



Newpek

Análisis de Riesgo del Sector Hidrocarburos (ARSH)

Proyecto “Sistema de Producción,
Separación, Deshidratación y Medición de
Hidrocarburos del Campo Treviño”

Agosto, 2022

Proyecto No.: 0647178

CONTENIDO

ANÁLISIS DE RIESGO DEL SECTOR HIDROCARBUROS	1
RESUMEN EJECUTIVO	2
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	6
2.1 Bases de Diseño.....	10
2.1.1 Equipos principales y auxiliares	11
2.1.2 Líneas de Descarga.....	17
2.1.3 Trampa de diablos de envío y recibo	18
2.1.4 Sistema de almacenamiento	18
2.1.5 Sistemas contraincendios	19
2.1.6 Estructura civil.....	23
2.1.7 Servicios auxiliares	23
2.2 Pozos.....	23
2.2.1 Treviño-1001EXP.....	23
2.2.2 Treviño-2001EXP.....	25
2.2.3 Treviño 122.....	27
2.3 Diagramas de Tuberías e Instrumentación	28
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	30
3.1 Análisis de Actividades Altamente Riesgosas	34
3.2 Propiedades del Gas	37
4. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO	40
4.1 Historial epidémico	41
4.1.1 SARS-CoV-2 (COVID-19).....	41
4.2 Susceptibilidad a Riesgo Ambiental.....	42
4.3 Susceptibilidad de población cercana al Proyecto	45
5. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS	46
5.1 Identificación de Peligros y Jerarquización de Escenarios de Riesgo	46
5.1.1 Antecedentes de accidentes e incidentes en proyectos similares	46
5.1.2 Identificación de Peligros y Escenarios de Riesgo.....	49
5.1.3 Jerarquización de Escenarios de Riesgo	57
5.2 Análisis Cuantitativo de Riesgo	88
5.2.1 Análisis de Frecuencias	88
5.2.2 Análisis de Consecuencias	116
6. REPRESENTACIÓN EN PLANOS DE LOS RADIOS POTENCIALES DE AFECTACIÓN ..	149
7. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD E INTERACCIONES DE RIESGO	154
7.1 Análisis de Vulnerabilidad.....	154
7.1.1 Caso Máximo Probable (CMP)	154
7.1.2 Peor Caso (PC).....	155
7.2 Interacciones de Riesgo	157
8. REPOSICIONAMIENTO DE ESCENARIOS DE RIESGOS	162
9. SISTEMAS DE SEGURIDAD Y MEDIDAS PARA ADMINISTRAR LOS ESCENARIOS DE RIESGO	163
9.1 Sistemas de Seguridad.....	163
9.1.1 Sistema de Protección contra incendios	163
9.1.2 SCADA	164

9.2	Medidas Preventivas	165
9.2.1	Plan de Respuesta a Emergencias	165
9.2.2	Capacitaciones al Personal	167
9.2.3	Programa de Mantenimiento	172
9.2.4	Simulacros	173
9.3	Recomendaciones Técnico-Operativas	173
10.	CONCLUSIONES	177

ANEXO 1	INFORME TÉCNICO
ANEXO 2	DIAGRAMAS DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN
ANEXO 3	RUTAS DE EVACUACIÓN Y EQUIPOS DE EMERGENCIA
ANEXO 4	HOJAS DE SEGURIDAD
ANEXO 5	BALANCE DE MATERIA
ANEXO 6	HOJAS DE TRABAJO HAZOP
ANEXO 7	HOJAS DE TRABAJO FTA
ANEXO 8	RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS DE RIESGO
ANEXO 9	PLANOS DE AFECTACIÓN
ANEXO 10	PROGRAMA DE CAPACITACIÓN
ANEXO 11	PROGRAMA DE SIMULACROS

Lista de Tablas

Tabla 2.1 Superficie del Proyecto	6
Tabla 2.2 Coordenadas del pozo Treviño-1001EXP	8
Tabla 2.3 Coordenadas del polígono del pozo Treviño-1001EXP	8
Tabla 2.4 Coordenadas del pozo Treviño-2001EXP	9
Tabla 2.5 Coordenadas del Polígono del pozo Treviño-2001EXP	9
Tabla 2.6 Coordenadas del pozo Treviño 122	9
Tabla 2.7 Coordenadas del polígono del pozo Treviño 122	9
Tabla 2.8 Estándares de Diseño, Construcción y Mantenimiento	10
Tabla 2.9 Equipos Principales y Auxiliares	12
Tabla 2.10 Características de los ductos	17
Tabla 2.11 Equipos contra emergencias	19
Tabla 2.12 Diagramas de Tuberías e Instrumentación e Isométricos	28
Tabla 3.1 Determinación del volumen del sistema	34
Tabla 3.2 Determinación del número de moles del sistema	35
Tabla 3.3 Comparación de Sustancias Peligrosas con LAAR	36
Tabla 3.4 Propiedades del Gas Natural	37
Tabla 3.5 Composición del Gas Natural Treviño-1001EXP	38
Tabla 3.6 Composición del Gas Natural Treviño-2001EXP	38
Tabla 3.7 Composición del Gas Natural para CENAGAS	39
Tabla 4.1 Estadísticas de enfermedades causantes de muerte en Tamaulipas	41
Tabla 4.2 Estadísticas COVID Reynosa	41
Tabla 5.1 Antecedentes de Accidentes e Incidentes Nacionales e Internacionales	47
Tabla 5.2 Palabras guía en la metodología HAZOP	49
Tabla 5.3 Criterios de Severidad	51
Tabla 5.4 Criterios de Probabilidad / Frecuencia	52
Tabla 5.5 Matriz de Tolerabilidad de Riesgos de Newpek	52

Tabla 5.6 Categorías de Situación (SI)	53
Tabla 5.7 Clasificación de Influencia (I)	54
Tabla 5.8 Clasificación de Temporalidad (T)	54
Tabla 5.9 Legislación (L)	55
Tabla 5.10 Partes Interesadas (PI)	55
Tabla 5.11 Categorías de Riesgo y Niveles de Control	56
Tabla 5.12 Jerarquía de controles	56
Tabla 5.13 Participantes de las Sesiones de Identificación de Peligros	58
Tabla 5.14 Lista de nodos analizados en HAZOP	59
Tabla 5.15 Resumen de resultado para cada Nodo- HAZOP	63
Tabla 5.16 Escenarios de Riesgo identificados para el Personal	66
Tabla 5.17 Escenarios de Riesgo identificados para el Medio Ambiente	67
Tabla 5.18 Escenarios de Riesgo identificados para el Patrimonio o Comunidad Operativa	68
Tabla 5.19 Escenarios de Riesgo identificados para la Imagen de la compañía	69
Tabla 5.20 Conteo de escenarios de riesgo identificados en HAZOP	70
Tabla 5.21 Nivel de Significancia para escenarios de riesgo Moderado del HAZOP	71
Tabla 5.22 Eventos de pérdida de contención (LOC)	86
Tabla 5.23 Flujo de Análisis del Evento Tope	90
Tabla 5.24 Símbolos utilizados frecuentemente en un FTA	92
Tabla 5.25 Eventos Tope	97
Tabla 5.26 Participantes de las Sesión de FTA	98
Tabla 5.27 Eventos básicos identificados en el árbol "Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo Treviño-1001EXP"	101
Tabla 5.28 Funciones booleanas para el árbol "Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo Treviño-1001EXP"	101
Tabla 5.29 Conjuntos de Corte Mínimo Evento Tope 1	102
Tabla 5.30 Eventos básicos identificados en el árbol "Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200"	105
Tabla 5.31 Funciones booleanas para el árbol "Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200"	105
Tabla 5.32 Conjuntos de Corte Mínimo Evento Tope 2	106
Tabla 5.33 Eventos básicos identificados en el árbol "Ruptura catastrófica del separador SHT-300"	108
Tabla 5.34 Funciones booleanas para el árbol "Ruptura catastrófica del separador SHT-300"	108
Tabla 5.35 Conjuntos de Corte Mínimo Evento Tope 3	109
Tabla 5.36 Eventos básicos identificados en el árbol "Liberación de gas en el área de medición desde la válvula de corte a la entrada (XV-101) a la válvula de corte a la salida (XV-102)"	111
Tabla 5.37 Funciones booleanas para el árbol "Liberación de gas en el área de medición desde la válvula de corte a la entrada (XV-101) a la válvula de corte a la salida (XV-102)"	111
Tabla 5.38 Conjuntos de Corte Mínimo Evento Tope 4	112
Tabla 5.39 Resumen de probabilidades para cada "Evento Tope"	114
Tabla 5.40 Escenarios de modelación identificados	117
Tabla 5.41 Efectos debido a la Radiación Térmica	119
Tabla 5.42 Intensidades de radiación máxima tolerables en materiales	120
Tabla 5.43 Efectos por ondas de sobrepresión	120
Tabla 5.44 Efectos del impulso causado por ondas de sobrepresión	122
Tabla 5.45 Correlaciones BST de velocidad de flama (Mf)	127
Tabla 5.46 Criterios para la Especificación de Escenarios	128
Tabla 5.47 Criterios de Comparación de Efectos por Intensidad de Radiación	129
Tabla 5.48 Criterios de Comparación de Efectos por Sobrepresión	129
Tabla 5.49 Supuestos para las Especificaciones de los Criterios de Modelación	130
Tabla 5.50 Información de entrada Escenario 1 – Radiación	134
Tabla 5.51 Balance estequiométrico de las reacciones químicas de combustión	135

Tabla 5.52 Relación estequiométrica de la mezcla de gases para una reacción de combustión	135
Tabla 5.53 Fracciones molares del Gas Natural.....	136
Tabla 5.54 Relación estequiométrica del Gas Natural para una reacción de combustión	137
Tabla 5.55 Información de entrada Escenario 2 (CM-) - Sobrepresión	138
Tabla 5.56 Información de entrada Escenario 3 (PC)– Radiación	138
Tabla 5.57 Información de entrada Escenario 4 (P-) - Sobrepresión	140
Tabla 5.58 Información de entrada Escenario 5 (PC) – Radiación	141
Tabla 5.59 Información de entrada Escenario 6 (P-) - Sobrepresión	142
Tabla 5.60 Información de entrada Escenario 7 (CMP) – Radiación	143
Tabla 5.61 Información de entrada Escenario 8 (CM-) - Sobrepresión	144
Tabla 5.62 Información de entrada Escenario 9 (PC) – Radiación	145
Tabla 5.63 Información de entrada Escenario 10 (P-) - Sobrepresión	146
Tabla 5.64 Radios potenciales de afectación de Radiación Térmica y Ondas de Sobrepresión del Campo Treviño.....	148
Tabla 7.1 Efectos potenciales de los peores casos.....	156
Tabla 7.2 Interacciones de Riesgos y descripción de los posibles receptores de Riesgo	158
Tabla 9.1 Procedimientos de Respuesta a Emergencia Principales	166
Tabla 9.2 Programa de Capacitación 2022	168
Tabla 9.3 Programa de Simulacros Newpek	173
Tabla 9.4 Recomendaciones Técnico Operativas	174

Lisa de Figuras

Figura 2.1 Ubicación del Proyecto	7
Figura 2.2 Etapas del Proceso del Proyecto.....	8
Figura 2.3 Estado actual de los señalamientos donde pasan los ductos.	18
Figura 2.4 Estado actual de la trampa de envío	18
Figura 2.5 Plano de equipos de emergencia área de separación	20
Figura 2.6 Plano de equipos de emergencia área de deshidratación	21
Figura 2.7 Plano de equipos de emergencia área de medición	22
Figura 2.8 Diagrama de Pozo Treviño-1001EXP	24
Figura 2.9 Diagrama de Pozo Treviño-2001EXP	26
Figura 2.10 Diagrama de Pozo Treviño 122	27
Figura 3.1 Diagrama de bloques del proceso	31
Figura 4.1 Regionalización Sísmica.....	42
Figura 4.2 Índice de vulnerabilidad por inundación en el área del Proyecto	43
Figura 4.3 Suceptibilidad de deslizamientos.....	44
Figura 4.4 Hidrología superficial	45
Figura 5.1 Diagrama de flujo del análisis HAZOP	50
Figura 5.2 Puerta "O" de dos entradas	95
Figura 5.3 Puerta "Y" de dos entradas.....	96
Figura 5.4 Evento Tope 1: Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo Treviño-1001EXP	100
Figura 5.5 Evento Tope 2: Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200	104
Figura 5.6 Evento Tope 3: Ruptura catastrófica del separador SHT-300	107
Figura 5.7 Evento Tope 4: Liberación de gas en el área de medición desde la válvula de corte a la entrada (XV-101) a la válvula de corte a la salida (XV-102).....	110
Figura 5.8 Modelo del quemador de Chamberlain	125
Figura 5.9 Geometrías de Expansión de Flama para Grado de Confinamiento	126
Figura 6.1 Escenario 2 (CMP). Plano de afectación Fuga de Gas en la línea de descarga de 6" (Sobrepresión)	150

Figura 6.2 Escenario 7 (CMP). Plano de afectación Fuga de Gas en el separador SHT-300 (Radiación)	151
Figura 6.3 Escenario 3 (PC). Plano de afectación Fuga de Gas en la línea de descarga de 6" (Radiación)	152
Figura 6.4 Escenario 4 (PC). Plano de afectación Fuga de Gas en la línea de descarga de 6" (Sobrepresión)	153
Figura 9.1 Sistema de comunicación del área de medición	164

Acrónimos y Abreviaturas

<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>
°C	Grados Celsius
AC	Área Contractual
ACI	Reglamento para Concreto Estructural, por sus siglas en inglés
ALARP	Tan Bajo Como Sea Razonablemente Práctico, por sus siglas en inglés
AP	Área del Proyecto
API	Instituto Americano del Petróleo, por sus siglas en inglés
ARSH	Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos
ASEA	Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, por sus siglas en inglés
ASTM	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés
BE	Evento Básico, por sus siglas en inglés
BST	Modelo Baker-Strehlow-Tang
CCM	Conjunto de Corte Mínimo
CCPS	Centro de Seguridad de los Procesos Químicos, por sus siglas en inglés
CENAGAS	Centro Nacional de Control del Gas Natural
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CMP	Casos Más Probables
CNH	Comisión Nacional de Hidrocarburos
DOF	Diario Oficial de la Federación
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación
FTA	Análisis de Árbol de Fallas, por sus siglas en inglés
HAZOP	Análisis de Operatividad, por sus siglas en inglés
HDS	Hojas de Datos de Seguridad
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional, por sus siglas en inglés
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
ITRF	Marco de referencia terrestre internacional, por sus siglas en inglés
kW	Kilowatt
LEL	Límite Bajo de Explosividad, por sus siglas en inglés
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LOC	Eventos de Pérdida de Contención, por sus siglas en inglés
m	Metro

Nombre	Descripción
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
MIA-P	Impacto Ambiental modalidad Particular
MJ	Mega Joules
mm Hg	Milímetros de Mercurio
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra Incendios, por sus siglas en inglés
NOM	Norma Oficial Mexicana
NREL	Laboratorio Nacional de Energía Renovable, por sus siglas en inglés
OMS	Organización Mundial de la Salud
OREM	Modelo de Explosiones de Regiones Obstruidas, por sus siglas en inglés
P	Presión
PC	Peores Casos
PDC	Policristalino de diamante
PHAST	Herramienta de Software de Análisis de Riesgos de Procesos, por sus siglas en inglés
PQS	Polvo Químico Seco
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
psi	Libras por pulgada cuadrada, por sus siglas en inglés
PSV	válvula de seguridad de presión, por sus siglas en inglés
PVC	Policloruro de vinilo, por sus siglas en inglés
SASISOPA	Sistema de Administración de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y Protección al Medio Ambiente
SCADA	Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos, por sus siglas en inglés
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEP	Poder de Emisión de la Superficie, por sus siglas en inglés
STPS	Secretaría del Trabajo y Previsión Social
T	Temperatura
TEG	Trietilenglicol
TR	Tubería de revestimiento
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, por sus siglas en inglés
utm	Mercator Universal Transversal, por sus siglas en inglés
WBG	Grupo Bancario Mundial, por sus siglas en inglés

ANÁLISIS DE RIESGO DEL SECTOR HIDROCARBUROS

A continuación, se presenta el Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos (ARSH), integrado a la Manifestación de Impacto Ambiental modalidad Particular (MIA-P) del Proyecto, esto de acuerdo con el Art. 17 de La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), que señala que los Proyectos que involucren el manejo de sustancias o desarrollo de actividades consideradas como altamente riesgosas en los términos de la Ley, deberán presentar un estudio de riesgo como parte de la Manifestación de Impacto Ambiental.

El ARSH fue elaborado considerando la Guía para la elaboración del Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos, publicada por la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA) en julio del 2020.

Tal como lo requiere la legislación vigente a través de la LGEEPA, la definición del requerimiento de un estudio de riesgo está vinculada al primer y al segundo listados de actividades altamente riesgosas, publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 28 de marzo de 1990 y 04 de mayo de 1992, respectivamente. El análisis completo referente a este punto se incluye en la sección 3.1.

RESUMEN EJECUTIVO

El Sistema de Producción, Separación, Deshidratación y Medición de Hidrocarburos del Campo Treviño, se encuentra dentro del área contractual denominada BG-02, asignada a la empresa bajo licitación el 8 de diciembre de 2017 bajo el contrato número CNH-R02-L03-BG-02/2017.

El área contractual referida se encuentra ubicada geográficamente en la planicie costera del Golfo de México y comprende los municipios de Rio Bravo y Matamoros en el estado de Tamaulipas. Se encuentra a 18 km al este de Reynosa sobre la autopista Reynosa – Matamoros.

El Proyecto consta de tres pozos, un pozo cerrado (Treviño 122), y dos pozos productores perforados, actualmente sin operación (Treviño-1001EXP el Treviño-2001EXP).

Así mismo, para completar el sistema, los pozos se encuentran conectados por una tubería (denominada comúnmente como línea de descarga) a un área de separación, que, mediante equipos de separación trifásica, separan líquidos del gas. En este punto, los líquidos se dividen entre hidrocarburos (condensado) y agua congénita, los cuales se depositan en 2 tanques separados dentro de la misma área de separación.

Posteriormente, el gas fluye por el sistema a un área de deshidratación, en donde el flujo de gas se "deshidrata" para eliminar restos de humedad en el mismo. Para esto, el flujo de gas pasa por un sistema de deshidratación química utilizando glicol y calor como los elementos principales para llevar a cabo la remoción de la posible humedad que contenga el flujo. La humedad se recolecta en un tanque específico para esto dentro de la misma área de deshidratación.

Finalmente, el gas "seco" continua su camino hacia la Área de Medición y Calidad, en donde se mide la cantidad de gas fluyendo a venta, así como sus características generales. La estación se conecta a un ducto propiedad del Centro Nacional de Control del Gas Natural (CENAGAS) con un tubo de 6" (interconexión) de aproximadamente 27 metros de longitud.

Para mayor detalle del proceso de operación, así como la ubicación de los equipos principales del Proyecto, se presenta, en la Figura 3.1, el diagrama de bloques del proceso.

Como parte del **Análisis Cualitativo de Riesgos**, se decidió realizar un taller de identificación de peligros y evaluación de riesgos (HAZOP), considerando las características de operación. La jerarquización de riesgos se realizó con base en las matrices presentadas de Newpek "Identificación de peligros/aspectos y análisis de riesgo e impactos (PG-NEW-II-01)"; así como el Procedimiento Facilitación del Análisis de Peligros HAZOP (MEX-5410-PR1) de ERM.

El taller se llevó a cabo los días 23, 24 y 25 de mayo de 2022, en las instalaciones de Newpek, ubicadas en la calle Cedro 219, Colonia Rincón del Valle, Reynosa, Tamaulipas. Las personas involucradas en las sesiones del HAZOP se presentan en la Tabla 5.13. La herramienta electrónica para documentar la sesión fue el software PHA-Pro ®.

Como resultado del análisis HAZOP, se jerarquizaron doscientos sesenta y tres (263) escenarios de riesgo, de los cuales ciento sesenta y siete (167) fueron evaluados como riesgo "Tolerable", noventa y tres (93) como riesgo "Moderado" y tres (3) como "No Tolerable".

Posteriormente, se realizó un análisis para determinar el **Nivel de Significancia** (de acuerdo con el procedimiento PG-NEW-II-01 del Regulado) únicamente para los escenarios de riesgo Moderado con impactos al personal o medio ambiente, para los setenta y un (71) escenarios de riesgo Moderado identificados en el HAZOP con impactos al personal o medio ambiente. De dicha evaluación, podemos desglosar los eventos de la siguiente manera:

- Cuarenta y cinco (45) se refieren a posibles lesiones al personal (2 o 3 operadores por turno) en caso de explosión o dardo de fuego, que ocurre por fuga de empaques y conexiones (30), o por pérdida de la integridad mecánica del sistema (15);

- Catorce (14) se refieren a fugas de gas por golpes externos o daños por terceros, los cuales pueden ocurrir en cualquiera de los pozos, así como en la línea de descarga de 6";
- Cuatro (4) se refieren a la potencial formación de atmosfera inflamable en el área de medición, que ocurre como liberación directa por válvula manual abierta después de un muestreo de calidad o por ruptura de la manguera flexible de alimentación de gas al generador de emergencia;
- Seis (6) se refieren a la sobrepresión de algún equipo de proceso debido a una válvula manual cerrada que impide el alivio de presión mediante las PSV (ver IDs 4.3.2.3, 6.1.1.3, 6.1.2.3, 6.1.3.3, 7.1.3.3, 7.1.4.3);
- Por último, dos (2) se refieren a un potencial derrame de agua con hidrocarburos que ocurre por un sobre nivel de los tanques de recibo de líquidos en el área de separación (ver ID 4.6.3.1) y en el área de deshidratación (ver ID 6.5.2.1).

