodología para la Elaboración de Estudios de Riesgos. (2015). Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.
- Casal, J., Mon, H., Planas, E. y Vílchez, J. (1999). *Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales*. Edicions UPC.
- Center for Chemical Process Safety. (1992). *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures: with worked examples* (2nd ed.). American Institute of Chemical Engineers.
- Center for Chemical Process Safety. (2000). *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis* (2nd ed.). American Institute of Chemical Engineers.
- Center for Chemical Process Safety. (2003). *Guidelines for Facility Siting and Layout*. American Institute of Chemical Engineers.
- Consejería de Fomento Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. (2021). *Resumen de Principales Accidentes y Catástrofes Históricas Asociados a los Diferentes Sectores Definidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas del Contrato de Elaboración de Guía Técnica para la Identificación de Riesgos Asociados a la Vulnerabilidad de los Proyectos Sometidos a Procedimientos de Evaluación Ambiental ante Riesgos de Accidentes Graves o de Catástrofes*. Gobierno Del Principado de Asturias.

- Corporación Nacional de Petróleo de China Perú S.A. (2015). *Estudios de Riesgos del Proyecto de Prospección Sísmica 2D Lote 58 – Cusco*.
- Eisenberg, N., Lynch, C. & Breeding, R. (1975). *Vulnerability Model. A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Marine Spills*. Department of Transportation United States Coast Guard, Office of Research and Development.
- Estudio Solano. (2013). *Análisis y Evaluación de Riesgos Industriales*. Vopak Perú S.A. – Terminal Callao.
- Health & Safety Executive. (2001). *Reducing Risks, Protecting People* (1st ed.). <https://www.hse.gov.uk/managing/theory/r2p2.htm>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (s.f.). *NTP 291: Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: método Probit*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España.
- Liu, Y. (2011). *Thermal Buckling of Metal Oil Tanks Subject to an Adjacent Fire* [Tesis de doctorado, The University of Edinburgh]. Archivo digital. <https://era.ed.ac.uk/handle/1842/5588>
- National Fire Protection Association & Society of Fire Protection Engineers. (2002). *Handbook of Fire Protection Engineering* (3rd ed.). OmegaType Typography, Inc.
- National Institute of Public Health and the Environment. (2005). Guideline for Quantitative Risk Assessment 'Purple Book'. Committee for the Prevention of Disasters.
- Nava, C., Rodríguez, A., Palacio, A., Aguillón, J. y Reyes, O. (2009). Primera Planta de Gasificación en México (Análisis de Riesgo). Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, *Memorias del XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, 1321 - 1330.
- Nolan, D. (1994). *Application of HAZOP and What-If Safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical and Chemical Industries*. Noyes Publications.
- Nolan, D. (2011). *Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles* (2nd ed.). Elsevier Inc.
- Olarte Plata, J. D. y Pérez Suárez, A. F. (2010). *Análisis de Riesgos y Consecuencias como*

Producto de Escenarios Probables en un Sistema de Transporte y Almacenamiento de Hidrocarburos [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. Archivo digital. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/19220/u429588.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pérez Torres, P. (2019). *Análisis de Riesgo de una Instalación de Almacenaje de Hidrocarburos* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Catalunya]. Archivo digital. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/175326>

Petróleos de Venezuela S.A. (1995). *Criterios para el Análisis Cuantitativo de Riesgos*. Manual de Ingeniería de Riesgos, Volumen 1, 1-92.

Procedimiento de Evaluación y Aprobación de los Instrumentos de Gestión de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos. (2010, 24 de octubre). Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. Sistema Peruano de Información Jurídica. <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/675899-240-2010-os-cd>

Stanley, A., Nicholls, C., Burnup, B. & Smith, J. (2018). Risk tolerability targets; misconceived, misunderstood and misapplied. *Hazards 28, Symposium Series N° 163*, 1-11.

Tedesco, R. (2011). *Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR)*. Pluspetrol Perú.

TNO – The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research. (2005). *Methods for the Calculation of Physical Effects - Due to releases of hazardous materials (liquids and gases)*, 'Yellow Book' (3rd ed.). Committee for the Prevention of Disasters.

TNO – The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research. (1992). *Methods for the Determination of Possible Damage - To people and objects resulting from release of hazardous materials*, 'Green Book' (1st ed.). Committee for the Prevention of Disasters.

Anexos

Anexo 1: Riesgo económico antes y después de las medidas de mitigación del riesgo	132
Anexo 2: Contornos de riesgos individuales totales y zonas de iso-riesgo para las instalaciones antes de las medidas de mitigación	144
Anexo 3: Contornos de riesgos individuales totales y zonas de iso-riesgo para las instalaciones después de las medidas de mitigación	145
Anexo 4: Riesgo colectivo social antes de las medidas de mitigación (Curva F-N).....	146
Anexo 5: Riesgo colectivo social después de las medidas de mitigación (Curva F-N)	147

Anexo 1

Riesgo económico antes y después de las medidas de mitigación del riesgo

Escenarios de riesgo				Calificación antes de las Medidas de Mitigación				Magnitud del Riesgo Cuantitativo antes de las Medidas de Mitigación	Medida de Mitigación, Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación después de las Medidas de Mitigación		
Nº	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta / Control existente	Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia (año ⁻¹)	Clasificación			Efectos Económicos	Frecuencia (año ⁻¹)	Magnitud de Riesgo Residual
1	Tanque T-1 de almacenamiento de Slop de 500 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-1	- Indicador medidor de nivel tipo radar - Medidor indicador de temperatura - Unión débil - Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma	\$235 441,43	B	2,73E-05	5	RIESGO ACEPTABLE	Reubicación de hidrante. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$233 661,76	2,73E-05	RIESGO ACEPTABLE
2		Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-1	- Válvula presión vacío - Unión débil	\$35 972,72	B	2,57E-05	5	RIESGO ACEPTABLE	----	\$35 972,72	2,57E-05	RIESGO ACEPTABLE
3	Tanque T-2 de almacenamiento de Petróleo Industrial 6 de 12 500 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-2	- Indicador medidor de nivel tipo radar - Medidor indicador de temperatura - Unión débil - Red de hidrante monitor y cámaras de espuma - Aspersores y cámara de espuma	\$345 086,85	C	1,60E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Reubicación de hidrante. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$336 039,66	1,60E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)

Escenarios de riesgo				Calificación antes de las Medidas de Mitigación				Magnitud del Riesgo Cuantitativo antes de las Medidas de Mitigación	Medida de Mitigación, Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación después de las Medidas de Mitigación		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta / Control existente	Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia (año ⁻¹)	Clasificación			Efectos Económicos	Frecuencia (año ⁻¹)	Magnitud de Riesgo Residual
4	Tanque T-3 de almacenamiento de Diesel B5 de 10 800 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-3	- Indicador medidor de nivel tipo radar - Medidor indicador de temperatura - Unión débil - Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma	\$1 579 209,81	C	2,43E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Sistema toroide de aspersión en tanque. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$330 224,86	2,43E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
5	Tanque T-4 de almacenamiento de Petróleo Industrial 6 de 10 800 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-4	- Indicador medidor de nivel tipo radar - Medidor indicador de temperatura - Unión débil - Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma	\$1 560 898,31	C	1,45E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$321 070,04	1,45E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
6	Tanque T-5 de almacenamiento de Turbo A1 de 2 000 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-5	- Indicador medidor de nivel tipo radar - Medidor indicador de temperatura - Unión débil - Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma	\$398 559,53	C	1,55E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Sistema toroide de aspersión en tanque. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$258 908,40	1,55E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)

Escenarios de riesgo				Calificación antes de las Medidas de Mitigación				Magnitud del Riesgo Cuantitativo antes de las Medidas de Mitigación	Medida de Mitigación, Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación después de las Medidas de Mitigación		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta / Control existente	Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia (año ⁻¹)	Clasificación			Efectos Económicos	Frecuencia (año ⁻¹)	Magnitud de Riesgo Residual
7		Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-5	• Válvula presión vacío • Unión débil	\$435 032,61	C	1,54E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	----	\$435 032,61	1,54E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
8	Tanque T-6 de almacenamiento de Diesel B5 de 2 000 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-6	• Indicador medidor de nivel tipo radar • Medidor indicador de temperatura • Unión débil • Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma	\$375 996,82	C	1,55E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Sistema toroide de aspersión en tanque. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$250 035,46	1,55E-04	RIESGO ACEPTABLE
9	Tanque T-7 de almacenamiento de Diesel B5 de 2 000 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-7	• Indicador medidor de nivel tipo radar • Medidor indicador de temperatura • Unión débil • Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma	\$375 940,40	C	1,55E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Sistema toroide de aspersión en tanque. Reubicación de hidrante monitor. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$249 904,25	1,55E-04	RIESGO ACEPTABLE