Estos, fungieron de base para el **análisis cuantitativo de riesgo**, y de esta forma, determinar la aceptabilidad del nivel de riesgo dentro del Proyecto. Adicionalmente, como resultado del análisis HAZOP se emitieron dieciocho (18) recomendaciones, a las cuales se les asignó un responsable y fecha compromiso para tener un seguimiento de las mismas (ver Tabla 9.4).

Para la **evaluación de riesgo cuantitativo**, se llevó a cabo el cálculo de probabilidad de falla mediante la metodología de Árbol de Fallas (FTA, por sus siglas en inglés). Para el análisis FTA, se llevó a cabo una sesión presencial que tuvo lugar el 26 de mayo de 2022, con una duración total de 8 horas, y contó con la participación de un equipo multidisciplinario de Newpek y con la participación de ERM que fungió como facilitador del taller y consultor / especialista en materia de riesgos.

Durante el taller FTA, se analizaron cuatro (4) "Eventos Tope" que fueron seleccionados a partir de la agrupación de la jerarquización de riesgos como nivel Moderado, categoría de severidad de "IV" y/o "V", y que pudieran desencadenar en una liberación mayor de Gas Natural y con potenciales impactos para el personal de Newpek y/o equipos de proceso. Los Eventos Tope analizados fueron los siguientes:

1. Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo (Treviño-1001EXP o Treviño-2001EXP)
2. Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200
3. Liberación de gas en el separador SHT-300
4. Liberación de gas en el área de medición

Derivado del análisis de probabilidades, se concluye lo siguiente:

- La probabilidad de ocurrencia del Evento Tope 1 es de **3.105×10^{-3}** , cuyos conjuntos de corte mínimo (CCM) muestra que el evento básico más crítico que puede llevar directamente a la ocurrencia del evento no deseado, es el relacionado con un error humano al dejar válvulas manuales abiertas con una probabilidad de **1×10^{-3}**
- La probabilidad de ocurrencia del Evento Tope 2 es de **3.094×10^{-3}** , cuyo conjunto de corte mínimo (CCM) muestra que el evento básico más crítico que puede llevar directamente a la ocurrencia del evento no deseado, es el relacionado con un error humano al dejar válvulas manuales abiertas con una probabilidad de **1×10^{-3}**
- La probabilidad de ocurrencia del Evento Tope 3 es de **4.014×10^{-4}** , cuyo conjunto de corte mínimo (CCM) muestra que el evento básico más crítico que puede llevar directamente a la ocurrencia del evento no deseado, es el relacionado al error humano al alinear de manera incorrecta de válvulas manuales del sistema de separación con una probabilidad de **1×10^{-3}**
- La probabilidad de ocurrencia del Evento Tope 4 es de **3.081×10^{-3}** , cuyo conjunto de corte mínimo (CCM) muestra que el evento básico más crítico que puede llevar directamente a la ocurrencia del

evento no deseado, es el relacionado con un error humano al dejar válvulas manuales abiertas con una probabilidad de 1×10^{-3}

Para la valoración del impacto de la pérdida de integridad del Proyecto y el daño al personal, se realizó un análisis de consecuencias, derivado de ocho (8) eventos de pérdida de contención (LOC, por sus siglas en inglés), como se presenta en la Tabla 5.22; los cuales dieron lugar a diez (10) escenarios de simulación (ver Tabla 5.40), de acuerdo con las potenciales afectaciones esperadas. Los escenarios de simulación presentan los Casos Más Probables (CMP) y Peores Casos (PC).

De acuerdo con los resultados de simulación, los escenarios catastróficos que tienen mayor impacto para el Proyecto son:

- **Escenario 3. Fuga de Gas en la línea de descarga de 6" (Radiación).** Para este escenario de acuerdo con los resultados obtenidos, el dardo de fuego generado a partir del escenario tiene un alcance de 65 m para la zona de alto riesgo (5.0 kW/m^2), en dicha área se podrían presentar efectos por quemaduras de segundo grado en personal que pudiera estar en el radio de la zona de alto riesgo del escenario.

Además, el radio del área de amortiguamiento (1.4 kW/m^2) supera los límites del área de deshidratación con 91.1 m, sin embargo, el personal podrá estar expuesto a esta radiación sin presentar incomodidad por un período prolongado de tiempo. Es importante mencionar, que no se espera que se encuentre personal permanentemente en estas secciones, por lo que la únicamente se espera que pueda haber contacto con personal cuando estos se encuentren en sus rondas de inspección (2 empleados cada 8 horas por turno)

Por último, no se esperan efectos estructurales dado a que la radiación se presenta en un terreno sin desarrollar.

- **Escenario 4. Fuga de Gas en la línea de descarga de 6" (Sobrepresión).** De acuerdo con los resultados de las simulaciones, la zona de amortiguamiento (0.5 Psi) alcanza y supera el área de deshidratación con 342 m, aclarando que, para el caso de la zona de amortiguamiento, se puede esperar una probabilidad del 95 % de que no ocurran daños serios.

La zona de alto riesgo (1.0 Psi) se ubica aproximadamente 226.22 m a partir de la fuente de emisión en todas direcciones. En dicha área se podrían presentar efectos por ruptura de los tímpanos del 1% de las personas expuestas y heridas leves por fragmentos disparados en 1% del personal que pudiera estar en el radio de la zona de alto riesgo del escenario. Igual al escenario anterior, no se espera que se encuentre personal permanentemente en estas secciones, por lo que la únicamente se espera que pueda haber contacto con personal cuando estos se encuentren en sus rondas de inspección (2 empleados cada 8 horas).

Además, debido a los efectos de los impulsos causados por la sobrepresión, existirían daños a las estructuras de los equipos en el área de proceso, con posible demolición de las estructuras cercanas; así como fatalidades inmediatas debido a que se presentan 3 Psi, en un radio de 141 m en los primeros segundos de producida la explosión, dentro de la cual se encuentra el área de deshidratación.

Es relevante mencionar que dichos escenarios sólo se presentan con fines ilustrativos debido a que se trata de escenarios que, aunque la severidad de sus consecuencias es alta, su probabilidad de ocurrencia es limitada y de acuerdo con las salvaguardas, ésta se reduce a un nivel remoto. Se debe de tomar en cuenta que para la jerarquización no fueron consideradas las salvaguardas con el fin de analizar el peor caso posible de afectación, al igual que apoyar a la preparación de respuesta a emergencias del Proyecto.

La evidencia que las potenciales consecuencias de los eventos de incendio y explosión que resultarían en eventos de pérdida de contención (LOC) en el Proyecto, consideran un impacto aceptable a los receptores antes mencionados; y por tanto se considera que los eventos poseen un nivel de riesgo **ACEPTABLE**, sin embargo, para que esto suceda se deberán tomar en consideración la

implementación de recomendaciones surgidas a raíz de las sesiones HAZOP e implementarlo para mantener en una región ALARP o Tolerable.

Para mayor detalle se presenta el Informe Técnico del ARSH en el **Anexo 1**.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto "Sistema de Producción, Separación, Deshidratación y Medición de Hidrocarburos del Campo Treviño" (en adelante "el Proyecto") de la empresa Newpek Exploración y Extracción, S.A. de C.V. (en adelante "Newpek o el Regulado"), contempla el aprovechamiento del yacimiento del Campo Treviño, ubicado en el Área Contractual BG-02, para la extracción de hidrocarburo crudo en estado gaseoso (gas natural), la operación y mantenimiento de los sistemas requeridos para el procesamiento y descarga del hidrocarburo, en el municipio de Río Bravo, estado de Tamaulipas.

Previamente, se realizó la perforación de los pozos e instalación de la estructura existente donde se pretende realizar procesamiento del gas obtenido del yacimiento.

La superficie total del Área Contractual (AC) Treviño es de 16,296.1 hectáreas (ha). Sin embargo, el Área del Proyecto (AP) se compone por las secciones mostradas en la Tabla 2.1, donde se muestra los componentes del Proyecto con su respectiva superficie. Adicionalmente, la Figura 2.1, presenta la ubicación del Proyecto.

Tabla 2.1 Superficie del Proyecto

ID	Instalación	Área (m ²)	Área (ha)
1	Área de Medición (EMCG)	529.150	0.0529
2	Área de separación (CL-03)	2,485.669	0.2486
3	Área de deshidratación (CL-01)	20,010.218	2.0010
4	LDD 3" Ø Treviño 122 al área de separación	8,494.707	0.8495
5	LDD 3" Ø Treviño-1001EXP al área de separación	95.35	0.01
6	LDD 2" Ø Treviño-2001EXP a la entrada y salida, y de 3" Ø en la parte de abajo, al área de separación	11,456.011	1.1456
7	Línea de recolección 6" Ø de 2km de área de separación a área de deshidratación.	14,426.583	1.4427
8	Línea de recolección 6" Ø de área de deshidratación al área de medición	3,552.024	0.3552
9	Interconexión de 6" Ø con el ducto de 18" CENAGAS	286.273	0.0286
10	Pera Pozo Treviño-1001EXP	8,106.761	0.8107
11	Pera Pozo Treviño-2001EXP	8,054.393	0.8054
12	Pera Pozo Treviño 122	2,010.982	0.2011
13	Trampa de envío área de separación - área de deshidratación	33.053	0.0033
14	Trampa de recibo de diablos	21.642	0.0022
Total		79,562.81	7.9568

Fuente: Newpek, 2022.

Imagen con la ubicación de la instalación (información reservada).
Información protegida bajo los Art. 110 fracción I de la LFTAIP y 113
fracción I de la LGTAIP.

Figura 2.1 Ubicación del Proyecto

Fuente: ERM, con base a información proporcionada por Newpek, 2022.

El Proyecto consiste en la obtención de gas, el procedimiento contempla para su ejecución cuatro etapas, como se describe a continuación:



Figura 2.2 Etapas del Proceso del Proyecto

Fuente: ERM, 2022.

La extracción del hidrocarburo se realizará a través de los pozos Treviño-1001EXP y el Treviño-2001EXP perforados en el año 2020, mientras que para el pozo Treviño 122 que forma parte del sistema, no se tiene programada su operación a corto plazo, la cual saldrá por un ducto de 6" interconectado al área de separación.

En la Tabla 2.2 se presentan las coordenadas del Pozo Treviño-1001EXP

Tabla 2.2 Coordenadas del pozo Treviño-1001EXP

Nombre del Pozo	México ITRF 2008 UTM Zona 15N	
	X (m)	Y (m)
Treviño-1001EXP	Coordenadas de ubicación de la instalación del proyecto. (información reservada). Información protegida bajo los artículos 110 fracción I de la LFTAIP 113 fracción I de la LGTAIP.	

Fuente: Newpek, 2022.

En la Tabla 2.3 se presentan las coordenadas del polígono del Pozo Treviño-1001EXP

Tabla 2.3 Coordenadas del polígono del pozo Treviño-1001EXP

ID	México ITRF 2008 UTM Zona 15N	
	X (m)	Y (m)
1	Coordenadas de ubicación de la instalación del proyecto. (información reservada). Información protegida bajo los artículos 110 fracción I de la LFTAIP 113 fracción I de la LGTAIP.	
2		
3		
4		

Fuente: Newpek, 2022.

En la Tabla 2.4 se presentan las coordenadas del Pozo Treviño-2001EXP.

Tabla 2.4 Coordenadas del pozo Treviño-2001EXP

Nombre del Pozo	México ITRF 2008 UTM Zona 15N	
	X (m)	Y (m)
Treviño-2001EXP	Coordenadas de ubicación de la instalación del proyecto. (información reservada). Información protegida bajo los artículos 110 fracción I de la LFTAIP 113 fracción I de la LGTAIP.	

Fuente: Newpek, 2022.

En la Tabla 2.5 se presentan las coordenadas del polígono del Pozo Treviño-2001EXP.

Tabla 2.5 Coordenadas del Polígono del pozo Treviño-2001EXP

ID	México ITRF 2008 UTM Zona 15N	
	X (m)	Y (m)
1	Coordenadas de ubicación de la instalación del proyecto. (información reservada). Información protegida bajo los artículos 110 fracción I de la LFTAIP 113 fracción I de la LGTAIP.	
2		
3		
4		

Fuente: Newpek, 2022.

En la Tabla 2.6 se presentan las coordenadas del Pozo Treviño 122.

Tabla 2.6 Coordenadas del pozo Treviño 122

Nombre del Pozo	México ITRF 2008 UTM Zona 15N	
	X (m)	Y (m)
Treviño 122	Coordenadas de ubicación de la instalación del proyecto. (información reservada). Información protegida bajo los artículos 110 fracción I de la LFTAIP 113 fracción I de la LGTAIP.	

Fuente: Newpek, 2022.

En la Tabla 2.7 se presentan las coordenadas del polígono del Pozo Treviño-2001EXP.

Tabla 2.7 Coordenadas del polígono del pozo Treviño 122

ID	México ITRF 2008 UTM Zona 15N	
	X (m)	Y (m)
1	Coordenadas de ubicación de la instalación del proyecto. (información reservada). Información protegida bajo los artículos 110 fracción I de la LFTAIP 113 fracción I de la LGTAIP.	
2		
3		
4		

Fuente: Newpek, 2022.

Estos pozos se encuentran conectados por medio de ductos o líneas de descargas, que transportan el hidrocarburo al área de separación. En el área de separación, el gas es separado de los líquidos mediante un separador trifásico. En este punto, los líquidos se dividen entre hidrocarburos (condensado) y agua congénita, estos últimos son depositados en dos (2) tanques de almacenamiento que se encuentran dentro del área de separación.

El gas resultante de la separación fluye por las tuberías de proceso al área de deshidratación, en donde el flujo de gas es deshidratado con la finalidad de eliminar los restos de humedad que pudiesen quedar. Para esto, el flujo de gas pasa por un sistema de deshidratación química utilizando glicol y calor como los elementos principales para llevar a cabo la remoción de la posible humedad que contenga el flujo, la cual se recolecta en un tanque específico para esto dentro de la misma área de deshidratación.

Finalmente, el gas "seco" continua su camino hacia el área de medición, en donde se mide la cantidad de gas fluyendo a venta, así como sus características generales, para posteriormente ser entregado a CENAGAS mediante la línea de interconexión.

2.1 Bases de Diseño

Las instalaciones del Proyecto fueron diseñados y construidos bajo normas, estándares y códigos nacionales e internacionales, los cuales se presentan en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Estándares de Diseño, Construcción y Mantenimiento

Código o estándar	Descripción
Normas Oficiales Mexicanas	
NOM-007-SECRE-2010	Técnicas y requisitos de seguridad que deben cumplir los sistemas de transporte de gas natural
NOM-07-ASEA-2016	Transporte de gas natural, etano y gas asociado al carbón mineral por medio de ductos.
NOM-002-STPS-2010	Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.
NOM-005-STPS-1998	Manejo de sustancias químicas peligrosas
NOM-018-STPS-2015	Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo
NOM-020-STPS-2011	Recipientes sujetos a presión
NOM-026-STPS-2008	Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
NOM-001-SEMP-1994	Relativa a las instalaciones destinadas al suministro y uso de la energía eléctrica.
NOM-085-SEMARNAT-2011	Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición.
Tuberías	
ASME 31.8	Gestión de Integridad de Sistemas de Gasoductos
API 5L 45th Ed/ISO 3183 2012	Especificaciones de líneas de tubería para conducción de hidrocarburos DNV
ISO 13623	Industrias del petróleo y el gas natural - Sistemas de transporte por tuberías - Segunda edición
ST 35.8	Tubería de acero sin soldadura de calderas, tuberías de alta presión y construcción de tanques y maquinaria especial tanto para alta temperatura como para alta presión.
ASTM A106 Grado B	Tubería de acero al carbono a presión sin soldadura
ASME SA 105	Componentes de tuberías de acero al carbono para servicios a temperatura ambiente y alta temperatura en sistemas a presión.
ASTM SA790	Tuberías de acero dúplex inoxidable sin soldadura
ASTM A53 Grado B	Tuberías de acero al carbón
ASME SA 16	Tuberías de acero al carbón dados con resistencia eléctrica para intercambiador de calor y tubos de condensación
ASTM A234 WPB	Especificaciones estándar para conexiones de tuberías de acero forjado al carbono y acero aleado para servicio de temperatura moderada y alta.
ASME SA 214	Tuberías de acero al carbono soldados eléctricamente para intercambiadores de calor y condensadores

Código o estándar	Descripción
ASME B31.3	Tuberías de proceso de refinerías y plantas químicas
NFPA 24	Instalación de redes de agua contra incendio
NFPA 55	Estándar para el almacenamiento, uso y transporte de gases comprimidos y gases licuados en cilindros portátiles
ASME B16.5	Bridas de tubería y Accesorios bridados
ASME B16.29	Juntas metálicas para bridas de tuberías
ASME B16.47	Diámetro y largo Bridas de acero
Instalaciones eléctricas	
NEC	Artículos 500-510 del NEC (Código Eléctrico Nacional, por sus siglas en inglés)
NFPA 497	Prácticas recomendadas para la clasificación de áreas peligrosas con líquidos, gases o vapores inflamables para instalaciones eléctricas en áreas de procesos químicos
Válvulas de relevo de presión	
API 521	Guía para los sistemas de alivio de presión

Fuente: Bases de diseño del sistema de producción, separación deshidratación y medición de hidrocarburos del campo Treviño, Newpek, 2022.

2.1.1 Equipos principales y auxiliares

La Tabla 2.9, presenta los equipos principales y auxiliares del Sistema Treviño. Para mayor detalle, en el **Anexo 2**, se presentan los DTI's e isométricos del área de separación, deshidratación y medición.

Tabla 2.9 Equipos Principales y Auxiliares

Equipo	Tag	Capacidad	Especificaciones Técnicas	Materiales de construcción	Sustancia Manejada	Estado físico de la sustancia	Presión de Operación	Temperatura de Operación	Sistemas de Control y Seguridad	Ubicación
--------	-----	-----------	---------------------------	----------------------------	--------------------	-------------------------------	----------------------	--------------------------	---------------------------------	-----------

Área de Separación

Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.

Equipo	Tag	Capacidad	Especificaciones Técnicas	Materiales de construcción	Sustancia Manejada	Estado físico de la sustancia	Presión de Operación	Temperatura de Operación	Sistemas de Control y Seguridad	Ubicación
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.										

Equipo	Tag	Capacidad	Especificaciones Técnicas	Materiales de construcción	Sustancia Manejada	Estado físico de la sustancia	Presión de Operación	Temperatura de Operación	Sistemas de Control y Seguridad	Ubicación
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.										

Equipo	Tag	Capacidad	Especificaciones Técnicas	Materiales de construcción	Sustancia Manejada	Estado físico de la sustancia	Presión de Operación	Temperatura de Operación	Sistemas de Control y Seguridad	Ubicación
--------	-----	-----------	---------------------------	----------------------------	--------------------	-------------------------------	----------------------	--------------------------	---------------------------------	-----------

Área de Medición

Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP

Equipo	Tag	Capacidad	Especificaciones Técnicas	Materiales de construcción	Sustancia Manejada	Estado físico de la sustancia	Presión de Operación	Temperatura de Operación	Sistemas de Control y Seguridad	Ubicación
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.										

Fuente: Newpek, 2022.
Nota: N.D.: No disponible.

2.1.2 Líneas de Descarga

El Proyecto cuenta con una serie de ductos de descarga de interconexión entre etapas del proceso para el flujo de gas, entre las mismas. En la Tabla 2.10 se presentan los ductos y sus extensiones.

Los ductos inician de una de las válvulas laterales de cada pozo, donde sale una línea o tubería de acero de 2 pulgadas para el caso del pozo Treviño-2001EXP, y de 3 pulgadas para el Treviño-1001EXP y Treviño 122, las cuales; siguiendo la regulación existente y las mejores prácticas internacionales, se encuentran enterradas y recubiertas con materiales que evitan su corrosión. Estas tuberías están debidamente marcadas en superficie para evitar ser golpeadas (Figura 2.3 Estado actual de los señalamientos donde pasan los ductos.Figura 2.3) y se conectan a un cabezal de distribución que se encuentra localizado dentro del área separación.

El Proyecto incluye una tubería de 6 pulgadas de diámetro que conecta el área de separación al área de deshidratación, aproximadamente 2 km flujo abajo, y otro que conecta el área de deshidratación con el área de medición, y que mide aproximadamente 523 m, los cuales cuenta también con su protección a la corrosión de acuerdo con las normas y regulaciones vigentes en la industria.

Finalmente, el sistema se conecta a un ducto propiedad de CENAGAS con un tubo de 6 pulgadas (interconexión) de aproximadamente 27 metros de longitud.

De igual manera para asegurar la integridad del sistema se realizaron pruebas de hermeticidad de las líneas mismas que cumplieron con lo establecido en la normatividad mexicana.

Tabla 2.10 Características de los ductos

Ductos	Longitud (m)	Derecho de vía (m)	Comentarios
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.			

Fuente: Newpek, 2022.



Figura 2.3 Estado actual de los señalamientos donde pasan los ductos.

Fuente: ERM, 2022.

2.1.3 Trampa de diablos de envío y recibo

Las áreas de separación y de deshidratación cuentan cada una con una trampa de diablos de envío y recibo. Estas trampas se encargan de enviar y recibir los diablos para la limpieza a lo largo de la tubería de gas, y a presión para el movimiento de estos.