Escenarios de riesgo				Calificación antes de las Medidas de Mitigación				Magnitud del Riesgo Cuantitativo antes de las Medidas de Mitigación	Medida de Mitigación, Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación después de las Medidas de Mitigación		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta / Control existente	Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia (año ⁻¹)	Clasificación			Efectos Económicos	Frecuencia (año ⁻¹)	Magnitud de Riesgo Residual
10	Tanque T-8 de almacenamiento de Diesel B5 de 2 000 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-8	- Indicador medidor de nivel tipo radar - Medidor indicador de temperatura - Unión débil - Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma	\$375 940,64	C	1,55E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Sistema toroide de aspersión en tanque. Reubicación de hidrante monitor. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$249 904,38	1,55E-04	RIESGO ACEPTABLE
11	Tanque T-9 de almacenamiento de Gasolina 84 de 3 000 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-9	- Indicador medidor de nivel tipo radar - Medidor indicador de temperatura - Unión débil - Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma	\$490 503,36	C	2,93E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Sistema toroide de aspersión en tanque. Reubicación de hidrante monitor, Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$271 060,63	2,93E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
12		Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-9	- Válvula presión vacío - Unión débil	\$346 262,81	C	2,49E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	----	\$346 262,81	2,49E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)

Escenarios de riesgo				Calificación antes de las Medidas de Mitigación				Magnitud del Riesgo Cuantitativo antes de las Medidas de Mitigación	Medida de Mitigación, Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación después de las Medidas de Mitigación		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta / Control existente	Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia (año ⁻¹)	Clasificación			Efectos Económicos	Frecuencia (año ⁻¹)	Magnitud de Riesgo Residual
13	Tanque T-10 de almacenamiento de Gasolina 84 de 3 000 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-10	- Indicador medidor de nivel tipo radar - Medidor indicador de temperatura - Unión débil - Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma	\$490 507,82	C	2,93E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Sistema toroide de aspersión en tanque. Reubicación de hidrante monitor. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$271 060,63	2,93E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
14		Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-10	- Válvula presión vacío - Unión débil	\$345 919,07	C	2,49E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	----	\$345 919,07	2,49E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
15	Tanque T-11 de almacenamiento de Gasolina 90 de 3 000 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-11	- Indicador medidor de nivel tipo radar - Medidor indicador de temperatura - Unión débil - Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma	\$489 844,16	C	2,93E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Sistema toroide de aspersión en tanque. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$271 153,79	2,93E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
16		Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-11	- Válvula presión vacío - Unión débil	\$346 218,28	C	2,49E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	----	\$346 218,28	2,49E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)

Escenarios de riesgo				Calificación antes de las Medidas de Mitigación				Magnitud del Riesgo Cuantitativo antes de las Medidas de Mitigación	Medida de Mitigación, Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación después de las Medidas de Mitigación		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta / Control existente	Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia (año ⁻¹)	Clasificación			Efectos Económicos	Frecuencia (año ⁻¹)	Magnitud de Riesgo Residual
17	Tanque T-12 de almacenamiento de Diesel 2 de 5 000 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-12	- Indicador medidor de nivel tipo radar - Medidor indicador de temperatura - Unión débil - Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma	\$589 372,35	C	1,79E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Instalar dos hidrantes monitores para enfriamiento y un hidrante monitor para extinción. Reubicación de hidrante monitor. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$279 802,15	1,79E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
18	Tanque T-13 de almacenamiento de Alcohol carburante de 3 000 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-13	- Indicador medidor de nivel tipo radar - Medidor indicador de temperatura - Unión débil - Red de hidrante monitor - Aspersores y cámara de espuma	\$272 294,70	C	3,04E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Reubicación de hidrante monitor. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$265 690,19	3,04E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
19		Explosión de vapores confinados (CVE) del tanque T-13	- Válvula presión vacío - Unión débil	\$345 470,27	C	2,53E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	----	\$345 470,27	2,53E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)

Escenarios de riesgo				Calificación antes de las Medidas de Mitigación				Magnitud del Riesgo Cuantitativo antes de las Medidas de Mitigación	Medida de Mitigación, Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación después de las Medidas de Mitigación		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta / Control existente	Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia (año ⁻¹)	Clasificación			Efectos Económicos	Frecuencia (año ⁻¹)	Magnitud de Riesgo Residual
20	Tanque T-14 de almacenamiento de Biodiesel B100 de 2 000 barriles	Incendio tipo Pool Fire confinado del Tanque T-14	- Indicador medidor de nivel tipo radar - Medidor indicador de temperatura - Unión débil - Red de hidrante monitor - Aspersores y cámara de espuma	\$251 780,93	B	1,58E-04	4	RIESGO ACEPTABLE	Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$247 523,48	1,58E-04	RIESGO ACEPTABLE
21	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Petróleo Industrial 6	Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Petróleo Industrial 6	- Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma - Área con contención en caseta de bombas con loza de concreto	\$286 087,77	C	2,01E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$286 087,77	2,01E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
22	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Alcohol Carburante	Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Alcohol Carburante	- Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma - Área con contención en caseta de bombas con loza de concreto	\$337 061,66	C	2,01E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$337 091,94	2,01E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)