Figura 2.4 Estado actual de la trampa de envío

Fuente: ERM, 2022.

2.1.4 Sistema de almacenamiento

El área de separación cuenta con dos tanques verticales, uno para hidrocarburo (condensado y/o aceite [FB-100]) y otro para agua (FB-101), de 400 barriles de capacidad cada uno; sin embargo, se planea mantener la capacidad del tanque seteada a un 70%; esto, para eliminar la posibilidad de dejar una capacidad con posibilidad de gasificación, y generar riesgos adicionales de inflamabilidad. Estos se encuentran instalados con un área de contención de concreto reforzado con acero a su alrededor (dique), con resistencia de 200 kg/cm², con el fin de prevenir algún derrame de líquido en caso de fallo del tanque.

Así mismo, cada tanque cuenta con una descarga específicamente diseñada para minimizar el derrame al trasvasar los líquidos en caso necesario por medio de una válvula de alivio PSV-100 para el tanque FB-100 condensados, y la PSV-101 para el tanque FB-101.

De igual manera, el área de deshidratación cuenta con un tanque para condensados de hidrocarburo (FB-201) de 210 barriles de capacidad; al igual que los anteriores, se planea mantener la capacidad del tanque seteada a un 70%.

Para mayor detalle, en el **Anexo 2**, se presentan los DTI's e isométricos del área de separación y deshidratación.

2.1.5 Sistemas contraincendios

El sistema Treviño cuenta con equipos móviles para el combate de incendios y atención a emergencias, distribuidos por el área, como se presenta en la Tabla 2.11. Adicionalmente, los supervisores en turno estarán equipados con dos explosímetros portátiles y un botiquín de primeros auxilios durante los recorridos.

La Figura 2.5, presenta los equipos para la atención de emergencias del área de separación; la Figura 2.6, presenta los equipos para la atención de emergencias del área de deshidratación; y la Figura 2.7, presenta los equipos para la atención de emergencias del área de medición.

Tabla 2.11 Equipos contra emergencias

Símbolo	Equipo	Cantidad	Ubicación
	Kit para derrames	3	■ Área de separación (1) ■ Área de deshidratación (1) ■ Área de Medición (1)
	Extintor PQS (70 kg)	3	■ Área de separación (1) ■ Área de deshidratación (1) ■ Área de Medición (1)
	Extintor PQS (9 kg)	9	■ Área de separación (5) ■ Área de Medición (4)
	Extintor PQS (68 kg)	9	■ Área de Medición (1)
	Extintor PQS (4.5 kg)	9	■ Área de separación (3) ■ Área de medición (2)
	Extintor CO ₂ (6 kg)	2	■ Área de deshidratación (1) ■ Área de medición (1)
	Botiquín de primeros auxilios	1	■ Área de Medición (1)

Fuente: Newpek, Rutas de Evacuación, Anexo 3, 2021.

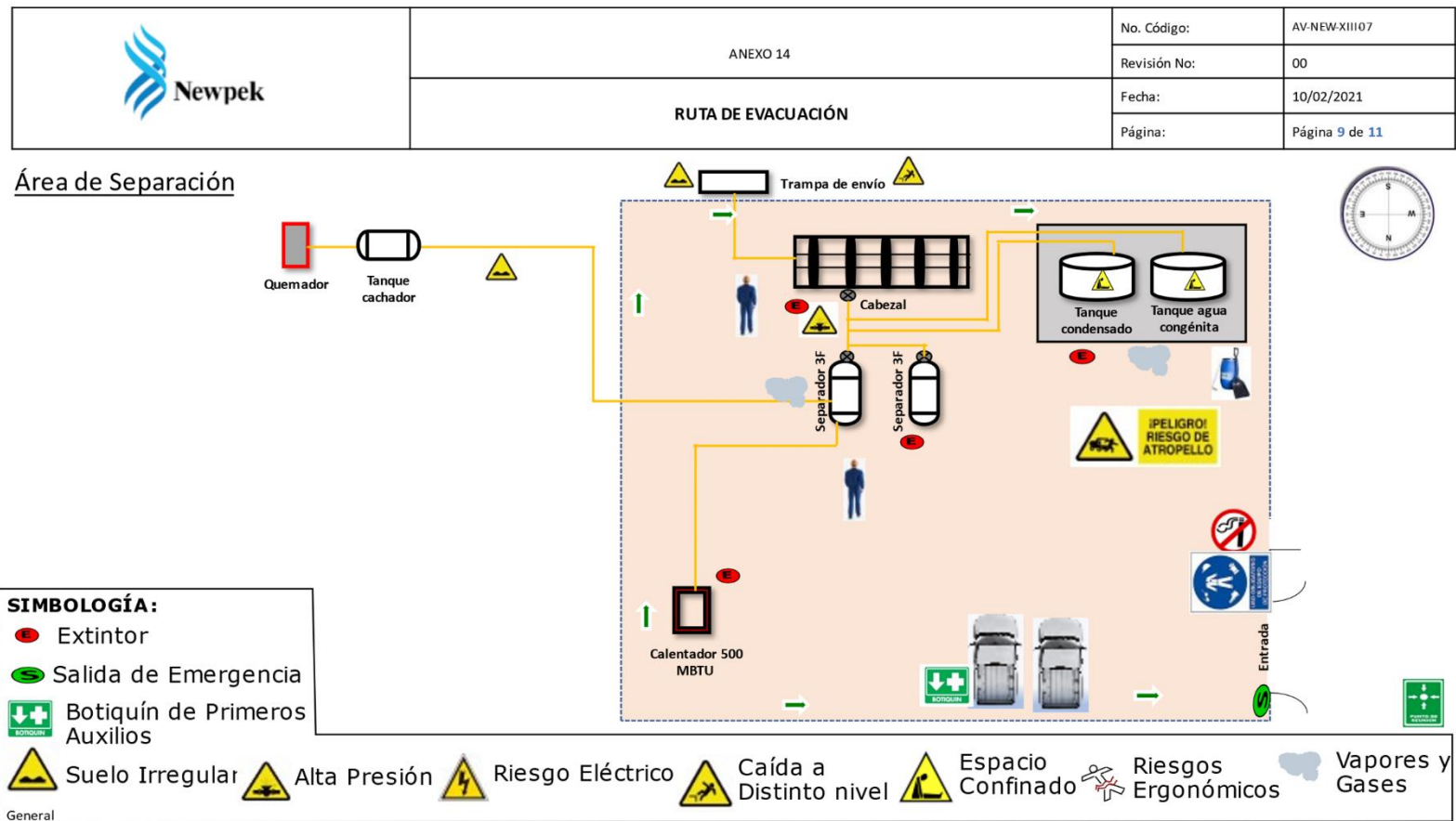


Figura 2.5 Plano de equipos de emergencia área de separación

Fuente: Newpek, Rutas de Evacuación, Anexo 3, 2021.

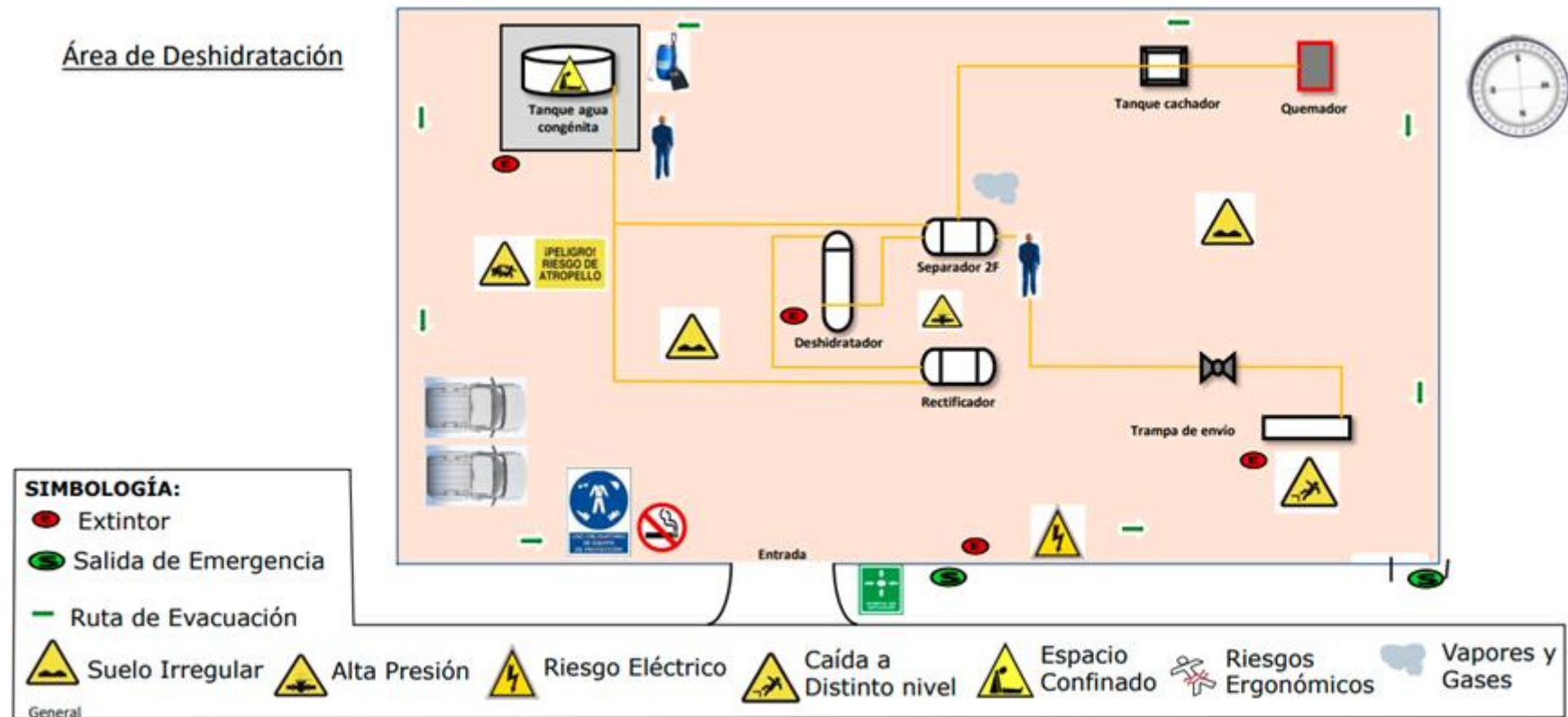


Figura 2.6 Plano de equipos de emergencia área de deshidratación

Fuente: Newpek, Rutas de Evacuación, Anexo 3, 2021.



Figura 2.7 Plano de equipos de emergencia área de medición

Fuente: Newpek, Rutas de Evacuación, Anexo 3, 2021

2.1.6 Estructura civil

El sistema completo de las áreas es en forma modular, cada módulo esta soportado en un patín estructural, directamente asentado sobre relleno compactado (95% de la prueba proctor) y protegido por una guarnición de concreto en forma perimetral nivelado con arena y grava. El diseño de la obra civil se efectuó de acuerdo con el Reglamento ACI-89, Manual de diseños de Obras Civiles de la CFE; y el Dictamen Normativo DN.09.0.10., API-650.

Adicionalmente, la cimentación para los tanques de almacenamiento se consideró sometida a una carga igual a la suma del peso de la estructura y de la presión ejercida por el fluido al encontrarse lleno el tanque, afectada por un factor de carga igual a 1.4 para cargas muertas y 1.7 para cargas vivas considerando factores de ACI. Además de una presión hidrodinámica atribuible a sismo aplicada sobre el fondo del tanque.

Los diques de contención del área almacenamiento fueron construidos con un muro fabricado mediante un talud de concreto. El tanque descansa en una superficie cubierta por una geomembrana de PVC. Además, tiene una pendiente del 1% del centro hacia afuera.

2.1.7 Servicios auxiliares

Durante las primeras etapas del Proyecto, el suministro de energía se obtendrá a partir de generadores eléctricos a gasolina de 8000W para los campers. Posteriormente, se realizará la construcción de una acometida eléctrica de CFE hacia el cuarto eléctrico del área de medición, una subestación tipo poste, un transformador tipo subestación.

2.2 Pozos

2.2.1 Treviño-1001EXP

El pozo Treviño-1001EXP, se perforó con una barrena de policristalino de diamante (PDC) de 12-1/4" hasta una profundidad de 517m, se cementó la tubería de revestimiento (TR) de 9-5/8" a 36 lb/pie; posteriormente, se perforó con una barrena PDC de 8-3/4" hasta 2,952m de profundidad. Finalmente se cementó una TR de 5 1/2" a 2,948 m, y se instaló el aparejo de producción empacador doble y tubería de 2-3/8" anclando primer empacador a 2,432.88 m y segundo empacador a 2,483.88 m. En la Figura 2.8, se presenta el diagrama del pozo Treviño-1001EXP.

Características del proyecto (secreto industrial),
información protegida bajo los Art. 113 fracción
II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.

Figura 2.8 Diagrama de Pozo Treviño-1001EXP

Fuente: Características y Especificaciones del pozo TREVIÑO-1001EXP, Newpek, 2022.

2.2.2 Treviño-2001EXP

El pozo Treviño-2001EXP, se perforó con una barrena de policristalino de diamante (PDC) de 12-1/4" hasta una profundidad de 512m, se cementó la tubería de revestimiento (TR) de 9-5/8" 36 lb/pie; posteriormente, se perforó con una barrena PDC de 8-3/4" hasta 2,830m de profundidad. Finalmente se cementó una TR de 5 1/2" a 2,948 m, y se instaló el aparejo de producción sencillo empacador y tubería de 2-3/8" anclando primer empacador a 2,447.61m. En la Figura 2.9, se presenta el diagrama del pozo Treviño-2001EXP.

Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.

Figura 2.9 Diagrama de Pozo Treviño-2001EXP

Fuente: Características y Especificaciones del pozo TREVIÑO-2001EXP, Newpek, 2022.

2.2.3 Treviño 122

El Pozo Treviño 122 se encuentra actualmente fuera de operación, En la Figura 2.10, se presenta el diagrama de pozo del Treviño 122.

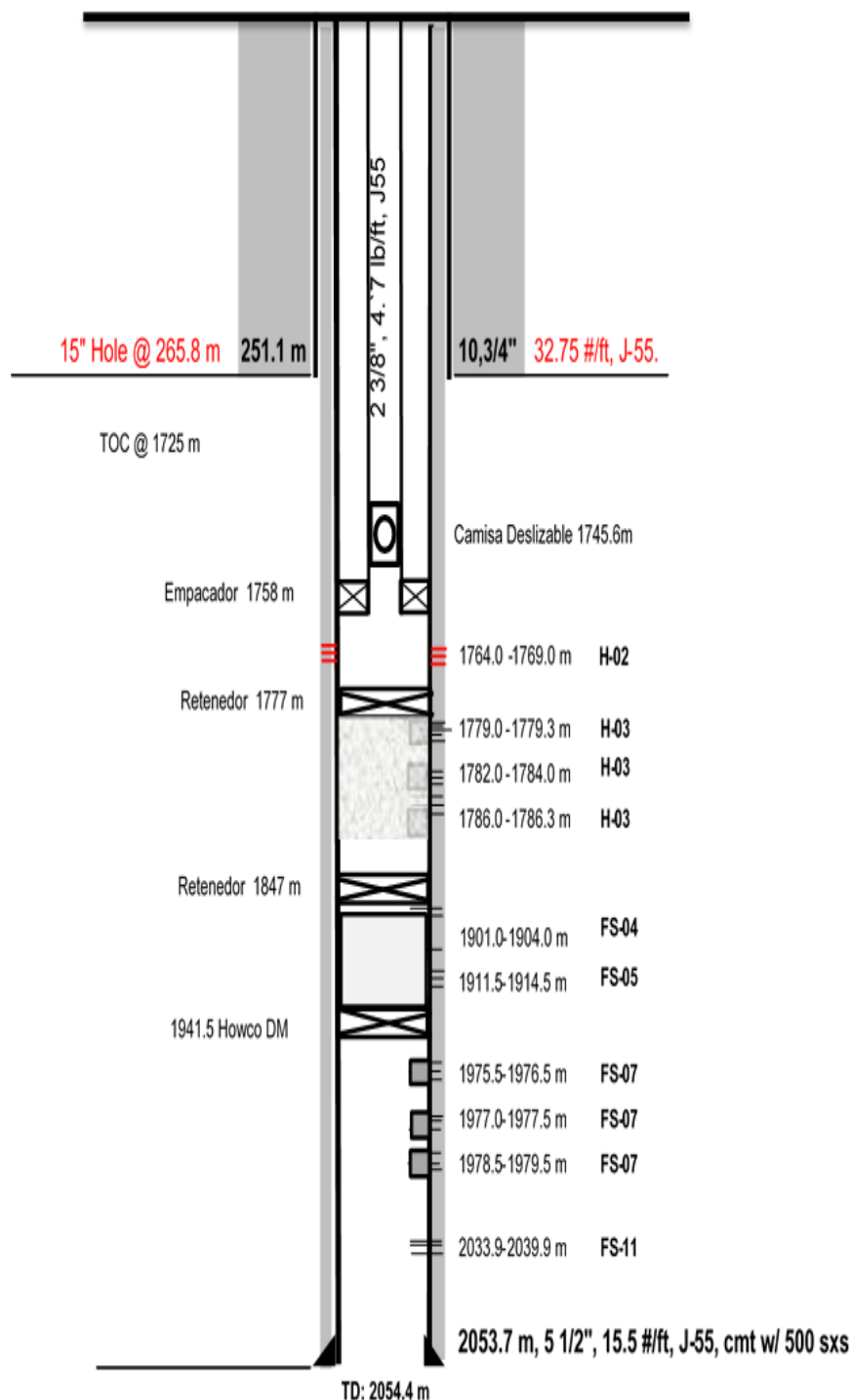


Figura 2.10 Diagrama de Pozo Treviño 122

Fuente: Características y Especificaciones del pozo TREVIÑO 122 EXP, Newpek, 2022

2.3 Diagramas de Tuberías e Instrumentación

La Tabla 2.12, presenta los códigos y nombres de los Diagramas de Tuberías e Instrumentación (DTI) y planos isométricos, de los sistemas y equipos con los que cuenta el Proyecto en el campo Treviño. En el **Anexo 2**, se presentan dichos documentos.

Tabla 2.12 Diagramas de Tuberías e Instrumentación e Isométricos

Código	Detalle
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Código

Detalle

Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.

Fuente: Newpek, 2022.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En esta sección se describe el funcionamiento de las partes de proceso requeridas para el acondicionamiento y transporte del gas, regeneración de glicol y medición que se realizará en el Sistema de Producción de Gas, formado por las áreas de Separación, Deshidratación, y Medición.

La Figura 3.1, muestra el flujo de proceso del Sistema Treviño.

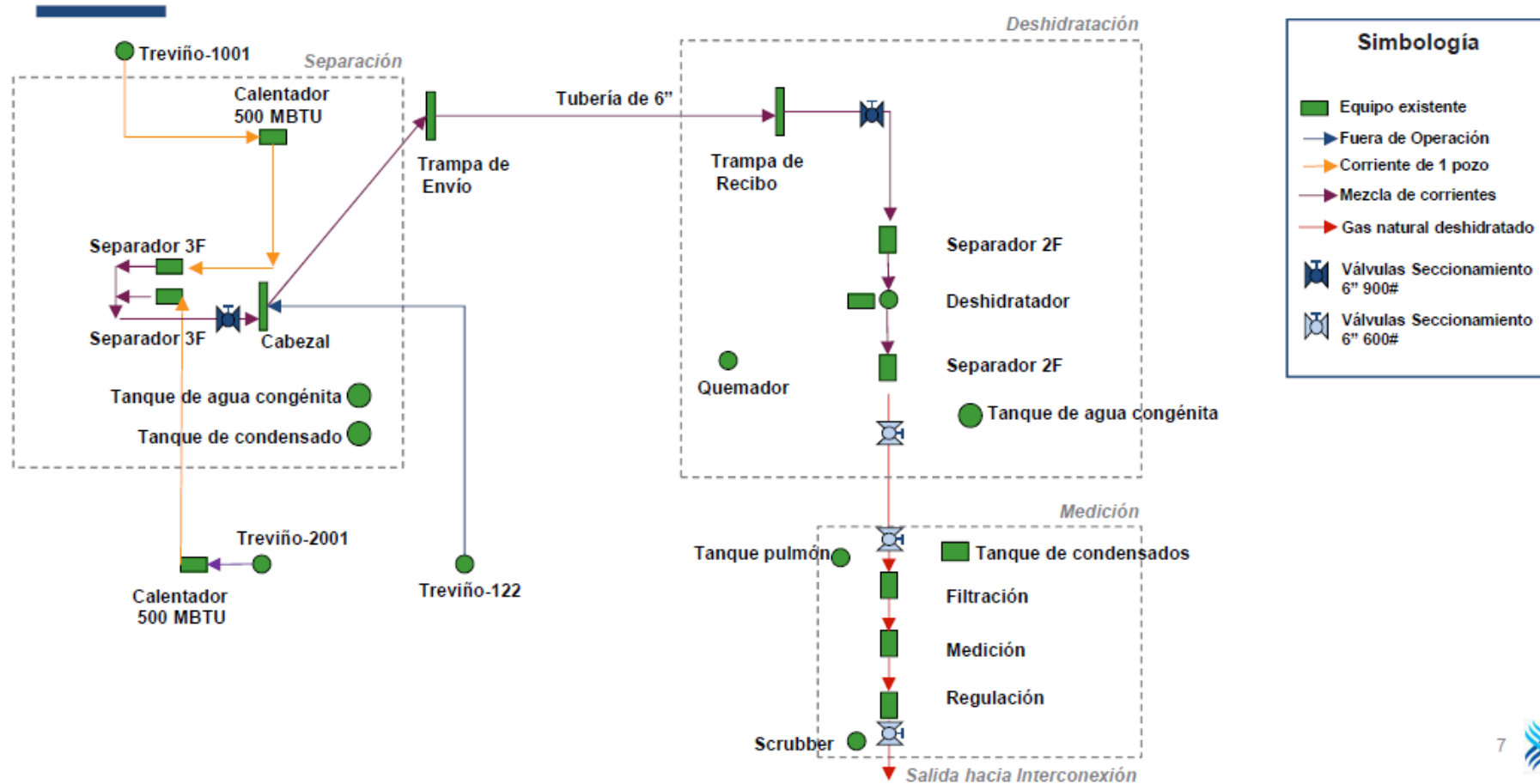


Figura 3.1 Diagrama de bloques del proceso

Fuente: Newpek, 2022.