Escenarios de riesgo				Calificación antes de las Medidas de Mitigación				Magnitud del Riesgo Cuantitativo antes de las Medidas de Mitigación	Medida de Mitigación, Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación después de las Medidas de Mitigación		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta / Control existente	Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia (año ⁻¹)	Clasificación			Efectos Económicos	Frecuencia (año ⁻¹)	Magnitud de Riesgo Residual
23	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolinas 84	Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 84	- Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma - Área con contención en caseta de bombas con loza de concreto	\$334 714,51	C	2,01E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$334 746,95	2,01E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
24	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolinas 90	Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Gasolina 90	- Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma - Área con contención en caseta de bombas con loza de concreto	\$334 604,04	C	2,01E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$334 636,49	2,01E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
25	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Diesel B5	Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Diesel B5	- Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma - Área con contención en caseta de bombas con loza de concreto	\$289 427,78	C	2,01E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$289 424,86	2,01E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)

Escenarios de riesgo				Calificación antes de las Medidas de Mitigación				Magnitud del Riesgo Cuantitativo antes de las Medidas de Mitigación	Medida de Mitigación, Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación después de las Medidas de Mitigación		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta / Control existente	Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia (año ⁻¹)	Clasificación			Efectos Económicos	Frecuencia (año ⁻¹)	Magnitud de Riesgo Residual
26	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Biodiesel B100	Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Biodiesel B100	- Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma - Área con contención en caseta de bombas con loza de concreto	\$270 968,26	C	2,01E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$270 968,26	2,01E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
27	Electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Turbo A1	Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Recepción y Despacho de Turbo A1	- Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma - Área con contención en caseta de bombas con loza de concreto	\$301 333,16	C	2,01E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$301 333,16	2,01E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)
28	Electrobombas de Transferencia para Carga y Descarga de SLOP	Incendio tipo Pool Fire no confinado de las electrobombas de Transferencia para Carga y Descarga de SLOP	- Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma - Área con contención en caseta de bombas con loza de concreto	\$270 454,02	C	2,01E-04	4	RIESGO TOLERABLE (ALARP)	Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$270 454,02	2,01E-04	RIESGO TOLERABLE (ALARP)

Escenarios de riesgo				Calificación antes de las Medidas de Mitigación				Magnitud del Riesgo Cuantitativo antes de las Medidas de Mitigación	Medida de Mitigación, Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación después de las Medidas de Mitigación		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta / Control existente	Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia (año ⁻¹)	Clasificación			Efectos Económicos	Frecuencia (año ⁻¹)	Magnitud de Riesgo Residual
29	Poza API	Incendio tipo Pool Fire confinado de la Poza API	• Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma	\$223 945,73	B	1,28E-05	5	RIESGO ACEPTABLE	Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$223 945,73	1,28E-05	RIESGO ACEPTABLE
30	Puente de Despacho para Gasolina 84	Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 84	• Sistema de detección y bloqueo automático por sobrellenado. • Sistema de cierre de emergencia local de corte en sistema de despacho shut off • Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma • Puesta a tierra	\$238 696,79	B	1,41E-04	4	RIESGO ACEPTABLE	Implementar un sistema de drenaje industrial en la zona o patio de maniobra del puente de despacho. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$238 694,72	1,41E-04	RIESGO ACEPTABLE