El proceso comienza con la extracción del fluido trifásico de los pozos, Treviño-1001EXP y Treviño-2001EXP, de los cuales fluye, al cabezal, a 3,200 psi y 2,400 psi, respectivamente. Ambos pozos cuentan con un árbol de válvulas, con las válvulas de seguridad SDV-1001 y SDV-2001, respectivamente; las cuales abren o cierran por alta o baja presión, seteada de 400 psi a 900 psi.

Ambos sistemas están diseñados para soportar 5,000 psi, el árbol de válvulas del pozo Treviño-1001EXP está diseñado para soportar 10,000 psi; mientras que el árbol del pozo Treviño-2001EXP está diseñado para soportar 5,000 psi. Ambos pozos cuentan con una línea de descarga, en el caso del pozo Treviño-1001EXP es de 3 pulgadas (3"), mientras que en el caso del pozo Treviño-2001EXP tiene un arreglo de 2" en la entrada y salida y de 3" en la parte de abajo, ambos son cédula 160, que opera de 600 psi a 850 psi, hasta la llegada a los calentadores CF-1001 y CF-2001, respectivamente.

Área de separación

La función general de esta sección del proceso es recibir el gas extraído de los pozos Treviño-1001EXP y Treviño-2001EXP, para que a su paso por los separadores de producción se separe el agua libre y condensado presente en la corriente de gas de alimentación. La corriente de alimentación de gas al área de separación entra una presión de 31.6 a 35.16 kg/cm² g. (450 a 500 psi).

Entran las líneas de acero al carbón de 3" y 2" cédula 160, desde los pozos al área separación, donde se conecta con los calentadores (CF-1001 y CF-2001, respectivamente). Los calentadores elevan la temperatura del gas de 29.7°C a 34.7°C para el Treviño-1001EXP, y para el Treviño-2001EXP lo eleva del 10.9 a 15.9°C.

En caso de observar congelamiento en las líneas de descarga, debió a condiciones climáticas extremas, el gas será calentado a través de los calentadores instalados en las líneas de descarga de los pozos con los calentadores CF-1001 y CF-2001 para evitar congelamiento.

Posteriormente, es transportado a los dos separadores trifásicos horizontales, tipo ciclónico (SHT-301, para el 1001; y SHT-300 para el 2001) con una capacidad de manejo de flujo de 10 millones de pies cúbicos de gas a una presión máxima seteada a 1,440 psi, y una presión de operación de 400 psi. Este tipo de separador utiliza la fuerza de aceleración para lograr una separación rápida y eficiente de la mezcla gas-líquido.

A la salida de los separadores se tienen medidores de flujo para el gas por placa de orificio y líquido producidos con medidores tipo turbinas. Los líquidos que son separados del flujo de gas son enviados fuera del patín de separación para recolectar el agua congénita y proceder a su disposición en dos tanques verticales, uno para hidrocarburo (condensado [FB-100]) y otro para agua (FB-101), de 400 barriles de capacidad cada uno.

El área de separación cuenta con quemador (QE-360) a una distancia de 60 metros del resto de los equipos para en caso de que sea necesario ventear el gas. Este quemador es vertical, se encuentra a una distancia de 10 metros de altura sobre el nivel del terreno natural y tiene la capacidad de quemar hasta 15 millones de pies cúbicos diarios.

Una vez separado el gas, ambas se unen en el cabezal de producción, donde se expande a una línea de 6" cédula 40, enterrada; y se envía al área de deshidratación, aproximadamente 2 km flujo abajo, a una presión de 400 psi.

Área de deshidratación

En esta área se deshidrata el gas, extrayéndole el agua, mediante absorción con Trietilenglicol (TEG). Se considera que el gas tendrá un contenido máximo de agua de 112 Kg por cada millón de m³ de gas (7 Lb por cada millón de pies cúbicos de gas).

El gas proviene del área de Separación a través de una tubería de producción de 6", entra a la torre de absorción Glicol TA-200 por el lavador integral ubicado en el fondo del recipiente. El gas fluye de manera ascendente en la sección de platos de capuchas de burbujeo desde el fondo hasta la parte superior de la torre absorción.

El gas es deshidratado cuando entra en contacto con el trietilenglicol (TEG) en los platos de capucha de burbujeo. El glicol en agua fluye descendiendo por el contactor y absorbe agua. La solución rica de glicol (glicol saturado con agua), conteniendo agua, sale del contactor por una válvula de control de nivel para su regeneración.

El gas seco del contactor va al Intercambiador de Gas/Glicol (CH-202) para enfriar el glicol antes de que entre a la torre de absorción. El gas seco y sale del sistema de deshidratación de glicol y se envía al área de Medición, para su incorporación al gasoducto de CENAGAS.

Sistema de Glicol

El glicol, pasa a través del serpentín de reflujo en el acumulador de glicol (CF-200) y es calentado a 48.3°C (119°F). El glicol se dirige entonces al filtro de glicol (FL-201) para proceder a una filtración mecánica y quitar partículas sólidas arrastradas por la torre de absorción antes de alimentar al intercambiador glicol/glicol. El glicol es calentado con glicol caliente a 93.3°C (200°F) antes de entrar al separador de glicol (TG-201).

El separador de glicol (TG-201), es un separador trifásico que separa el gas disuelto del glicol rico. La presión en el separador de glicol (TG-201) es controlada a 3.5 kg/cm² g (50 psi). El glicol rico del separador de glicol (TG-201) pasa por el filtro de carbón para glicol (FLC-202) antes de ser calentado a 149°C (300°F) en el intercambiador glicol/glicol utilizando glicol caliente.

El glicol enfriado fluye al hervidor acumulador de glicol (CF-200) y es calentado a la temperatura de regeneración de 203°C (397°F) por un tubo calefactor a fuego directo. El vapor de agua sale del hervidor a través de la columna estabilizadora. El vapor de agua de la columna estabilizadora va a la unidad de recuperación de vapores para abatir los compuestos aromáticos de la corriente de venteo de vapor de agua.

El tubo utiliza un intercambiador enfriado por aire de tiro natural para condensar los compuestos aromáticos. Los compuestos aromáticos condensados junto con algo de agua condensada son recibidos en un recipiente de líquidos para su almacenamiento temporal. El glicol caliente es enfriado en ambos intercambiadores antes de ser bombeado por las bombas de glicol (BP-201A/B). El glicol fluye a la torre de absorción (TA-200) a través del intercambiador (CH- 202).

Área de medición

Como primer elemento se encuentra instalada la válvula de corte (XV-101) tipo bola de 6" clase 600 RF, operada mediante un actuador neumático de doble acción el cual a falla de suministro neumático se mantiene en última posición, para su apertura se utiliza gas de proceso como suministro neumático mediante un regulador de alta presión para acondicionar el suministro de gas.

El gas fluye a través del filtro coalescente (FS-201) y se somete a separación del contenido de condensados, agua hasta un 99.8% en partículas líquidas de 0.3 y más grandes, un 99.99% en partículas sólidas de 0.3 y más grandes presente en este gas. Para el monitoreo de la caída de presión en el filtro, se cuenta con transmisor indicador de presión diferencial (PDIT-101), para el monitoreo de los elementos filtrantes.

Para sobrepresión del filtro (FS-201) cuenta con una válvula de seguridad (PSV-101) ajustada a una presión de ajuste de 71.61 kg/cm², en su instalación se considera una válvula de bloqueo con candado normalmente abierto a la entrada de la (PSV-101) así como una válvula a la descarga de esta y una interconexión de una válvula manual con candado normalmente cerrado entre la entrada y la descarga de la (PSV-101).

Una vez filtrado, el gas es dirigido a Medición, donde la filosofía es de dos trenes en operación, con un flujo de diseño de 20 MMPCSD cada uno.

A la salida del sistema de medición, el gas continúa su trayectoria pasando por la sección de análisis, donde se encuentran instaladas las probetas de extracción, las cuales envían la muestra extraída hacia los transmisores indicadores de análisis (AIT-101) Cromatógrafo de gas (CG), transmisor indicador de

análisis (AIT-102) de Humedad (H₂O) y transmisor indicador de análisis (AIT-103) de ácido sulfhídrico (H₂S), los cuales se encuentran instalados en el cobertizo de análisis, cabe mencionar que los analizadores realizarán los análisis en línea y sus resultados serán enviados mediante comunicación y señal analógica hacia el computador de flujo (FQI-101).

Una vez medido, el gas será regulado a una presión de 195 psi. La filosofía de regulación es de dos trenes en operación para el flujo de diseño de 20 MMPCSD cada uno y se dejan instaladas dos válvulas de bloqueo como preparación para un tercer tren a instalarse en la fase 2. Cuando se tenga un flujo por debajo de los 20 MMPCSD solo operará un tren de regulación.

Como último elemento de Medición, se instalará una válvula de corte (XV-102), la cual tiene tres funciones básicas:

1. Abrir o cerrar la inyección de gas desde la ERM hacia el ducto de 18" de la red de CENAGAS. Para esto, estará equipada con un Tablero de Control para recibir señal remota desde el (PLC-101) para apertura o cierre. También se podrá operar de manera manual a través de una bomba hidráulica tanto para apertura como cierre.
2. Cerrar la inyección de gas en caso de detección de una disminución súbita de la presión en el ducto, lo que se asume como una ruptura de este. Para esto, estará equipada con un módulo de corte por fuga (LBR-102).
3. Cerrar la inyección de gas en caso de detección de un incremento en la presión de inyección por encima de un límite fijado de manera conjunta con CENAGAS. Para esto, estará equipada con un módulo de protección por sobrepresión (PSH-102) el cual podrá ser ajustado de acuerdo con las dos fases de inyección de gas de este proyecto.

Finalmente, el sistema se conecta a un ducto propiedad de CENAGAS con un tubo de 6" (interconexión) de aproximadamente 20 metros de longitud.

3.1 Análisis de Actividades Altamente Riesgosas

De acuerdo con la información proporcionada por Newpek, en la Tabla 3.3, se presentan las capacidades de almacenamiento de las sustancias a utilizar en el proceso. Donde se hace una comparación entre las sustancias almacenadas y los Listados de Actividades Altamente Riesgosas (LAAR).

Por otra parte, a pesar de que el gas natural no es almacenado, es la principal sustancia del proceso, por lo que es imprescindible evaluar la cantidad de gas natural que se encuentra dentro del sistema en todo momento (flujo másico).

Para determinar el volumen de gas natural, tomaremos en cuenta el volumen total aproximado de las tuberías por donde se transporta.

Para obtener el volumen total de las tuberías en la estación, tenemos:

$$V_{Tuberia} = \pi * r^2 * l$$

- Por lo que podemos dividir el sistema en diversas secciones obteniendo el siguiente volumen total aproximado:

Tabla 3.1 Determinación del volumen del sistema

Sección	Longitud (m)	Diámetro (m)	Volumen (m ³)
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.			

Sección	Longitud (m)	Diámetro (m)	Volumen (m³)
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.			

Fuente: ERM, 2022

- Utilizando la ley de gases ideales, podemos obtener la masa aproximada del gas natural, de la siguiente forma:

$$n = \frac{PV}{RT}$$

Tabla 3.2 Determinación del número de moles del sistema

Sección	Presión (atm)	Temperatura (K)	n (moles)
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.			

$$R=8.3144(\text{Pa m}^3)/(\text{mol K})$$

Fuente: ERM, 2022

Considerando, a partir de la composición de gas natural proporcionada por Newpek (ver Tabla 3.7), el 97.26% del gas natural es metano, el cual tiene un peso molecular de 0.01604 Kg/mol. Considerando esto, como el peso molecular de la mezcla, obtenemos la masa total.

$$m_{\text{metano}} = 63,877.20 \text{ mol} * 0.01604 \frac{\text{Kg}}{\text{mol}} * 0.9726$$

$$m_{\text{metano}} = 996.51 \text{ Kg}$$

Tabla 3.3 Comparación de Sustancias Peligrosas con LAAR

Nombre del Producto	Sustancia	No. CAS	Riesgo Químico	Cantidad Total Almacenada	Tipo de almacenamiento	¿Se encuentra en algún LAAR?	Cantidad de reporte
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.							

Fuente: Newpek, 2022.

Nota: *: Cantidad de metano considerando las dimensiones aproximadas de la tubería.

Como se puede observar en la Tabla 3.3, de las sustancias almacenadas, la única sustancia que se encuentra listada en el Primer o Segundo Listado de Actividades Altamente riesgosas (LAAR), y supera la cantidad reportada es el **Metano**.

Además, en el "Segundo listado de actividades altamente riesgosas" publicado en el Diario Oficial de la Federación el 7 de mayo de 1992, en el artículo 4 sección VIII se menciona que las sustancias no indicadas que tengan una cantidad de almacenamiento a partir de 10,000 kg y que tengan alguna de las características indicadas a continuación, deben ser consideradas como altamente riesgosas.

- Temperatura de inflamación menor de 37.8 °C
- Temperatura de ebullición menor a 21.1 °C
- Presión de vapor de 760 mm Hg

Ninguna de las sustancias cumple con las características señaladas.

Cabe mencionar que, independientemente del resultado de la comparación citada anteriormente, es requerimiento de ASEA que todos los proyectos del sector hidrocarburos presenten un estudio de riesgo ante esta dependencia. Por lo tanto, se incluye el presente análisis al ser el requerimiento regulatorio vigente al momento de la presentación de este estudio.

Las propiedades de los materiales antes mencionados pueden encontrarse en las Hojas de Datos de Seguridad (HDS) en el **Anexo 4**.

3.2 Propiedades del Gas

La Tabla 3.4, muestra las propiedades del gas natural, las cuales fueron utilizadas para el análisis de consecuencias de fuego y explosión.

Tabla 3.4 Propiedades del Gas Natural

Propiedad	Valor
Temperatura de Rocío	-61°C
Humedad	3.44 mg/m ³
Poder Calorífico	38.212 MJ/m ³
Índice Wobbe	50.203 MJ/m ³
LEL	5%
UEL	15.4%
Auto ignición	537° C
Temp. de Fusión	183° C
Temp. de Ebullición	-162° C
Pres. de Vapor	Gas
NFPA Salud	1
NFPA Inflamabilidad	4
NFPA Reactividad	0

Fuente: Newpek, 2022.

De igual manera, la Tabla 3.5, presenta la composición del gas natural del pozo Treviño-1001EXP; la Tabla 3.6, presenta la composición del gas natural del pozo Treviño-2001EXP; y la Tabla 3.7, la composición del gas natural que será entregada a CENAGAS, el cual para fines de este reporte ha sido denominado como "**Mezcla de Gas Campo Treviño**", la cual fue utilizada para el análisis de consecuencias de la sección 5.2.2.

Tabla 3.5 Composición del Gas Natural Treviño-1001EXP

Componente	Fracción Molar
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Fuente: Balance de materia, SEIICO Servicios y Suministros Profesionales, S.A. de C.V.; por parte de Newpek, 2022.

Tabla 3.6 Composición del Gas Natural Treviño-2001EXP

Componente	Fracción Molar
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Fuente: Balance de materia, SEIICO Servicios y Suministros Profesionales, S.A. de C.V.; por parte de Newpek, 2022.

Tabla 3.7 Composición Mezcla de Gas Campo Treviño (para análisis de consecuencias)

Componente	Fracción Molar
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Fuente: Balance de materia, SEIICO Servicios y Suministros Profesionales, S.A. de C.V.; por parte de Newpek, 2022.

Para mayor detalle, se presenta en el **Anexo 5**, el balance de materia donde se detallan las especificaciones del gas natural.

4. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO

La información relacionada con la descripción del entorno se encuentra detallado en el Capítulo 4 de la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) anexa al ARSH. Los elementos más relevantes se mencionan a continuación:

- El clima predominante es el grupo de climas secos (B) que es caracterizado por climas áridos y semiáridos. Corresponde a clima semiárido, cálido, con temperaturas medias anuales mayores a 22°C y temperatura del mes más frío mayores a 18°C; con lluvias entre verano e invierno mayores al 18% anual.
- Los meses más cálidos son julio y agosto, llegando a tener temperaturas máximas mensuales de 37.0°C y 36.6°C, respectivamente; mientras que, el mes más frío es enero, registrando mínimas de 2.3°C.
- El mes con el mayor registro pluvial es septiembre con 90.2mm y el de menor precipitación es marzo con 13.5mm. Con todo esto, el área de estudio suma un promedio de 44.8 días de lluvia en el año.
- De acuerdo con datos del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, por sus siglas en inglés, 2018) del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América, así como del Grupo Bancario Mundial (WBG, por sus siglas en inglés, 2018), la radiación solar horizontal directa que se registra en la zona de estudio se ubica entre los 4.5 y 5.0 KWh/m².
- En Tamaulipas, durante el invierno la corriente se dirige al N y en dirección opuesta durante el verano. Los vientos soplan del ENE de octubre a marzo y el resto del año del SE. Las velocidades máximas mensuales del viento oscilan en los 41 km/h y las mínimas en 16 km/h, promediando 18 km/h, siendo los meses de marzo a mayo los más ventosos y septiembre a noviembre los menos. Los vientos en Tamaulipas y Veracruz están fuertemente ligados a los llamados "Nortes", que son consecuencia de las masas de aire frío que impulsan los sistemas frontales de los frentes fríos que vienen desde latitudes más altas.
- El Proyecto se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica "Llanura Costera del Golfo Norte". Esta provincia, según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) se distribuye en parte de los estados de Tamaulipas, Veracruz y Nuevo León. Esta provincia se comparte con los Estados Unidos, dentro del territorio mexicano se ensancha hacia el norte a lo largo del Río Bravo.
- El sistema de topografías dominante en el área del Proyecto son las llanuras aluviales y costeras, el cual se refiere a un área sin elevaciones o depresiones prominentes.
- De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (2020), el Proyecto se encuentra en un área donde las rocas presentes provienen de la Era Cenozoica, del sistema cuaternario y es de tipo aluvial.
- De acuerdo con SEGOB (2011), en la cartografía básica y geológica de los municipios de Reynosa y Río Bravo no se registran hundimientos por procesos cársticos, ya que no afloran las rocas carbonatadas que son características de este tipo de evento anómalo.
- El área del Proyecto presenta tres tipos de suelo que en orden descendente son Vertisoles (VR), Chernozem (CH) y Calcisol (CL). Los primeros contienen cierta aptitud para producción primaria agrícola, aunque por su alto contenido de arcillas tienen problemas de drenaje. Mientras que los CH tienen un alto contenido de materia orgánica que le da un color oscuro característico, se presentan en relieves llanos u suavemente ondulados y tienen cierta aptitud como suelos de cultivo incluyendo el crecimiento de pastizales. Finalmente, los CL presentan alto grado de calizas secundarias y son formados por depósitos aluviales o eólicos ricos en especies químicas básicas; se asocian, como en este caso a regiones áridas o semiáridas, aunque pueden tener cierta aptitud agrícola, se requieren de atención al riego.

4.1 Historial epidémico

El 24 de enero del 2022, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), publicó el informe "Características de las defunciones registradas en México durante 2020"¹, donde se dan a conocer las principales causas de muerte de la población. Este informe indica que las enfermedades por las que muere la población de Tamaulipas son las siguientes:

- Enfermedades cardiovasculares
- Covid-19
- Diabetes mellitus
- Tumores malignos
- Influenza y neumonía

Las estadísticas de las enfermedades mencionadas se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Estadísticas de enfermedades causantes de muerte en Tamaulipas

Enfermedad	Tasa de mortalidad (por cada 10,000 habitantes)	Muertes en Hombres	Muertes en Mujeres
Cardiovascular	16.5	3,433	2,395
Covid-19	14	2,915	1,950
Diabetes mellitus	11.3	2,095	1,919
Tumores malignos	7.4	1,344	1,269
Influenza y neumonía	4.59	1,276	799

Fuente: INEGI, 2022.

4.1.1 SARS-CoV-2 (COVID-19)

Los coronavirus son una familia de virus que causan enfermedades (desde el resfriado común hasta enfermedades respiratorias más graves) y circulan entre humanos y animales. El SARS-COV2 apareció en China en diciembre de 2019 y provoca una enfermedad llamada COVID-19, la cual fue declarada pandemia mundial el 11 de marzo de 2020 por la Organización Mundial de la Salud, (OMS).

Debido a la declaración de pandemia mundial, el Gobierno de México ha adoptado medidas de protección para la prevención del contagio. De igual manera, Newpek, cuenta con el Procedimiento para Pandemias en Vías Respiratorias (ME-NEW-XIII-09), el cual establece las reglas y directrices para prevenir y mitigar las enfermedades respiratorias.