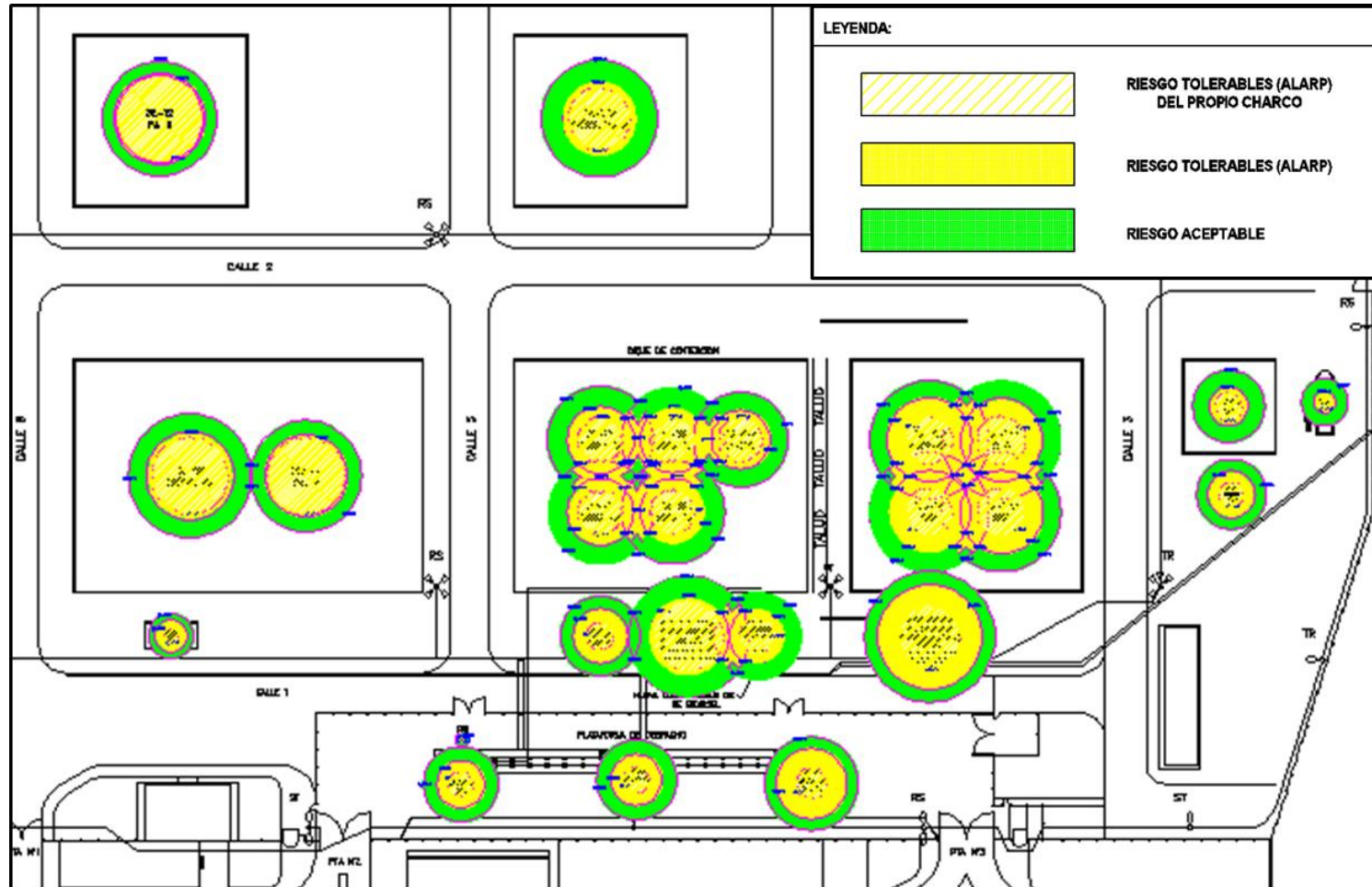
Escenarios de riesgo				Calificación antes de las Medidas de Mitigación				Magnitud del Riesgo Cuantitativo antes de las Medidas de Mitigación	Medida de Mitigación, Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación después de las Medidas de Mitigación		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta / Control existente	Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia (año ⁻¹)	Clasificación			Efectos Económicos	Frecuencia (año ⁻¹)	Magnitud de Riesgo Residual
31	Puente de Despacho para Gasolina 90	Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Gasolina 90	• Sistema de detección y bloqueo automático por sobrellenado. • Sistema de cierre de emergencia local de corte en sistema de despacho shut off • Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma • Puesta a tierra	\$238 691,69	B	1,41E-04	4	RIESGO ACEPTABLE	Implementar un sistema de drenaje industrial en la zona o patio de maniobra del puente de despacho. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$238 688,93	1,41E-04	RIESGO ACEPTABLE
32	Puente de Despacho para Diesel B5	Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Diesel B5	• Sistema de detección y bloqueo automático por sobrellenado. • Sistema de cierre de emergencia local de corte en sistema de despacho shut off • Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma • Puesta a tierra	\$238 471,75	B	1,41E-04	4	RIESGO ACEPTABLE	Implementar un sistema de drenaje industrial en la zona o patio de maniobra del puente de despacho. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$238 471,75	1,41E-04	RIESGO ACEPTABLE