Las estadísticas actuales del municipio de Reynosa Tamaulipas en relación con el Covid-19 se detallan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Estadísticas COVID Reynosa

Estadística	Datos
Confirmados	22,874
Negativos	28,148
Sospechosos	1,168
Defunciones	1,667

¹ <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemo/DefuncionesRegistradas2020preliminar.pdf>

Estadística	Datos
Recuperados	19,134
Activos	81

Fuente: Gobierno de México, 14 de junio del 2022.

4.2 Susceptibilidad a Riesgo Ambiental

El fenómeno meteorológico al que más se expone el Proyecto son los ciclones tropicales y las tormentas e inundaciones que pueden provocar. Pese a esto, en años recientes el grado de sequía que se tiene registrado ha aumentado de severo a muy severo.

La zona no se caracteriza por ser susceptible a sismos pues se localiza en la categoría A del riesgo nacional (ver Figura 4.1), lo que significa que no se han registrado estos movimientos significativos en los últimos 80 años, aunado a que tampoco existe riesgo de deslizamiento o derrumbes del terreno, lo que se refuerza con la forma plana del terreno.

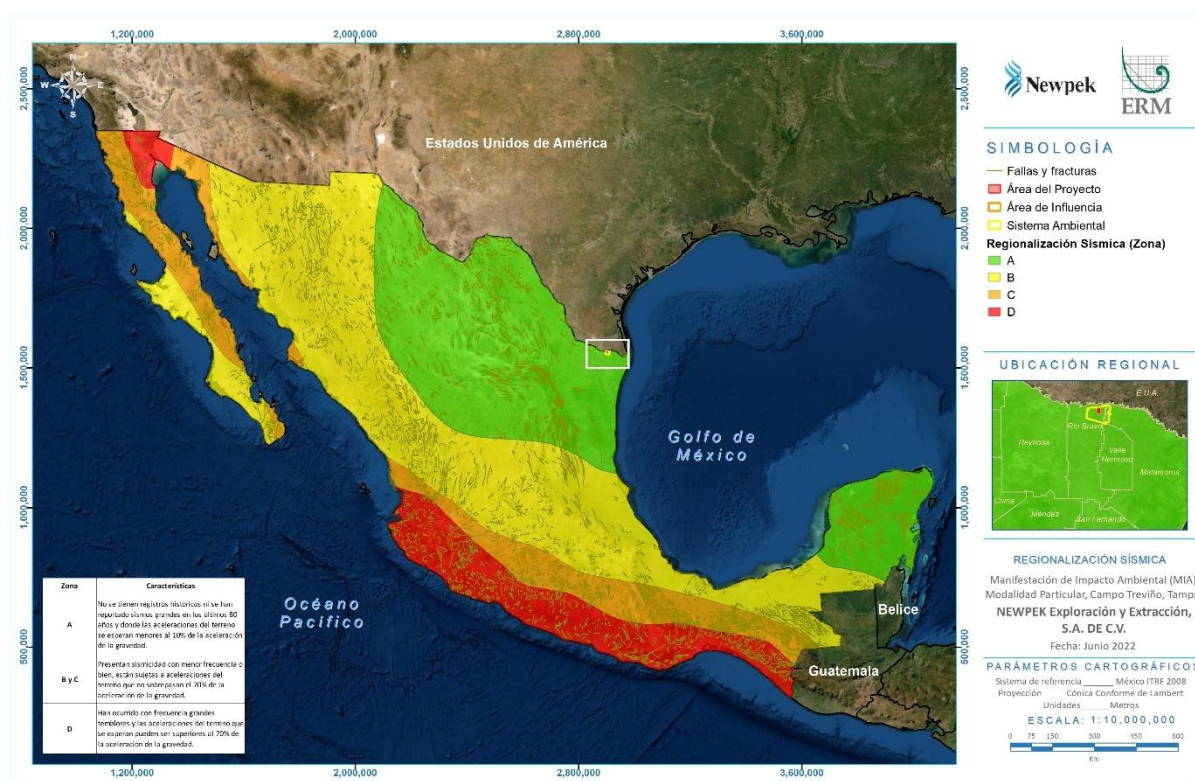


Figura 4.1 Regionalización Sísmica

Fuente: ERM, 2022.

Basado en el Atlas de Riesgos de los municipios de Reynosa y Río Bravo, elaborado por estado de Tamaulipas en el 2012; en el cual, se empleó la Guía para la Elaboración de Mapas de Riesgo por Inundaciones y Avenidas Súbitas, metodología elaborada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED); para la identificación de los peligros naturales por Inundación, tenemos que, para los Municipios de Reynosa y Río Bravo, la problemática más frecuente es por encharcamientos, debido a su morfología y/o por desbordamiento de canales, ya que principalmente el Municipio de Río Bravo se encuentra cubierto por este tipo de estructuras.

Con lo que respecta a desbordamiento de cauces, ya que el único río de relevancia es el Bravo, los daños son a un número más reducido de viviendas, localizadas principalmente en la zona urbana del Municipio de Reynosa.

Dadas estas razones, ambos municipios presentan índices de **vulnerabilidad por inundación de nivel Alto**. La Figura 4.2, presenta gráficamente los índices de vulnerabilidad por inundación en el área del Proyecto.

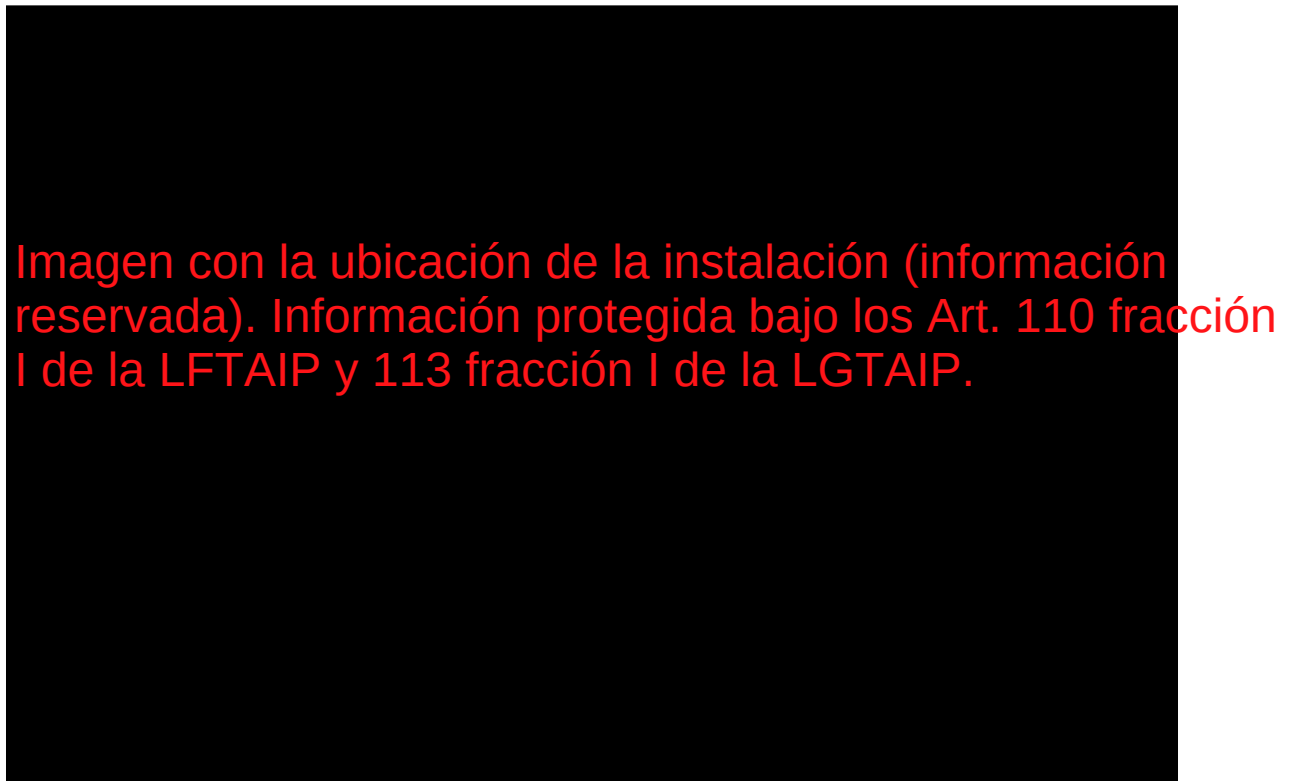


Figura 4.2 Índice de vulnerabilidad por inundación en el área del Proyecto

Fuente: ERM, 2022.

De acuerdo con SEGOB (2011), en la cartografía básica y geológica de los municipios de Reynosa y Río Bravo no se registran hundimientos por procesos cársticos, ya que no afloran las rocas carbonatadas que son características de este tipo de evento anómalo. No se considera que el Proyecto represente la existencia de riesgos significativos de esta naturaleza. Según informes, Tamaulipas no presenta un potencial importante para la ocurrencia de colapsos, en la Figura 4.3, se presenta gráficamente el grado de riesgo a hundimientos, deslizamientos y colapsos.



Figura 4.3 Susceptibilidad de deslizamientos

Fuente: ERM, 2022.

En el área del Proyecto no hay cuerpos de agua permanentes, sin embargo, hay un cuerpo a 450m al sureste del área de deshidratación que es intermitente. El Proyecto se localiza dentro del Distrito de Riego 025 Baja Río Bravo que aprovecha las aguas del Río Bravo almacenadas en las presas internacionales La Amistad y Falcón, además de las presas derivadoras "Anzalduas y Retamal. Cercano al AP se encuentra el Canal "El Culebrón" para su uso en el riego agrícola.

En la Figura 4.4, se presenta el mapa con los cuerpos de agua lénticos o lóticos que se encuentran en el Proyecto.

Imagen con la ubicación de la instalación (información reservada). Información protegida bajo los Art. 110 fracción I de la LFTAIP y 113 fracción I de la LGTAIP.

Figura 4.4 Hidrología superficial

4.3 Susceptibilidad de población cercana al Proyecto

Con base a la revisión de imágenes satelitales de Google Earth, se observó, que la única zona de población vulnerable, se encuentra a 250m al suroeste del pozo Treviño-2001EXP; dicha comunidad consta de alrededor de 15 viviendas. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la dirección del viento predominante es hacia el norte; por lo que, en caso de alguna fuga o liberación de gas, es improbable que esta comunidad se vea afectada. Para finalizar, puede observar en la sección ningún radio de afectación, de los peores casos de liberación posibles afectaría a alguna comunidad o población cercana.

5. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS

El análisis de riesgos que se presenta a continuación, integra técnicas de análisis para la identificación de peligros, evaluación y análisis de riesgos de procesos, con el objetivo de determinar metodológica, sistemática y consistentemente los Escenarios de Riesgo generados por el Proyecto, así como formular recomendaciones orientadas a la adopción de la existencia de dispositivos, Sistemas de Seguridad, Salvaguardas y barreras apropiadas y suficientes para reducir la probabilidad y/o consecuencias de los Escenarios de Riesgo identificados.

En el análisis y evaluación de riesgos, se busca dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué puede salir mal?;
- ¿Cuál es la probabilidad de que salga mal?; y
- ¿Cuáles son las consecuencias sobre los elementos expuestos?

En respuesta a estas preguntas se desarrollan los siguientes subcapítulos.

5.1 Identificación de Peligros y Jerarquización de Escenarios de Riesgo

La identificación de peligros y jerarquización de escenarios de riesgo asociados con la operación del Proyecto se realizó con base al Procedimiento interno de Newpek "Identificación de peligros/aspectos y análisis de riesgo e impactos (PG-NEW-II-01)"; así como la técnica cualitativa de identificación de peligros y evaluación de riesgos operacionales conocida como "HAZOP, por sus siglas en inglés".

5.1.1 Antecedentes de accidentes e incidentes en proyectos similares

En la Tabla 5.1, se presenta un listado de accidentes e incidentes, nacionales e internacionales, que se han presentado en proyectos o instalaciones similares de producción, separación, deshidratación o transporte de gas natural. Debido a que se trata de la primera operación que tendrá el Regulado bajo el nombre comercial "Newpek exploración y extracción SA de CV", no se tiene registro de accidentes o incidentes en operaciones similares.

Tabla 5.1 Antecedentes de Accidentes e Incidentes Nacionales e Internacionales

No.	Año	Ciudad/País	Instalación	Sustancia involucrada	Evento	Nivel de Afectación	Acciones Realizadas	Fuente consultada
1	1970	Agha Jari/ India	Ducto en zona urbana	Gas Natural	Explosión	70 muertos	No hay información	UNEP, 2005
2	1993	Bahoe/ China	Ducto en zona urbana	Gas Natural	Explosión	34 muertos y más de 100 heridos	No hay información	UNEP, 2005
3	1994	Seul/ Corea	Ducto en zona urbana	Gas Natural	Explosión	7 muertos, 50 heridos y más de 10,000 evacuados	No hay información	UNEP, 2005
4	N.D.	N.D.	E.C., ducto 34"	Gas Natural	Jet Fire	Daños materiales	Cierre de válvulas de seccionamiento	PROFEPA, 2005
5	1988	N.D.	Casa	Gas Natural	Explosión por fuga en unión de accesorios tubería de plástico	Daños en casa habitación	No hay información	PROFEPA, 2005
6	1987	Nueva Jersey/ EUA	Casa	Gas Natural	Explosión e incendio posterior por fractura de tubería de 4" debido a corrosión y fuerzas externas	Daños en casa habitación	Tubería de hierro reemplazada por tubería de plástico certificada	PROFEPA, 2005
7	N.D.	Kentucky/ EUA	N.D.	Gas Natural	Ruptura de tubería de 30" por corrosión	N.D.	No hay información	PROFEPA, 2005
8	1993	Villahermosa/ Tabasco México	Ducto	Gas Natural	Fuga	No hubo daños al ambiente	Sustitución de tramo de ducto de 195 m	PROFEPA, 2005
9	1993	Villahermosa/ Tabasco México	Ducto	Gas Natural	Fuga de 10 m ³	Área afectada de 3,200 m	Bloqueo de tubería por cierre de válvula y posterior desfogue	PROFEPA, 2005

No.	Año	Ciudad/País	Instalación	Sustancia involucrada	Evento	Nivel de Afectación	Acciones Realizadas	Fuente consultada
10	1993	Villahermosa/ Tabasco México	Ducto	Gas Natural	Fuga despreciable	No hubo área afectada	Cambio de carretes dañados y posterior desfogue	PROFEPA, 2005
11	1994	Coahuila/ México	Red de distribución de gas	Gas Natural	Varias fugas de gas y explosión posterior	Dos heridos	Renovación tubería de gas, reparación de fugas en medidores y estudio de evaluación del área afectada	PROFEPA, 2005
12	1994	Nuevo León/ México	Centro de regulación de gas	Gas Natural	Fuga por purga al efectuar mantenimiento	Evacuación en radio de 100 m	Reubicación del centro de regulación del ducto	PROFEPA, 2005
13	2008	Cuautitlán Izcalli/ Edo Mex	Ducto	Gas Natural	Fuga por golpe externo, explosión posterior y jet fire de 40 m	Dos heridos y desalojo de 5000 habitantes	No hay información	PROFEPA, 2005
14	2012	Burgos/ Tamaulipas México	Centro Procesador de Gas	Gas Natural	Explosión e incendio posterior	31 muertos y 47 lesionados	Los resultados de la investigación no han sido públicos	PROFEPA, 2005

Fuente: Información recopilada por ERM, basado en datos de la UNEP y PROFEPA, 2022.

5.1.2 Identificación de Peligros y Escenarios de Riesgo

5.1.2.1 Metodología HAZOP

Como se mencionó anteriormente, para la identificación de peligros y jerarquización de escenarios de riesgo se utilizó la metodología HAZOP. El principio de la metodología se basa en descubrir los potenciales factores que eviten que el sistema a considerar funcione según los objetivos o intención del diseño.

La reflexión crítica ordenada da como resultado el descubrimiento de alteraciones respecto a las intenciones y previsiones proyectadas, las cuales deben estar perfectamente establecidas.

Se aplican a cada una de las partes o "nodos" en que se divide la instalación (tuberías, equipos, servicios auxiliares, etc.) y de forma sistemática, unas palabras guía asociadas a cada una de las variables que intervienen en el proceso: caudal, presión, temperatura, etc., tratando de averiguar la posibilidad de que una causa particular lleve a un mal funcionamiento de la instalación o incluso de lugar a una situación peligrosa.

Estas palabras guía que caracterizan el método son utilizadas calificando o cuantificando a todas y cada una de las variables, en vistas a estimular la reflexión sobre la diversidad de situaciones en que puede encontrarse la instalación, algunas inverosímiles y que dejarán de ser consideradas, pero otras por la posibilidad de producirse y/o por sus consecuencias serán analizadas. Las palabras guía fundamentales con su correspondiente significado se muestran en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Palabras guía en la metodología HAZOP

Palabra guía	Significado	Observaciones
No	La negación completa de las finalidades	No se logra la finalidad
Más	Aumentos cuantitativos	Se refiere en un incremento de cantidades como las variables flujo, temperatura, nivel, etc., o actividades como calentar, reaccionar, etc.
Menos	Disminuciones cuantitativas	Se refiere a un decremento de cantidades como las variables flujo, temperatura, nivel, etc., o actividades como calentar, reaccionar, etc.
Así como	Aumento cualitativo	Todas las finalidades del diseño y del funcionamiento se logran junto con alguna actividad adicional
Parte de	Disminución cualitativa	Solo se logran algunas finalidades del diseño; otras no
Inverso de	La oposición lógica de la finalidad	Es aplicable sobre todo a actividades, por ejemplo, la inversión de la corriente o de la reacción química. Puede también aplicarse a sustancias, por ejemplo "veneno en lugar de antídoto"
Distinto de	Sustitución completa	No se consigue ni siquiera en parte la finalidad original, sucede algo totalmente diferente

Fuente: BS IEC 61882:2001

Una vez considerada la palabra guía, se procede a la identificación exhaustiva de las causas de la materialización de un peligro y de sus consecuencias potenciales, así se genera un **"escenario de riesgo"** para cada par causa-consecuencia identificado.

En la Figura 5.1, se representa el desarrollo secuencial de una aplicación general del análisis HAZOP en un proceso.

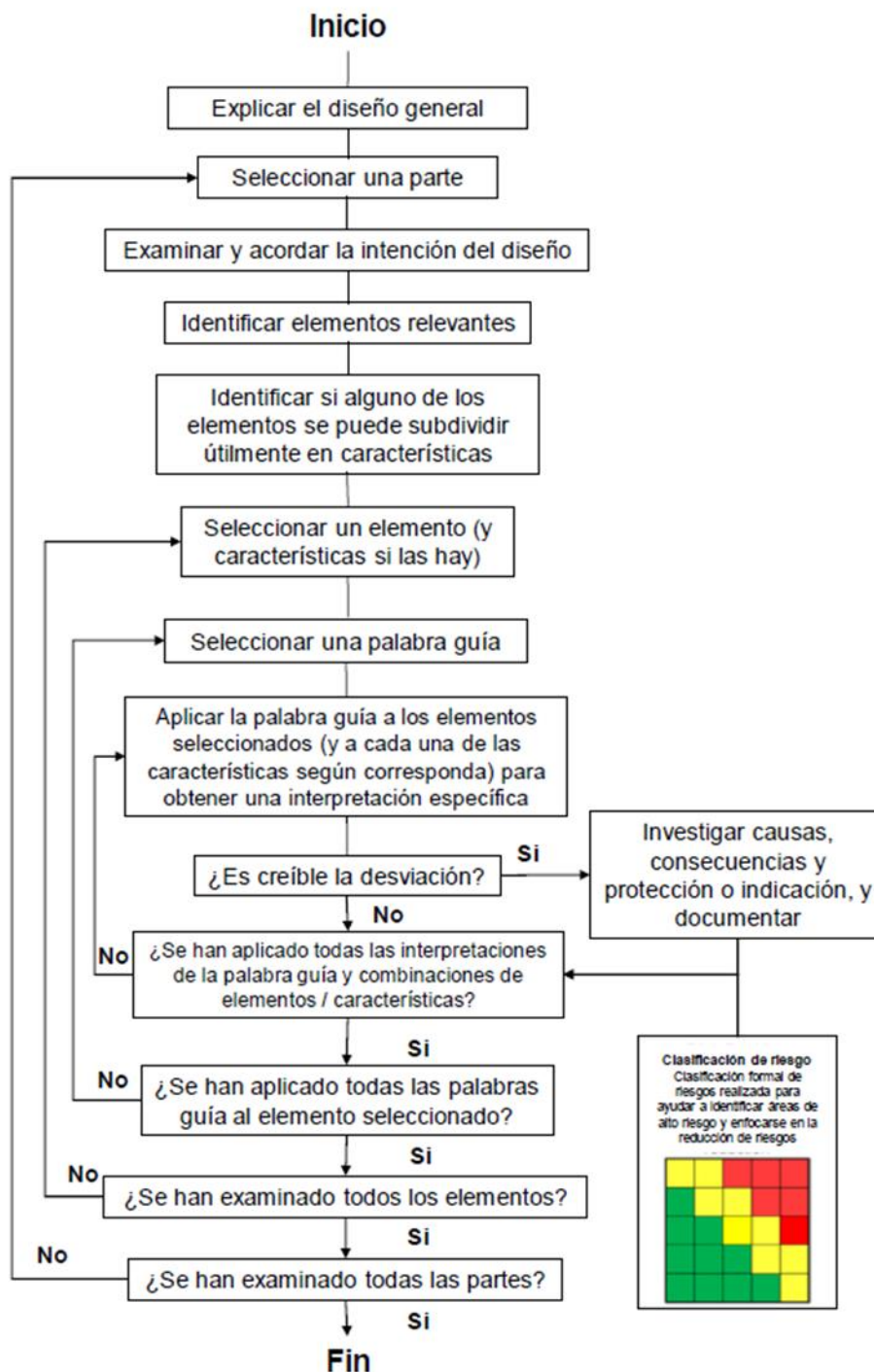


Figura 5.1 Diagrama de flujo del análisis HAZOP

Fuente: Basado en el British Standard IEC 61882:2001 Hazard and operability studies (HAZOP studies).

5.1.2.2 Matriz de Tolerabilidad de Riesgos

Como parte de la metodología HAZOP, se debe realizar una jerarquización cualitativa del nivel de riesgo para cada par "causa-consecuencia" identificada que da lugar a un evento peligroso. De acuerdo al Procedimiento PG-NEW-II-01 del Regulado, la jerarquización del riesgo para cada peligro depende tanto de la severidad de la consecuencia como de la probabilidad o frecuencia con la que ocurre el evento.

La evaluación de severidad se determina sin considerar las medidas de control y/o mitigación (salvaguardas) existentes o previstas en el diseño del Proyecto, con el objetivo de estimar los máximos daños posibles.

La severidad de las consecuencias se debe establecer para los receptores de riesgo según aplique, los cuales son las personas, el patrimonio o comunidad operacional, el medio ambiente y la imagen del Regulado.

La Tabla 5.3 a continuación muestra las categorías de severidad que se establecen en el procedimiento PG-NEW-II-01 del Regulado.

Tabla 5.3 Criterios de Severidad

Categoría de Severidad	Sigla	Valor	Descripción/ Características			
			Personas	Patrimonio/Comunidad operacional	Medio Ambiente	Imagen
Catastrófica	V	5	Múltiples fatalidades intramuros o fatalidad extramuros ¹	Daños catastróficos que puede conducir a la pérdida de la instalación industrial.	Daños severos en áreas sensibles o extendiéndose a otros sitios.	Impacto Internacional
Crítica	IV	4	Fatalidad intramuros o lesiones graves extramuros ²	Daños severos a sistemas (reparación lenta)	Daños severos con efecto localizado.	Impacto nacional
Media	III	3	Lesiones Graves intramuros o lesiones leves extramuros.	Daños moderados a sistemas.	Daños moderados	Impacto regional
Marginal	II	2	Lesiones leves	Daños leves a los sistemas / equipos.	Daños leves	Impacto local
Despreciable	I	1	Sin lesiones o como máximo casos de primeros auxilios.	Daños leves a equipos sin comprometer la continuidad operacional.	Daños insignificantes	Impacto Insignificante

Fuente: Procedimiento de Identificación de Peligros / Aspectos y Análisis de Riesgos e Impactos, Newpek PG-NEW-II-01

Nota 1: El escenario catastrófico de riesgo a las personas comprende los accidentes de largas proporciones con potencial de alcanzar un número mayor de personas, incluso personas de la fuerza de trabajo que no necesariamente tienen una relación directa con el evento de accidente analizado.

Nota 2: El escenario crítico de riesgo a las personas comprende los accidentes con amplitud localizada en una unidad o planta de proceso, con potencial de alcanzar un número restringido de personas (alrededor de 3) normalmente, relacionadas a una tarea específica y al escenario de accidente.

La evaluación de la probabilidad o frecuencia de una consecuencia para un escenario de accidente en particular se determina considerando las salvaguardas existentes o previstas en el diseño del Proyecto. La Tabla 5.4 muestra las categorías de probabilidad o frecuencia que se establecen en el procedimiento PG-NEW-II-01 del Regulado.

Tabla 5.4 Criterios de Probabilidad / Frecuencia

Probabilidad	Sigla	Descripción	Valor
Extremadamente Remota	A	Conceptualmente posible más extremadamente improbable en la vida útil de la instalación o período considerado. Sin Referencias Históricas generando beneficio al medio ambiente, la seguridad o la salud.	1
Remota	B	No se espera que el evento ocurra en la vida útil de la instalación o período considerado a pesar de existir referencias históricas.	2
Poco Probable	C	Posible de ocurrir hasta una vez durante la vida útil de la instalación o período considerado.	3
Probable	D	Se espera que el evento ocurra más de una vez durante la vida útil de la instalación o período considerado.	4
Frecuente	E	Se espera que el evento ocurra muchas veces en la instalación o período considerado.	5

Fuente: Procedimiento de Identificación de Peligros / Aspectos y Análisis de Riesgos e Impactos, Newpek PG-NEW-II-01

Una vez determinada la severidad y probabilidad de una consecuencia para un escenario de accidente en particular, se determina el nivel de riesgo mediante la Matriz de Tolerabilidad de Riesgos del Regulado (ver Tabla 5.5). La determinación del riesgo se genera a partir del cruce de las variables severidad y probabilidad de la siguiente manera:

$$\text{RIESGO (R)} = \text{PROBABILIDAD (P)} \times \text{SEVERIDAD (S)}$$

Tabla 5.5 Matriz de Tolerabilidad de Riesgos de Newpek

Categoría de Severidad	Sigla	Categorías de Probabilidad y frecuencia				
		Extremadamente Remota (A)	Remota (B)	Poco Probable (C)	Posible (D)	Frecuente (E)
Catastrófica	V	Moderado	Moderado	No Tolerable	No Tolerable	No Tolerable
Crítica	IV	Tolerable	Moderado	Moderado	No Tolerable	No Tolerable
Media	III	Tolerable	Tolerable	Moderado	Moderado	No Tolerable
Marginal	II	Tolerable	Tolerable	Tolerable	Moderado	Moderado
Despreciable	I	Tolerable	Tolerable	Tolerable	Tolerable	Moderado

Fuente: Procedimiento de Identificación de Peligros / Aspectos y Análisis de Riesgos e Impactos, Newpek PG-NEW-II-01.

5.1.2.3 Evaluación de Peligros de SASISOPA/HSE

De acuerdo con el procedimiento PG-NEW-II-01 del Regulado, y en línea con lo manifestado en el Sistema de Administración de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y Protección al Medio Ambiente (en adelante "SASISOPA"), como parte de la evaluación de riesgos se debe determinar la significancia de los mismos, para lo cual, además de considerar la severidad de la consecuencia y la probabilidad de un accidente en particular, se deberán considerar los siguientes criterios:

- **Situación (SI).** Se refiere a la situación real o potencial de ocurrencia de los peligros respecto a las actividades ejecutadas. La Tabla 5.6 a continuación muestra las categorías para determinar la situación.

Tabla 5.6 Categorías de Situación (SI)

Situación	Sigla	Descripción	Valor	Ejemplo
Normal	N	Son aspectos y/o peligros que ocurren toda vez que las tareas son ejecutadas.	0	a. Emisión de vapores de tanque de hidrocarburos;
				b. Generación de humos durante la tarea de corte/soldadura;
				c. Exposición a vibraciones durante la conducción de vehículos;
				d. Generación de residuos sólidos en las tareas de mantenimiento.
Anormal	A	Son peligros y/o aspectos que no deberían ocurrir durante la ejecución de las actividades.	1	a. Caída de andamio durante el pintado de una instalación;
				b. Contacto con la llama del soplete durante la tarea de corte /soldadura;
				c. Emisiones gaseosas debido a una fisura en los equipos.
				d. Emisión atmosférica por apagado del quemador.
Emergencia	E	Son peligros y/o aspectos de situación anormal que requieren para el control de sus riesgos y/o impactos, la aplicación de recursos humanos capacitados y organizados, recursos materiales y procedimientos específicos (Plan de Emergencia Interno)	2	a. Derrames o fugas;
				b. Incendio;
				c. Explosión;
				d. Exposición a sustancias tóxicas.
				e. Durante trabajos en espacios confinados;
				f. Enfermedades infectocontagiosas;
				g. Desastres naturales;
				h. Acción de terceros (terrorismo y vandalismo);
				i. Accidentes con medios de transportes.

Fuente: Procedimiento de Identificación de Peligros / Aspectos y Análisis de Riesgos e Impactos, Newpek PG-NEW-II-01.

- **Influencia (I).** Indica como directamente un Peligro está asociada a las actividades de la Empresa y se clasifica de acuerdo con la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Clasificación de Influencia (I)

Situación	Sigla	Descripción	Valor	Ejemplo
Directa	D	Aspectos y Peligros de actividades que la empresa controla directamente. (ej. Personal propio, contratista o subcontratista, visitas, proveedores, socios, entre otros.)	1	a. Emisión de gases durante un venteo;
				b. Residuos generados durante el mantenimiento;
				c. Golpes y choques con objetos o herramientas;
				d. Descarga de aguas.
Indirecta	I	Aspectos y/o Peligros de actividades que la empresa no controla directamente (ej. Vecinos, Comunidad o actividades de las contratistas fuera del ámbito de responsabilidad de la unidad, cliente, sociedad, gobierno, entre otros.)	0	a. Caída de andamio durante el pintado de una instalación;
				b. Uso de recursos y materias primas para la producción bienes para la organización.

Fuente: Procedimiento de Identificación de Peligros / Aspectos y Análisis de Riesgos e Impactos, Newpek PG-NEW-II-01.

- **Temporalidad (T).** Indica el período de ocurrencia de las actividades con los peligros que generan el impacto de SASISOPA de acuerdo con la Tabla 5.8.

Tabla 5.8 Clasificación de Temporalidad (T)

Temporalidad	Sigla	Descripción	Valor	Ejemplo
Pasada	P	Impacto identificado en el presente, pero como consecuencia de un Aspecto y actividad desarrollada en el pasado.	2	a. Contaminación a. de suelo por residuos contaminados con hidrocarburos de taller inactivo.
				b. Pasivo Ambiental
Actual	A	Impacto resultante de actividades ejecutadas en el presente.	1	a. Contaminación de suelo por el almacenamiento inadecuado de lubricantes nuevos y usados;
Futura	F	Impacto previsto, resultante de Aspectos que ocurrirán con los cambios en las actividades que serán implementadas en el futuro.	0	a. Disminución auditiva por exposición a ruido resultante de la operación de nuevas instalaciones.

Fuente: Procedimiento de Identificación de Peligros / Aspectos y Análisis de Riesgos e Impactos, Newpek PG-NEW-II-01.

Nota: Las actividades a ser implementadas en el futuro (F) se deben incluir, siempre que sea posible, en las etapas de planeamiento, construcción y operación en caso de aplicar ser gestionadas de acuerdo con las administraciones de las modificaciones de cambio.

- **Legalidad (L).** El criterio de legislación y/o requerimiento legal se evalúa si el peligro se encuentra asociado a requisitos legales específicos de HSE tales como:
 - Requerimientos Legales (ej. Federal, Estatal, Municipal).
 - Condicionantes de permisos ambientales (ej. Licencia Ambientales, COA etc.)

- Otros requisitos de HSE.

Tabla 5.9 Legislación (L)

Legislación	Descripción	Valor
Si	El Aspecto y/o Impacto SI posee asociados requisitos legales específicos de HSE.	1
No	El Aspecto y/o Impacto NO posee asociados requisitos legales específicos de HSE	0

Fuente: Procedimiento de Identificación de Peligros / Aspectos y Análisis de Riesgos e Impactos, Newpek PG-NEW-II-01.

- **Partes interesadas (PI).** Este criterio evalúa un reclamo formal realizado por las partes interesadas asociados a los aspectos e impactos de HSE identificados como se muestra en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10 Partes Interesadas (PI)

Temporalidad	Descripción	Valor
Si	El Aspecto y/o Impacto SI posee asociados reclamos formales de partes interesadas. Ej.: notificación judicial, notificación de la autoridad ambiental competente, reclamos de la comunidad respecto a generación de polvo, etc.	1
No	El Aspecto y/o Impacto NO posee asociados reclamos formales de partes interesadas. requisitos legales específicos de HSE	0

Fuente: Procedimiento de Identificación de Peligros / Aspectos y Análisis de Riesgos e Impactos, Newpek PG-NEW-II-01.

Nivel de Significancia (NS)

Para determinar los peligros y/o aspectos significativos se considera el resultado de nivel de significancia el cual considera la suma de todos los criterios de evaluación, es decir:

$$\text{Nivel de Significancia} = SI + I + T + R + L + PI$$

Donde:

SI = Situación

I = Influencia

T = Temporalidad

R = Riesgo (Probabilidad x Severidad)

L = Legislación

PI = Partes Interesadas

Un Peligro de SASISOPA / HSE **se considerará SIGNIFICATIVO** cuando el resultado del NS sea **mayor o igual a 17**.

Control de Peligros de SASISOPA/HSE

- **Determinación de Controles.** De acuerdo con el procedimiento PG-NEW-II-01 del Regulado, para los Peligros SIGNIFICATIVOS, se deberá definir controles para mitigación de los efectos/ riesgos

e impactos en prevención de ocurrencia de estos. Los controles serán registrados en el formato FORM-NEW-II-01.

- **Controles Existentes:** Se registrarán los controles efectivamente implementados para la prevención y control de riesgos, con el objetivo de proteger a las personas, medio ambiente y propiedad y asegurar la continuidad operacional.
- **Controles Adicionales:** Se registrarán los controles adicionales que requieren ser implementados. La Alta dirección deberá analizar los mismos para su aprobación/rechazo y elaborar un Plan de Acción con responsables y plazos para la implementación de los controles recomendados.

Los controles de los peligros significativos se deben definir e implementar considerando la **Categoría de Riesgo (R)**.

Los controles se establecerán de acuerdo con el nivel requerido para la Categoría de Riesgo (R) obtenidas a partir de la Matriz de Tolerabilidad presentada anteriormente (ver Tabla 5.5).

Para la interpretación de la categoría de riesgo obtenida, se utilizan los niveles de riesgo mostrados en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11 Categorías de Riesgo y Niveles de Control

Categoría de Riesgo	Sigla	Descripción
Tolerable	<i>T</i>	Controles existentes suficientes. No hay necesidad de adoptar medidas adicionales. El monitoreo es necesario para asegurar que los controles existentes se mantengan.
Moderado	<i>M</i>	Controles adicionales deben ser evaluados con el objetivo de obtener una reducción de los riesgos e implementar aquellos considerados practicables (región ALARP)
No Tolerable	<i>T</i>	Controles existentes insuficientes. Métodos alternativos se deben considerar para reducir la probabilidad de ocurrencia o la severidad de las consecuencias, para llevar los riesgos de menor magnitud de riesgos (regiones ALARP o Tolerable). Los procesos o actividades que generen Aspectos e Impactos de Severidad Catastrófica (V) deberán ser paralizados y necesariamente ser ejecutadas medidas correctivas inmediatas para la disminución de la categoría de riesgo hasta niveles ALARP.

Fuente: Procedimiento de Identificación de Peligros / Aspectos y Análisis de Riesgos e Impactos, Newpek PG-NEW-II-01

La jerarquía de controles se debe aplicar de acuerdo con lo establecido en la Tabla 5.12

Tabla 5.12 Jerarquía de controles

Jerarquía	Tipo de Control	Descripción / Ejemplos de controles
Primera Opción	a. Eliminación	Eliminación de materiales, operaciones y actividades de riesgo;
	b. Sustitución	Cambios en proyectos, materiales, procesos y actividades entre otros;
	c. Controles de Ingeniería	Mejora en el proyecto y/o proceso básico;
		Incremento de la confiabilidad de los sistemas;
		Control de los efectos físicos de los eventos indeseados, por la reducción de inventarios, barreras físicas, aislamiento, protección pasiva, etc.;

Jerarquía	Tipo de Control	Descripción / Ejemplos de controles
		Implementación de tecnologías para la atenuación de los impactos ambientales (tratamiento de residuos, efluentes, emisiones atmosféricas, etc.)
	d. Señalización / Advertencias y/o Controles Administrativos	Incremento de la confiabilidad operacional, por acciones de selección, capacitación, entrenamiento y análisis de factores humanos;
		Sistemas de Señalización y Advertencia de Riesgos tales como material divulgativo, carteles, folletos, banderas o información gráfica;
		Bloqueo o exclusión de la exposición al peligro, por alejamiento, restricción del acceso, asignación adecuada de las instalaciones;
		Procedimientos, Métodos de trabajo, ayudas visuales.
		Monitoreo y Medición de parámetros de HSE.
Última Opción	e. Equipos de Protección Personal	Dispositivos de uso personal, destinado a proteger la integridad física del trabajador, para evitar o disminuir los efectos de la exposición a agentes físicos y químicos que pueden atentar contra su salud y seguridad.

Fuente: Procedimiento de Identificación de Peligros / Aspectos y Análisis de Riesgos e Impactos, Newpek PG-NEW-II-01

5.1.3 Jerarquización de Escenarios de Riesgo

5.1.3.1 Resultados de la Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos (HAZOP)

Para el presente estudio, fue seleccionada la metodología HAZOP con base en el tipo de proceso a analizar, complejidad y la forma óptima de identificar los riesgos del Sistema de Producción, Separación, Deshidratación y Medición de Hidrocarburos del Campo Treviño, el cual se compone por las siguientes áreas:

- Pozo Treviño 122 y línea de descarga;
- Pozo Treviño-1001EXP y línea de descarga;
- Pozo Treviño-2001EXP y línea de descarga;
- Área de separación;
- Línea de descarga de 6";
- Área de deshidratación; y
- Área de Medición.

Es importante mencionar, que el Pozo Treviño 122 fue considerado dentro del alcance del Proyecto; sin embargo, no se tiene programada su producción a corto plazo.

La identificación peligros y escenarios de riesgo se llevó a cabo por un grupo multidisciplinario de expertos de Newpek, incluyendo personal de ingeniería, operaciones, gestión social, así como seguridad, higiene y medio ambiente (HSE); y con la participación del consultor ERM para la facilitación del taller.

El taller se llevó a cabo los días 23, 24 y 25 de mayo de 2022, en las instalaciones de Newpek, ubicadas en la calle Cedro 219, Colonia Rincón del Valle, Reynosa, Tamaulipas.

Las personas involucradas en las sesiones HAZOP se presentan en la

Tabla 5.13.

La herramienta electrónica para documentar la sesión fue el software de licencia PHA-Pro ®. Dicho software es utilizado por las organizaciones para la realización de estudios de riesgo, resultando en procesos más receptivos y eficientes.

Tabla 5.13 Participantes de las Sesiones de Identificación de Peligros

Nombre	Compañía	Puesto	Años de Experiencia
Alondra Mar	Newpek	Auxiliar de Gestión Social	1.5
Sac-Nicte Muñoz	Newpek	Jefatura de ingeniería	5
Alejandro Terán	Newpek	Ingeniería y Operaciones	18
Victoria Romero	Newpek	Coordinación de medio ambiente	20
Roberto Labastida	Newpek	Gerencia de HSE y regulación	15
Agustín Trejo	Newpek	Operaciones	4
Pedro Hernández	Newpek	HSE	1
Manuel Salazar	ERM	Facilitador / Escriba	3
Mónica Reyes	ERM	Facilitador / Líder	7

Fuente: Hojas de Trabajo de la Sesión HAZOP, disponible en el Anexo 6, ERM, 2022.

En el **Anexo 6**, se incluye la lista de participantes de la sesión HAZOP.

La Tabla 5.14 a continuación muestra la lista de nodos analizados durante el taller HAZOP, así como los diagramas utilizados para el análisis, los cuales se consideran como Ingeniería "As built".

Tabla 5.14 Lista de nodos analizados en HAZOP

Nodo	Descripción / Parámetros	Diagramas / Referencias
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.		

Nodo	Descripción / Parámetros	Diagramas / Referencias
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.		

Nodo	Descripción / Parámetros	Diagramas / Referencias
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.		

Fuente: Hojas de Trabajo de la Sesión HAZOP, disponible en el Anexo 6, ERM, 2022.

Nota 1: El Pozo Treviño 122 fue considerado dentro del alcance del Proyecto, sin embargo, este se encuentra fuera de servicio y sin fecha establecida para su puesta en marcha al momento de la realización del presente análisis, por lo que el análisis de este incluyó únicamente el Pozo con su respectivo árbol de válvulas y línea de descarga, en el supuesto de que el pozo fluya con las mismas condiciones que el Pozo Treviño-2001EXP.

En la Tabla 5.15, se resume de manera tabular el número de elementos que se obtuvieron de la identificación de peligros por cada nodo analizado. Es importante mencionar, que las desviaciones en las que no se identificaron peligros, estos, no fueron documentados y no se realizó la evaluación de riesgo. De igual manera, para otros nodos en los que las desviaciones, presentaban causas y consecuencias similares a las que ya se habían analizado, únicamente se hizo referencia sin asignar un nivel de riesgo.

En el **Anexo 6**, se presentan Hojas de Trabajo de la Sesión HAZOP, así como el nivel de riesgo asignado a cada uno de los peligros, determinado a partir de la evaluación de los valores de severidad y probabilidad.

Tabla 5.15 Resumen de resultado para cada Nodo- HAZOP

Nodo	Desviación	Causas	Consecuencias	Salvaguardas	Recomendaciones
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.					

Nodo	Desviación	Causas	Consecuencias	Salvaguardas	Recomendaciones
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.					

Fuente: Hojas de Trabajo de la Sesión HAZOP, disponible en el Anexo 6, ERM, 2022.

Como se mencionó anteriormente, cada escenario de riesgo fue evaluado con un nivel de severidad sin considerar controles existentes, con el fin de estimar las mayores afectaciones posibles. El nivel de probabilidad, por otro lado, se estimó considerando los controles existentes, de esta forma se obtuvo un Nivel de Riesgo para cada escenario de riesgo identificado.