Escenarios de riesgo				Calificación antes de las Medidas de Mitigación				Magnitud del Riesgo Cuantitativo antes de las Medidas de Mitigación	Medida de Mitigación, Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación después de las Medidas de Mitigación		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta / Control existente	Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia (año ⁻¹)	Clasificación			Efectos Económicos	Frecuencia (año ⁻¹)	Magnitud de Riesgo Residual
33	Puente de Despacho para Turbo A1	Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Turbo A1	• Sistema de detección y bloqueo automático por sobrellenado. • Sistema de cierre de emergencia local de corte en sistema de despacho shut off • Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma • Puesta a tierra	\$238 528,02	B	1,41E-04	4	RIESGO ACEPTABLE	Implementar un sistema de drenaje industrial en la zona o patio de maniobra del puente de despacho. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$238 528,02	1,41E-04	RIESGO ACEPTABLE
34	Puente de Despacho para Petróleo Industrial 6	Incendio tipo Pool Fire no confinado en Puente de Despacho para Petróleo Industrial 6	• Sistema de detección y bloqueo automático por sobrellenado. • Sistema de cierre de emergencia local de corte en sistema de despacho shut off • Red de hidrante monitor y lanzadores de espuma • Puesta a tierra	\$99 245,23	B	1,41E-04	4	RIESGO ACEPTABLE	Implementar un sistema de drenaje industrial en la zona o patio de maniobra del puente de despacho. Adecuación del Sistema Contra Incendio bajo certificación UL o aprobación FM. Contar con controlador de suministro de energía (normal y alternativo) para la electrobomba contra incendio.	\$99 245,23	1,41E-04	RIESGO ACEPTABLE

Nota. Elaboración propia, como parte del servicio brindado a la Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Anexo 2

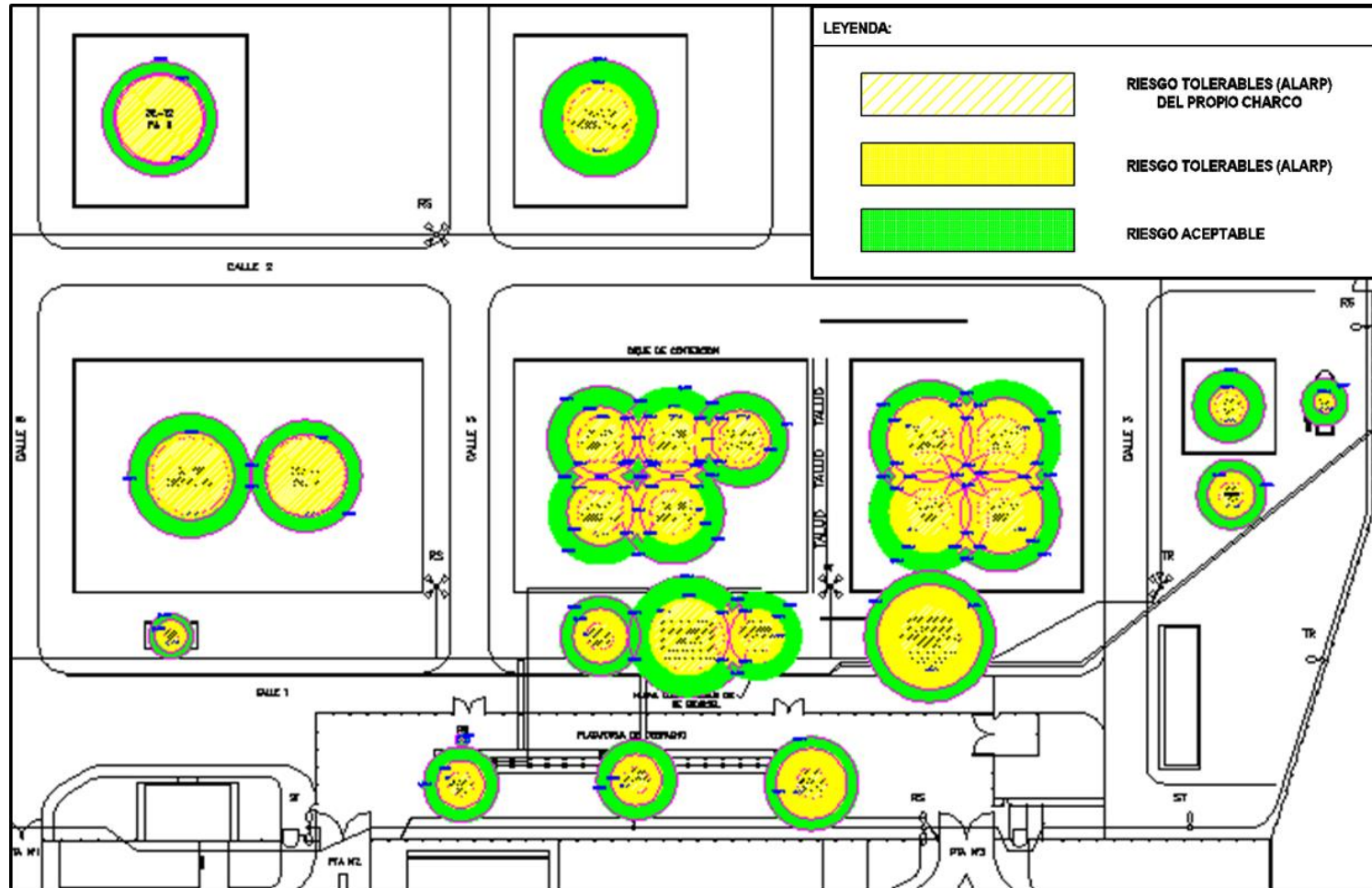
Contornos de riesgos individuales totales y zonas de iso-riesgo para las instalaciones antes de las medidas de mitigación