A continuación, se presentan en las matrices de riesgo con los IDs de los escenarios de riesgo evaluados por cada receptor.

- Personal (Tabla 5.16)
- Medio Ambiente (Tabla 5.17)
- Patrimonio o Comunidad Operativa (Tabla 5.18)
- Imagen (Tabla 5.19)

La forma en que se identificarán los "ID" de cada sección será la siguiente: el primer número definirá el nodo; el segundo número la desviación; el tercer número la causa; y el cuarto número la consecuencia. Por ejemplo, tenemos el ID 1.1.1.1. que correspondería al nodo 1: Pozo Treviño-1001EXP; desviación 1. Más Presión; causa 1. Taponamiento mecánico del estrangulador por las impurezas del pozo; y la consecuencia 1. Suspensión de operaciones por falta de flujo de gas por aproximadamente 8 horas.

Tabla 5.16 Escenarios de Riesgo identificados para el Personal

Categoría de Severidad	Sigla	Categorías de Probabilidad y frecuencia				
		Extremadamente Remota (A)	Remota (B)	Poco Probable (C)	Posible (D)	Frecuente (E)
Catastrófica	V		5.2.3.2, 5.2.3.3			
Crítica	IV	5.2.1.3, 5.2.2.3, 5.2.4.2, 5.2.4.3	1.1.1.3, 1.1.2.3, 1.1.3.3, 1.2.1.3, 1.2.2.3, 1.2.3.3, 1.2.4.3, 1.2.5.2, 1.2.5.3, 1.2.6.2, 1.2.6.3, 2.1.1.3, 2.1.2.3, 2.1.3.3, 2.2.1.3, 2.2.2.3, 2.2.3.3, 2.2.4.3, 2.2.5.2, 2.2.5.3, 2.2.6.2, 2.2.6.3, 3.1.1.3, 3.1.2.3, 3.1.3.3, 3.2.1.3, 3.2.2.3, 3.2.3.3, 3.2.4.3, 3.2.5.2, 3.2.5.3, 3.2.6.2, 3.2.6.3, 4.3.1.3, 4.3.2.3, 4.3.2.4, 4.3.3.3, 4.3.4.3, 4.3.5.5, 5.1.1.3, 5.1.2.3, 6.1.1.3, 6.1.1.4, 6.1.2.3, 6.1.2.4, 6.1.3.3, 6.1.3.4, 6.1.4.3, 6.1.5.3, 6.1.6.3, 6.1.7.5, 7.1.2.3, 7.1.3.3, 7.1.3.4, 7.1.4.3, 7.1.4.4, 7.1.5.3, 7.1.6.3, 7.1.7.3, 7.1.9.3, 7.2.2.3, 7.2.3.3, 7.2.4.3	7.2.5.1, 7.2.5.2, 7.2.6.2		
Media	III	1.1.1.4, 1.1.2.4, 1.1.3.4, 1.2.1.4, 1.2.2.4, 1.2.3.4, 1.2.4.4, 1.2.5.4, 1.2.6.4, 2.1.1.4, 2.1.2.4, 2.1.3.4, 2.2.1.4, 2.2.2.4, 2.2.3.4, 2.2.4.4, 2.2.5.4, 2.2.6.4, 3.1.1.4, 3.1.2.4, 3.1.3.4, 3.2.1.4, 3.2.2.4, 3.2.3.4, 3.2.4.4, 3.2.5.4, 3.2.6.4, 4.3.1.4, 4.3.2.5, 4.3.3.4, 4.3.4.4, 4.3.5.6, 5.1.1.4, 5.1.2.4, 6.1.1.5, 6.1.2.5, 6.1.3.5, 6.1.4.4, 6.1.5.4, 6.1.6.4, 6.1.7.6, 7.1.2.4, 7.1.3.5, 7.1.4.5, 7.1.5.7, 7.1.6.4, 7.1.7.4, 7.1.7.4, 7.1.9.4, 7.2.2.4, 7.2.3.4, 7.2.4.4	5.1.1.2, 5.1.2.2, 7.1.2.2, 7.1.3.2, 7.1.4.2, 7.1.5.2, 7.1.6.2, 7.1.7.2, 7.1.9.2, 7.1.10.2, 7.2.5.3, 7.2.6.3	7.2.6.1		
Marginal	II		1.2.1.2, 1.2.2.2, 1.2.3.2, 1.2.4.2, 2.2.1.2, 2.2.2.2, 2.2.3.2, 2.2.4.2, 3.2.1.2, 3.2.2.2, 3.2.3.2, 3.2.4.2, 5.2.1.2, 5.2.2.2, 7.1.10.1, 7.2.2.2, 7.2.3.2, 7.2.4.2			
Despreciable	I		1.1.1.2, 1.1.2.2, 1.1.3.2, 2.1.1.2, 2.1.2.2, 2.1.3.2, 3.1.1.2, 3.1.2.2, 3.1.3.2, 4.3.1.2, 4.3.2.2, 4.3.3.2, 4.3.4.2, 4.3.5.4, 6.1.1.2, 6.1.2.2, 6.1.3.2, 6.1.4.2, 6.1.5.2, 6.1.6.2, 6.1.7.4			

Fuente: Hojas de Trabajo de la Sesión HAZOP, disponible en el Anexo 6, ERM, 2022

Tabla 5.17 Escenarios de Riesgo identificados para el Medio Ambiente

Categoría de Severidad	Sigla	Categorías de Probabilidad y frecuencia				
		Extremadamente Remota (A)	Remota (B)	Poco Probable (C)	Posible (D)	Frecuente (E)
Catastrófica	<i>V</i>					
Crítica	<i>IV</i>					
Media	<i>III</i>		4.3.5.2, 6.1.7.2	4.6.3.1, 6.5.2.1		
Marginal	<i>II</i>					
Despreciable	<i>I</i>					

Fuente: Hojas de Trabajo de la Sesión HAZOP, disponible en el Anexo 6, ERM, 2022

Tabla 5.18 Escenarios de Riesgo identificados para el Patrimonio o Comunidad Operativa

Categoría de Severidad	Sigla	Categorías de Probabilidad y frecuencia				
		Extremadamente Remota (A)	Remota (B)	Poco Probable (C)	Posible (D)	Frecuente (E)
Catastrófica	V					
Crítica	IV	1.2.2.4, 2.2.2.4, 3.2.2.4, 5.2.4.1	1.2.1.1, 1.2.2.1, 1.2.5.1, 1.2.6.1, 2.2.1.1, 2.2.2.1, 2.2.5.1, 2.2.6.1, 3.2.1.1, 3.2.2.1, 3.2.5.1, 3.2.6.1, 4.3.2.3, 5.2.1.1, 5.2.2.1, 5.2.3.1, 6.1.1.3, 6.1.2.3, 6.1.3.3, 7.2.7.1	4.2.1.1, 4.2.2.1	1.1.4.1, 2.1.4.1, 3.1.4.1	
Media	III	7.2.2.1, 7.2.4.1	4.1.1.1, 4.3.5.3, 6.1.7.3, 6.8.1.1, 7.1.8.1, 7.4.1.1, 7.4.2.1			
Marginal	II	4.5.1.1, 6.4.1.1, 7.2.3.1	1.2.3.1, 1.2.4.1, 2.2.3.1, 2.2.4.1, 3.2.3.1, 3.2.4.1, 6.5.3.1	1.1.1.1, 2.1.1.1, 3.1.1.1, 4.3.1.1, 4.3.2.1, 4.3.3.1, 4.3.4.1, 5.1.1.1, 5.1.2.1, 6.1.1.1, 6.1.2.1, 6.1.4.1, 6.1.5.1, 6.1.6.1, 6.1.7.1, 7.1.2.1, 7.1.3.1, 7.1.4.1, 7.1.5.1, 7.1.6.1, 7.1.7.1, 7.1.9.1		
Despreciable	I		7.1.1.1	1.1.2.1, 1.1.3.1, 2.1.2.1, 2.1.3.1, 3.1.2.1, 3.1.3.1, 6.3.1.1, 6.4.1.1	5.1.3.1	

Fuente: Hojas de Trabajo de la Sesión HAZOP, disponible en el Anexo 6, ERM, 2022

Tabla 5.19 Escenarios de Riesgo identificados para la Imagen de la compañía

Categoría de Severidad	Sigla	Categorías de Probabilidad y frecuencia				
		Extremadamente Remota (A)	Remota (B)	Poco Probable (C)	Posible (D)	Frecuente (E)
Catastrófica	<i>V</i>					
Crítica	<i>IV</i>					
Media	<i>III</i>	5.2.4.3	5.2.3.3			
Marginal	<i>II</i>					
Despreciable	<i>I</i>					

Fuente: Hojas de Trabajo de la Sesión HAZOP, disponible en el Anexo 6, ERM, 2022

En total se jerarquizaron doscientos sesenta y tres (263) escenarios de riesgo, de los cuales ciento sesenta y siete (167) fueron evaluados como riesgo "Tolerable", noventa y tres (93) como riesgo "Moderado" y tres (3) como "No Tolerable". A continuación, la Tabla 5.20 muestra la distribución de escenarios de riesgo por cada receptor.

Tabla 5.20 Conteo de escenarios de riesgo identificados en HAZOP

Receptor de riesgo	No. de escenarios Tolerables	No. de escenarios Moderados	No. de escenarios No Tolerables	Total
Personas	106	69	0	175
Medio Ambiente	2	2	0	4
Patrimonio	57	22	3	82
Imagen	2	0	0	2
TOTAL	167	93	3	Suma = 263

Fuente: Hojas de Trabajo de la Sesión HAZOP, disponible en el Anexo 6, ERM, 2022

Como se puede observar, los tres (3) escenarios "No Tolerables" tienen un impacto al patrimonio operativo de la compañía, por lo que se generaron recomendaciones para disminuir el nivel de riesgo, sin embargo, no serán considerados en adelante para el análisis de consecuencias debido a que no se tienen impactos a la seguridad y salud del personal o al medio ambiente.

Por otro lado, de los noventa y tres (93) escenarios de riesgo "Moderado" identificados, sesenta y nueve (69) corresponden a impactos a las personas, dos (2) al medio ambiente y veintidós (22) al patrimonio operativo, por lo tanto, para efectos de este reporte, se realizará un análisis para determinar el **Nivel de Significancia** (de acuerdo con el procedimiento PG-NEW-II-01 del Regulado) únicamente para los escenarios de riesgo Moderado con impactos al personal o medio ambiente.

A continuación, en la Tabla 5.21 se detalla el análisis de significancia para los setenta y un (71) escenarios de riesgo Moderado identificados en el HAZOP con impactos al personal o medio ambiente.

Tabla 5.21 Nivel de Significancia para escenarios de riesgo Moderado del HAZOP

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.														

No.	ID HAZOP	Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Situación	Influencia	Temporalidad	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Legislación	Partes Interesadas	Nivel de Significancia
-----	-------------	------	------------	-------	--------------	-----------	------------	--------------	--------------	-----------	--------	-------------	-----------------------	---------------------------

Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.

Fuente: ERM, 2022.

Como se puede apreciar en la Tabla 5.21, los setenta y un (71) escenarios de riesgo identificados como riesgo "Moderado" con impactos al personal o medio ambiente, son **SIGNIFICATIVOS** de acuerdo con la metodología establecida por el Regulado. Los escenarios de riesgo analizados para este estudio pueden desglosarse de la siguiente manera:

- Cuarenta y cinco (45) se refieren a posibles lesiones al personal (2 o 3 operadores por turno) en caso de explosión o dardo de fuego, que ocurre por fuga de empaques y conexiones (30), o por pérdida de la integridad mecánica del sistema (15);
- Catorce (14) se refieren a fugas de gas por golpes externos o daños por terceros, los cuales pueden ocurrir en cualquiera de los pozos, así como en la línea de descarga de 6";
- Cuatro (4) se refieren a la potencial formación de atmosfera inflamable en el área de medición, que ocurre como liberación directa por válvula manual abierta después de un muestreo de calidad o por ruptura de la manguera flexible de alimentación de gas al generador de emergencia;
- Seis (6) se refieren a la sobrepresión de algún equipo de proceso debido a una válvula manual cerrada que impide el alivio de presión mediante las PSV (ver IDs 4.3.2.3, 6.1.1.3, 6.1.2.3, 6.1.3.3, 7.1.3.3, 7.1.4.3);
- Por último, dos (2) se refieren a un potencial derrame de agua con hidrocarburos que ocurre por un sobre nivel de los tanques de recibo de líquidos en el área de separación (ver ID 4.6.3.1) y en el área de deshidratación (ver ID 6.5.2.1).

5.1.3.2 Eventos de pérdida de contención

Una vez que se han analizado los escenarios de riesgo significativos (ver Tabla 5.21), se procede a identificar los Eventos de Pérdida de Contención (LOC, por sus siglas en inglés). Los LOC, son aquellos eventos que como su nombre lo indica, generan una liberación de material peligroso con potencial afectación a las personas, ambiente y/o instalaciones, ya sea por fuego y/o explosión.

Para cuestiones de modelaciones, y dimensionamiento de los eventos LOC, se tomarán en cuenta las siguientes definiciones:

- Liberación Mayor²: Liberación de Gas Natural superior al 50% del contenido en el recipiente y/o abertura de tubería superior al 50%
- Liberación Menor: Cualquier liberación de Gas Natural que sea menos al 25% de abertura de la línea de transporte

La Tabla 5.22, muestra los eventos LOC identificados, los cuales serán el punto de partida para el análisis cuantitativo de riesgo que se presenta en el siguiente capítulo.

² CERCLA/USEPA

Tabla 5.22 Eventos de pérdida de contención (LOC)

No. LOC	Evento LOC	Tipo de liberación	ID HAZOP	Causa	Tipo de evento
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.					

No. LOC	Evento LOC	Tipo de liberación	ID HAZOP	Causa	Tipo de evento
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.					

Fuente: ERM, 2022.

5.2 Análisis Cuantitativo de Riesgo

5.2.1 Análisis de Frecuencias

5.2.1.1 Metodología

Según la norma internacional IEC 61025 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés), un Análisis de Árbol de Fallas (FTA) puede describirse sencillamente como una técnica analítica, por la que se especifica un estado no deseado del sistema, y a continuación se analiza el sistema en el contexto de su entorno y funcionamiento para encontrar todas las formas realistas en que puede producirse el evento no deseado (evento tope).

El FTA en sí es un modelo gráfico de las distintas combinaciones paralelas y secuenciales de fallos que darán lugar a la aparición del suceso no deseado predefinido. Los fallos pueden ser eventos asociados a fallos de hardware de los componentes, errores humanos, errores de software o cualquier otro evento pertinente que pueda conducir al evento no deseado. Así, un FTA representa las interrelaciones lógicas booleanas de los eventos básicos que conducen al evento no deseado, el evento superior del árbol de fallos.

Es importante entender que un FTA, no es un modelo de todos los posibles fallos del sistema o de todas las posibles causas de fallo del sistema. Un FTA se adapta a su evento superior que corresponde a algún modo de fallo del sistema en particular, y el árbol de fallos incluye por tanto sólo aquellos fallos que contribuyen a este evento superior. Además, estos fallos no son exhaustivos: sólo cubren los fallos que el analista considera realistas. Esta representación está en una forma que puede ser claramente entendida, analizada y, si es necesario, reordenada para facilitar la identificación de:

- Los factores que afectan al evento superior investigado
- Factores que afectan a las características de fiabilidad y rendimiento del sistema, por ejemplo, deficiencias de diseño, tensiones ambientales u operativas, modos de fallo de los componentes, errores de los operadores, fallos del software, etc.
- Sucesos que afectan a más de un componente funcional, lo que podría anular las ventajas de las redundancias específicas o afectar a dos o más partes de un producto que, de otro modo, podrían parecer operacionalmente no relacionadas o independientes.

Un FTA es un método de análisis deductivo (descendente) que tiene como objetivo señalar las causas o la combinación de causas que pueden conducir al evento principal definido. El objetivo es encontrar las "causas primarias" que pueden conducir al desarrollo del suceso principal. En el caso de una evaluación cuantitativa, se puede asignar una probabilidad a las causas primarias y a todas las intermedias y el suceso principal (resultado) puede calcularse entonces utilizando las expresiones matemáticas adecuadas.

Los objetivos de una FTA incluyen:

- Identificar las causas o combinaciones de causas que conducen al suceso principal
- Determinar si una determinada medida de fiabilidad del sistema cumple un requisito establecido
- Determinación de qué modo(s) de fallo o factor(es) potencial(es) contribuye (n) en mayor medida a la probabilidad de fallo o indisponibilidad del sistema
- Análisis y comparación de varias alternativas de diseño para mejorar la fiabilidad del sistema
- Identificación de los modos de fallo potenciales que podrían causar un problema de seguridad, evaluación de la correspondiente probabilidad de ocurrencia y posibilidad de mitigación
- Identificación de un suceso o de combinaciones de sucesos que sean los más probables para que se produzca el suceso principal

- Evaluación del impacto de la ocurrencia de un evento primario en la probabilidad del evento principal
- Cálculo de las probabilidades de los sucesos

Esta metodología, según la norma, tiene dos enfoques. Uno es un enfoque cualitativo, en el que no se aborda la probabilidad de los sucesos y sus factores contribuyentes, -sucesos de entrada-, ni su frecuencia de ocurrencia. Este enfoque es un análisis detallado de los sucesos/fallos y se conoce como FTA cualitativo o tradicional.

El segundo enfoque es, en gran medida, cuantitativo, ya que una FTA detallada modela todo un producto, proceso o sistema, y la gran mayoría de los sucesos básicos, ya sean fallos o eventos, tiene una probabilidad de ocurrencia determinada por el análisis o la prueba. En este caso, el resultado final es la probabilidad de ocurrencia de un suceso superior que representa la fiabilidad o la probabilidad de un fallo o una avería. En este estudio se ha utilizado el segundo enfoque.

Para utilizar eficazmente la técnica del árbol de fallos como método de análisis de sistemas, el procedimiento debe constar al menos de los siguientes pasos:

- Definición del alcance del análisis
- Familiarización con el diseño, las funciones y el funcionamiento del sistema
- Definición del evento principal
- Construcción del árbol de fallos
- Análisis de la lógica del árbol de fallos
- Presentación de informes sobre los resultados del análisis
- Evaluación de las mejoras de fiabilidad

El FTA debe ser realizado por personal con un conocimiento detallado del sistema y de sus características de diseño y funcionamiento. Los pasos para el desarrollo de un FTA son los detallados en la Tabla 5.23.

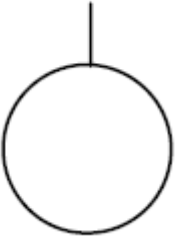
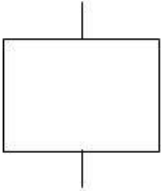
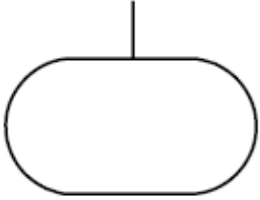
Tabla 5.23 Flujo de Análisis del Evento Tope

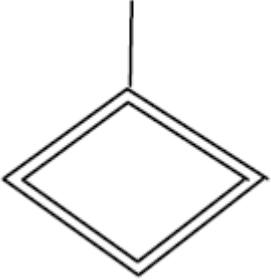
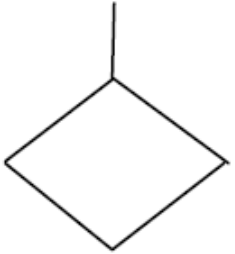
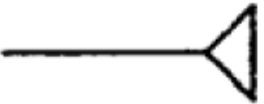
No.	Paso	Descripción
1	Definir el sistema	El equipo FTA define el alcance del estudio, así como la definición de "falla" dentro del análisis específico. Esta definición es importante ya que un elemento de la función puede fallar dentro de un sistema pero el resto del sistema sigue abierto.
2	Definir el evento principal	El equipo FTA define el punto de partida del análisis, ya sea para un sistema o para un solo bloque. Esto se logra detallando el fallo de interés para el análisis.
3	Identificar las causas del evento principal	El equipo FTA define que eventos podrían causar que el evento principal ocurra. Para organizar las causas de la falla, se emplean símbolos de puerta lógica: (O) para los que causan el fallo solo; (Y) para los múltiples eventos que deben ocurrir antes de que ocurra el fallo.
4	Identificar el siguiente nivel de eventos	El equipo FTA identifica el conjunto de eventos causantes de cada evento que conduce a la falla del nivel más alto.
5	Identificar las causas básicas	El equipo FTA continúa identificando eventos o causas descendentes hasta identificar la raíz o causa básica de la secuencia de eventos que conducen al fallo.
6	Agregar probabilidades a los eventos	Cuando sea posible, el equipo FTA debe añadir la probabilidad real o relativa de ocurrencia de cada evento.
7	Analizar el Árbol de Fallos	El equipo debe buscar los eventos más probables que conducen a la falla, los eventos únicos que inician múltiples caminos hacia la falla y los patrones relacionados con el estrés, el uso o las condiciones operativas.
8	Documentar el FTA	El jefe del equipo deberá registrar el árbol de fallos gráfico (utilizando el programa informático draw.io), las notas resultantes de la sesión de análisis, los elementos de acción y la lista de asistencia.