Nota. Elaboración propia, como parte del servicio brindado a la Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Anexo 3

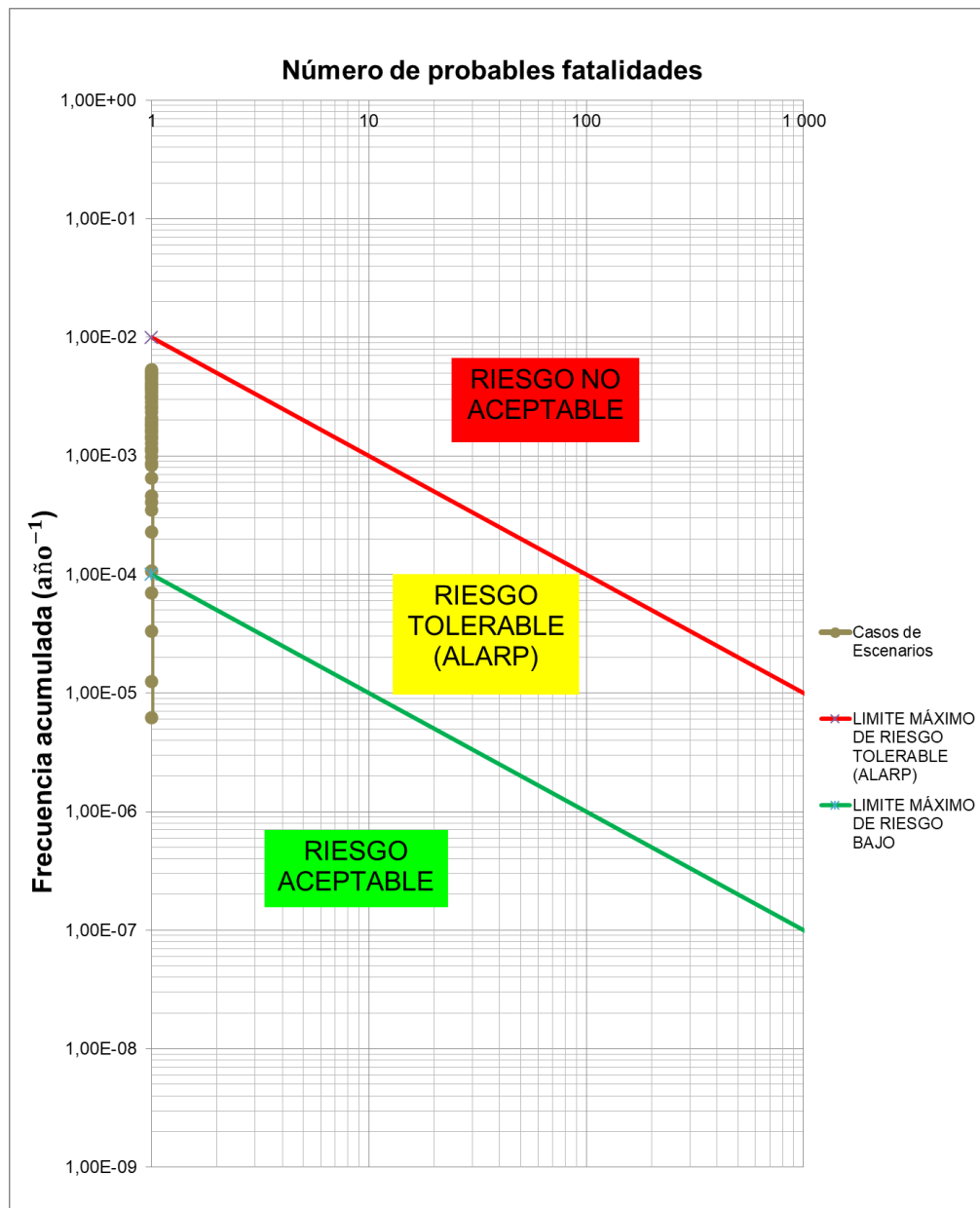
Contornos de riesgos individuales totales y zonas de iso-riesgo para las instalaciones después de las medidas de mitigación



Nota. Elaboración propia, como parte del servicio brindado a la Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Anexo 4

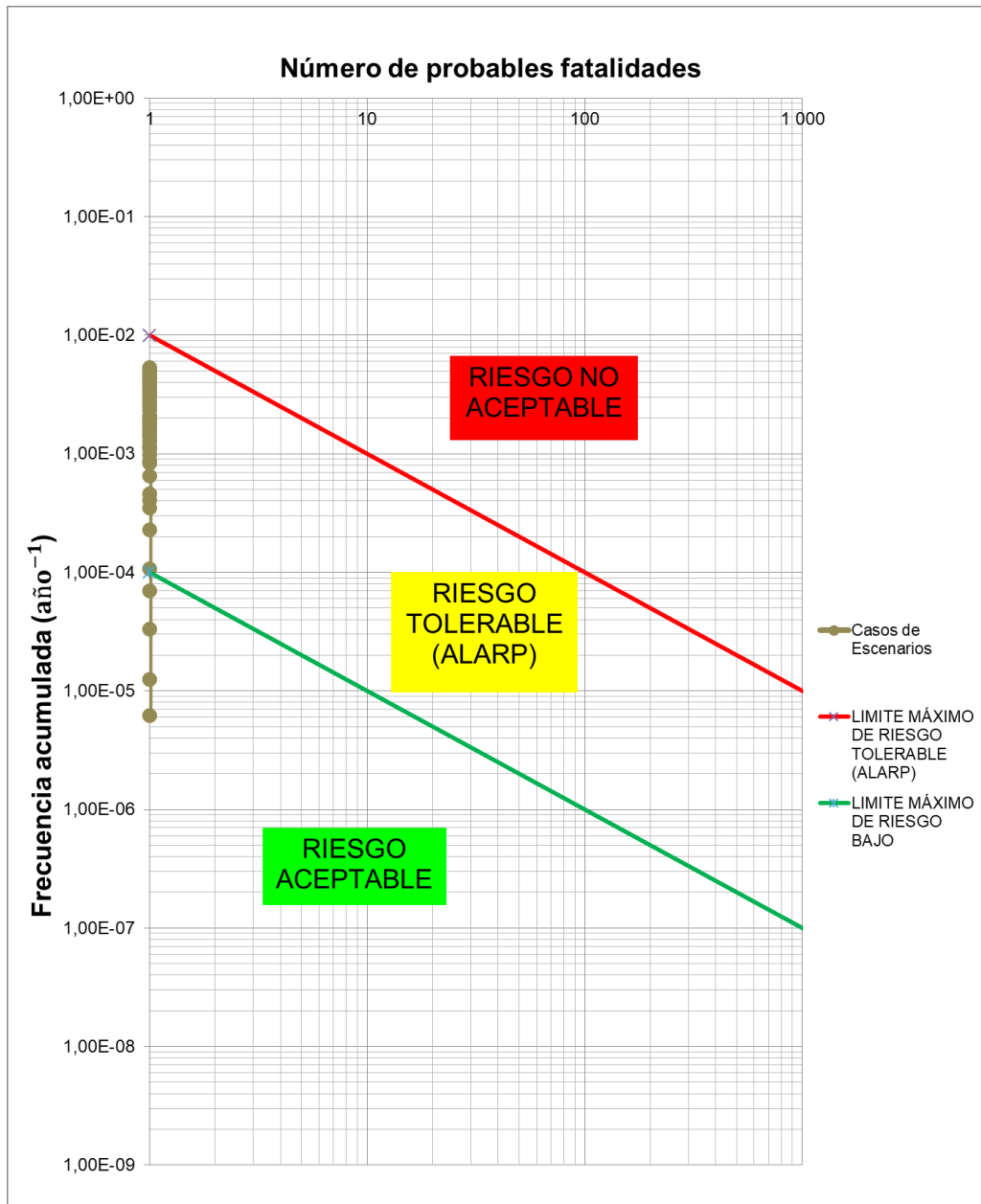
Riesgo colectivo social antes de las medidas de mitigación (Curva F-N)



Nota. Elaboración propia, como parte del servicio brindado a la Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).

Anexo 5

Riesgo colectivo social después de las medidas de mitigación (Curva F-N)



Nota. Elaboración propia, como parte del servicio brindado a la Planta de Abastecimiento de Combustibles (2016).