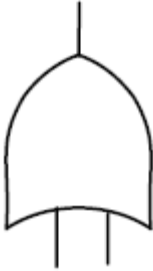
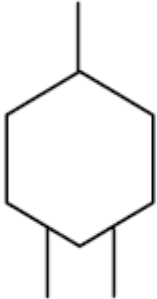
Fuente: Basado en el British Standard IEC 61025:2006 Fault Tree Analysis (FTA)

Un FTA típico se compone de una serie de símbolos, que se describen en la Tabla 5.24. Sólo se muestran los símbolos utilizados en el análisis del árbol de fallos actual, pero hay otros símbolos que pueden emplearse si es necesario.

Tabla 5.24 Símbolos utilizados frecuentemente en un FTA

Símbolo	Nombre	Descripción	Correlación de la fiabilidad	Número de Entradas
	EVENTO BÁSICO	El evento de nivel más bajo sobre el que se dispone de información sobre la probabilidad de ocurrencia o la fiabilidad	El modo de falla de los componentes, o causa de un modo de falla	0
	EVENTO TOPE / EVENTO INTERMEDIO	Eventos introducidos o fallas que pueden ser desarrolladas más adelante.	N.A.	0
	EVENTO CONDICIONANTE	Evento que es una condición de ocurrencia de otro evento cuando ambos tienen que ocurrir para que la salida se produzca	Ocurrencia del evento que tiene que ocurrir para que ocurra otro evento. Probabilidad condicional.	0

Símbolo	Nombre	Descripción	Correlación de la fiabilidad	Número de Entradas
	EVENTO INACTIVO	Un evento primario que representa un fallo latente; un evento que no se detecta inmediatamente pero que podría, tal vez, ser detectado por una inspección o análisis adicional	Causa del modo de fallo de los componentes inactivos o el fallo de los componentes inactivos	0
	EVENTO NO DESARROLLADO	Un evento primario que representa una parte del sistema que aún no se ha desarrollado	Un contribuyente a la probabilidad de fracaso. La estructura de esa parte del sistema aún no está definida	0
 Transfer OUT  Transfer IN	Puerta de TRANSFERENCIA TRANSFERENCIA ENTRANTE / TRANSFERENCIA SALIENTE	Puerta que indica que esta parte del sistema se desarrolla en otra parte o página del diagrama	Un diagrama de árbol de fallas parcial que se muestra en otra ubicación del sistema general. ENTRANTE significa que la puerta de desarrollo está en otro lugar, SALIENTE significa que la misma puerta desarrollada en este lugar será utilizada en otro lugar	0

Símbolo	Nombre	Descripción	Correlación de la fiabilidad	Número de Entradas
	Puerta Lógica "O"	El evento de salida ocurre si alguno de los eventos de entrada ocurre	La falla ocurre si alguna de las partes de ese sistema falla - sistema en serie	≥ 2
	Puerta Lógica "Y"	El evento de salida ocurre sólo si todos los eventos de entrada ocurren	Redundancia paralela, una de cada n ramas iguales o diferentes	≥ 2
	Puerta INHIBIDORA	La salida sólo se produce si tienen lugar los dos eventos de entrada, uno de ellos condicional	Probabilidad condicional de ocurrencia del evento final	2

Fuente: IEC 61025, 2006.

Evaluación de un FTA

Para la evaluación de fiabilidad de los FTA desarrollados se ha utilizado la reducción booleana. La reducción booleana puede llevarse a cabo resolviendo ecuaciones booleanas para el FTA, ya que las puertas relacionan los eventos exactamente igual que las operaciones booleanas, existiendo una correspondencia uno a uno entre la representación algebraica booleana y la representación del FTA. La reducción booleana también puede utilizarse para identificar conjuntos de corte mínimos.

Puerta Lógica "O"

Como se ha mencionado anteriormente, el símbolo del FTA, Puerta Lógica "O", representa la unión de los eventos adjuntos a la puerta. Cualquiera de los eventos de entrada debe ocurrir para causar el evento por encima de la puerta. La puerta O es equivalente al símbolo booleano "+". Por ejemplo, la puerta O con dos eventos de entrada, como se muestra en la Figura 5.2, es equivalente a la expresión booleana:

Ecuación 1:

$$Q = A + B$$

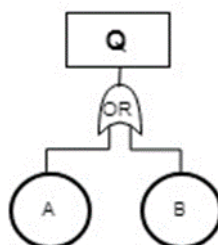


Figura 5.2 Puerta "O" de dos entradas

En términos de probabilidad, se representan la ecuación 2.

Ecuación 2: $P(Q) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) = P(A) + P(B) - P(A)P(B|A)$

A efectos del presente análisis, se utiliza la siguiente aproximación porque es una estimación conservadora de la probabilidad del evento de salida. Además, en los eventos de baja probabilidad, $P(A \cap B)$ es pequeño comparado con $P(A) + P(B)$.

Ecuación 3:

$$P(Q) \cong P(A) + P(B)$$

Puerta Lógica "Y"

De igual manera, el símbolo del FTA "Y" que representa la intersección de los eventos adjuntos a la puerta. La puerta "Y" equivale al símbolo booleano "-". Todos los eventos de entrada adjuntos a la puerta "Y" deben existir para que el evento ocurra sobre la puerta. Para la expresión booleana equivalente de dos eventos adjuntos a una puerta "Y" es:

Ecuación 4:

$$Q = A \cdot B$$

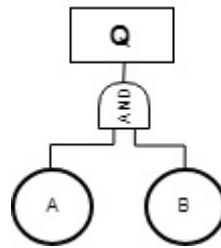


Figura 5.3 Puerta "Y" de dos entradas

Para los eventos de entrada " n " a una puerta Y, la expresión booleana equivalente es:

Ecuación 5:
$$Q = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \dots \cdot A_n$$

En este caso, el evento Q ocurrirá si y sólo si todo el A ocurre. En términos de probabilidad, para dos eventos:

Ecuación 6:
$$P(Q) = P(A) P(B | A) = P(B) P(A | B)$$

La puerta de inhibición tiene la misma expresión booleana que la puerta "Y", sólo que un evento condicionante es parte de la ecuación.

Conjuntos de Corte Mínimo

Según la definición, un conjunto de corte mínimo es una combinación (intersección) de eventos primarios suficiente para el evento tope. La combinación es una combinación "mínima" en la que todas las fallas son necesarias para que ocurra el evento tope. Si uno de los fallos en el conjunto de corte no se produce, entonces el evento tope no se producirá (por esta combinación).

Cualquier árbol de fallas consistirá en un número finito de conjuntos de cortes mínimos que son únicos para ese evento tope. Los conjuntos de cortes mínimos de un componente, si los hay, representan las fallas individuales que causarán el evento tope. Los conjuntos mínimos de corte de dos componentes representan las fallas dobles que juntas causarán el evento tope. Para un conjunto de corte mínimo de componentes " n ", todos los componentes " n " del conjunto de corte deben fallar para que ocurra el evento tope.

La expresión de conjunto de corte mínimo para el evento tope puede escribirse en general:

Ecuación 7:
$$T = M_1 + M_2 + \dots + M_k$$

Donde T es el evento tope y M_k son los conjuntos de corte mínimo. Cada conjunto de corte mínimo consiste en una combinación de fallos de componentes específicos y, por lo tanto, el corte mínimo general de " n " componentes puede expresarse como:

Ecuación 8:
$$M_i = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n$$

Donde X_1 , X_2 , etc., son fallos de los componentes básicos del árbol.

Análisis numérico o probabilístico

El propósito del análisis probabilístico es proporcionar una evaluación cuantitativa de la probabilidad de que ocurra el evento tope o un conjunto seleccionado de eventos. El análisis numérico también puede utilizarse para apoyar y complementar el análisis lógico. Para realizar una evaluación numérica de un árbol de fallas, se requieren datos probabilísticos a nivel de los componentes. Las técnicas de predicción de la fiabilidad y la disponibilidad, los datos reales de prueba o de campo y los manuales estándar de datos de fiabilidad pueden utilizarse para establecer valores cuantitativos.

Para cuantificar la probabilidad del evento tope del árbol de fallas, debe proporcionarse una probabilidad para cada Evento Básico (BE, por sus siglas en inglés) del FTA. Estas probabilidades de BE se propagan hasta el evento tope utilizando las relaciones booleanas para el evento de falla. Dado que el evento tope también puede expresarse como la unión de los conjuntos de corte mínimo, identificados por el álgebra booleana, la probabilidad del evento tope puede aproximarse como la suma de las probabilidades individuales del conjunto de corte mínimo.

Los manuales de datos de fiabilidad de los componentes suelen presentar los datos de fiabilidad de cada componente como la tasa de fallos de los componentes. En este caso, fue necesario calcular la probabilidad de fallo del componente durante un intervalo de tiempo. La probabilidad de fallo del componente P , que también se denomina falta de fiabilidad, se determina a partir de la fórmula.

Ecuación 9:
$$P = 1 - e^{-\lambda t}$$

Donde λ es la tasa de fallo del componente y t es el intervalo de tiempo correspondiente. Para valores pequeños de λt ($\lambda t < 0.1$) la fórmula anterior para P se simplifica a:

Ecuación 10:
$$P \cong \lambda t$$

5.2.1.2 Desarrollo del FTA

Como parte del Análisis Cuantitativo de Riesgo, se llevó a cabo un Análisis de Árbol de Fallas (FTA), con el objetivo de determinar la probabilidad de falla de los "Eventos Tope" seleccionados, los cuales se seleccionaron a partir del Análisis Cualitativo de Riesgo que se llevó a cabo previamente mediante la metodología HAZOP. A continuación, se muestra el desarrollo del análisis FTA.

Sesión de FTA

Como parte del proceso de la evaluación de frecuencias, se llevó a cabo una sesión de FTA para los "Eventos Tope" presentados en la Tabla 5.25. Para la determinación de los "Eventos Tope", se tomaron en cuenta los eventos cuya jerarquización de riesgos resultó en nivel Moderado, categoría de severidad de "IV" y/o "V" y que pudieran desencadenar en una liberación mayor de Gas Natural y con potenciales impactos para el personal de Newpek y/o equipos de proceso, de acuerdo con la metodología HAZOP.

Tabla 5.25 Eventos Tope

No.	Evento Tope	ID HAZOP	Consecuencia
1	Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo (Treviño-1001EXP o Treviño-2001EXP)	1.2.5.2, 1.2.6.2, 2.2.5.2, 2.2.6.2	Liberación de gas a la atmósfera con potencial formación de nube inflamable
2	Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200	5.1.1.2, 5.1.2.2, 5.2.1.2, 5.2.2.2, 5.2.3.2, 5.2.4.2	Liberación de gas a la atmósfera con potencial formación de nube inflamable
3	Liberación de gas en el separador SHT-300	4.3.2.3	Liberación de gas a la atmósfera con potencial formación de nube inflamable
4	Liberación de gas en el área de medición	7.1.3.3, 7.1.4.3	Liberación de gas a la atmósfera con potencial formación de nube inflamable

Fuente: ERM, 2021.

El taller se realizó el 26 de mayo de 2022 por medio de una sesión presencial en las instalaciones de Newpek en Reynosa, por un grupo multidisciplinario de expertos de Newpek y ERM, los cuales se presentan en la Tabla 5.26. La herramienta electrónica para documentar la sesión fue el software draw.io. usado para la construcción de diagramas en proyectos.

Tabla 5.26 Participantes de las Sesión de FTA

Nombre	Puesto	Compañía	Años de Experiencia
Mónica Reyes	Facilitador	ERM	7
Manuel Salazar	Escriba	ERM	4
Alondra Mar	Auxiliar Gestión Social	Newpek	1.5
Sac-Nicte Muñoz	Jefatura de Ingeniería	Newpek	5
Victoria Romero	Coordinador de Medio Ambiente	Newpek	20
Roberto Labastida	Gerencia de HSE y Regulación	Newpek	15
Agustin Trejo	Operaciones	Newpek	4

Fuente: Sesión de Riesgos, ERM, 2021.

Los diagramas de árboles de falla pueden consultarse en el **Anexo 7** de este documento.

Consideraciones específicas para el FTA

Fuentes de información

Las fuentes de información para obtener las tasas de falla fueron obtenidas de:

- Libros publicados (OREDA 2002³; OREDA 2009⁴)
- Publicaciones de Organizaciones Mundiales reconocidas (OGP No. 434-5⁵)
- Artículos publicados⁶

Es importante mencionar que estas referencias tienen valores genéricos de la industria para equipos (instrumentos, bombas, válvulas, etc.) y para factores humanos. Esto significa que el análisis cuantitativo del estudio es una aproximación conservadora de las probabilidades de los principales eventos y no es la probabilidad real del proyecto, que cuenta con componentes e instrumentos específicos.

Además, los procedimientos de mantenimiento y la capacitación de los operadores son una parte integral de los procedimientos y políticas de Newpek. Estas políticas reducirán en gran medida las probabilidades empleadas en este estudio para los eventos de error humano/operación.

Tiempo de operación

El tiempo de operación considerado para el cálculo de la probabilidad de falla del componente analizado, se definió como un intervalo de tiempo de un año calendario como escenario conservador (350 días). Considerando paros por mantenimientos, los cuales se espera sean de aproximadamente dos (2) semanas al año.

Error Humano

³ OREDA, 2002. "Offshore Reliability Data Handbook", 4ta edición.

⁴ OREDA, 2009. "Offshore Reliability Data Handbook", 5ta edición.

⁵ International Association of Oil & Gas Producers, 2010. "Human factors in QRA", Reporte No.434-5.

⁶ Kiefner, et al. 1996. "Analysis of DOT Reportable Incidents for Gas Transmission and Gathering System Pipelines, 1985 through 1997". Publicado por U.S Department of Energy – Office of scientific and Technical Information.

Los datos en las bases de datos de errores humanos consisten en tasas de errores humanos por acción. La cuantificación del error humano y la confiabilidad del error humano son diferentes del análisis de factores humanos. El análisis de factores humanos es una evaluación psicológica de los factores que afectan el comportamiento humano y es un análisis cualitativo.

El análisis de confiabilidad humana cuantifica la probabilidad de diferentes tipos de acciones humanas. Este análisis es el que se usó para alimentar la información en el FTA. Como escenario conservador y apegado a la realidad de las operaciones efectuadas por el personal de Newpek, se asignó una probabilidad genérica de error humano igual a 1×10^{-03} contemplando tareas simples, frecuentes, con mínimo de estrés y entrenamiento adecuado⁷.

Suposiciones

- Los eventos externos como: fenómenos naturales, incendio externo, daños por terceros, en el sistema no fueron desarrollados para este estudio, porque su desarrollo implicaría un análisis en sí mismo que esta fuera del propósito del presente estudio. Sin embargo, para el análisis FTA se les asignó un valor de probabilidad de ocurrencia con base en datos reportados para el sector energético y publicados por organismos internacionales⁴.
- Las instalaciones del campo Treviño fueron diseñados y construidos bajo los estándares internacionales citados previamente; por lo cual, a la construcción defectuosa y los espesores inadecuados se les asignó una probabilidad de cero, así como sus respectivos eventos primarios.

5.2.1.3 Resultados del Análisis de Frecuencias

Como se presentó en la Tabla 5.25, para el desarrollo del análisis de frecuencias fueron seleccionados cuatro (4) eventos tope. En seguida se presentan los resultados para cada uno de ellos.

Evento Tope 1: Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo Treviño-1001EXP

Para el desarrollo del árbol de fallas (FTA, por sus siglas en inglés) de las operaciones de los pozos, el evento tope seleccionado fue: *Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo Treviño-1001EXP*, con las probabilidades asignadas para cada evento base y el cálculo de las probabilidades para cada puerta se presenta en la Figura 5.4.

Para mayor detalle, consultar el **Anexo 7**.

⁷ International Association of Oil & Gas Producers, 2010. "Human factors in QRA", Reporte No.434-5.

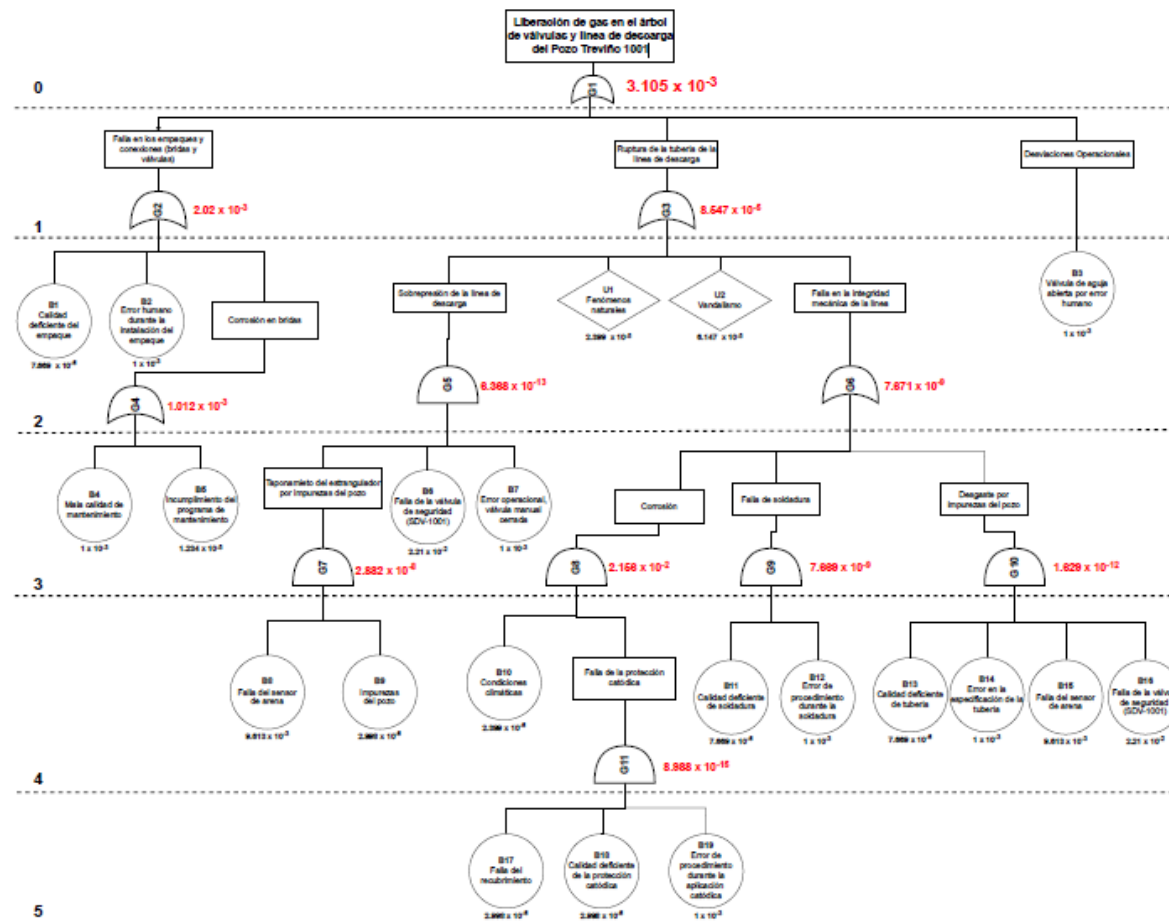


Figura 5.4 Evento Top 1: Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo Treviño-1001EXP

El evento tope del FTA puede ser expresado con funciones booleanas de los eventos básicos. Los eventos básicos o fallas del árbol se muestran en la Tabla 5.27, y las ecuaciones booleanas para cada puerta en el árbol de fallas se muestran en la Tabla 5.28.

Tabla 5.27 Eventos básicos identificados en el árbol "Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo Treviño-1001EXP"

Rama	Evento Base	ID
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.		

Fuente: ERM, 2022.

Notas:

Ui: Eventos no desarrollados

Bi: Eventos básicos en el árbol de fallas

Tabla 5.28 Funciones booleanas para el árbol "Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo Treviño-1001EXP"

Rama	Puerta	Función Booleana	Probabilidad de la puerta
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.			

Rama	Puerta	Función Booleana	Probabilidad de la puerta
------	--------	------------------	---------------------------

Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.

Fuente: ERM, 2022.

Notas:

Gi: Puertas en el árbol principal

Como se puede observar en la Tabla 5.28, la probabilidad total estimada para la puerta G1 que representa la **probabilidad de ocurrencia estimada para el evento tope 1** "Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo Treviño-1001EXP" es igual a 3.105×10^{-3} para un tiempo operacional de un año.

Al desarrollar la función booleana del árbol, se pueden identificar los conjuntos de corte mínimo (CCM), que son eventos o series de eventos cuya existencia conjunta iniciará el evento superior del árbol. En la Tabla 5.29, se presentan los conjuntos de corte mínimo asociados con probabilidades mayores al orden 1×10^{-6} ⁽⁸⁾ que conducen al evento tope "Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo Treviño-1001EXP".

Tabla 5.29 Conjuntos de Corte Mínimo Evento Tope 1

Conjuntos de corte mínimo	Probabilidad
---------------------------	--------------

Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.

Fuente: ERM, 2022.

Como se puede apreciar en la Tabla 5.29, el conjunto de corte mínimo con la mayor probabilidad de conducir por sí solo al evento tope es el relacionado con un error humano al dejar válvulas manuales abiertas con una probabilidad de 1×10^{-3} .

⁸ Regulación para el Control de Accidentes Mayores (COMAH) de Reino Unido - ALARP Demonstration Requirements (https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/#ALARP-Demonstration-Requirements)

Evento Tope 2: Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200

Para el desarrollo del árbol de fallas (FTA, por sus siglas en inglés) de las operaciones de los pozos, el evento tope seleccionado fue: *Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200*, con las probabilidades asignadas para cada evento base y el cálculo de las probabilidades para cada puerta se presenta en la Figura 5.5.

Para mayor detalle, consultar el **Anexo 7**.

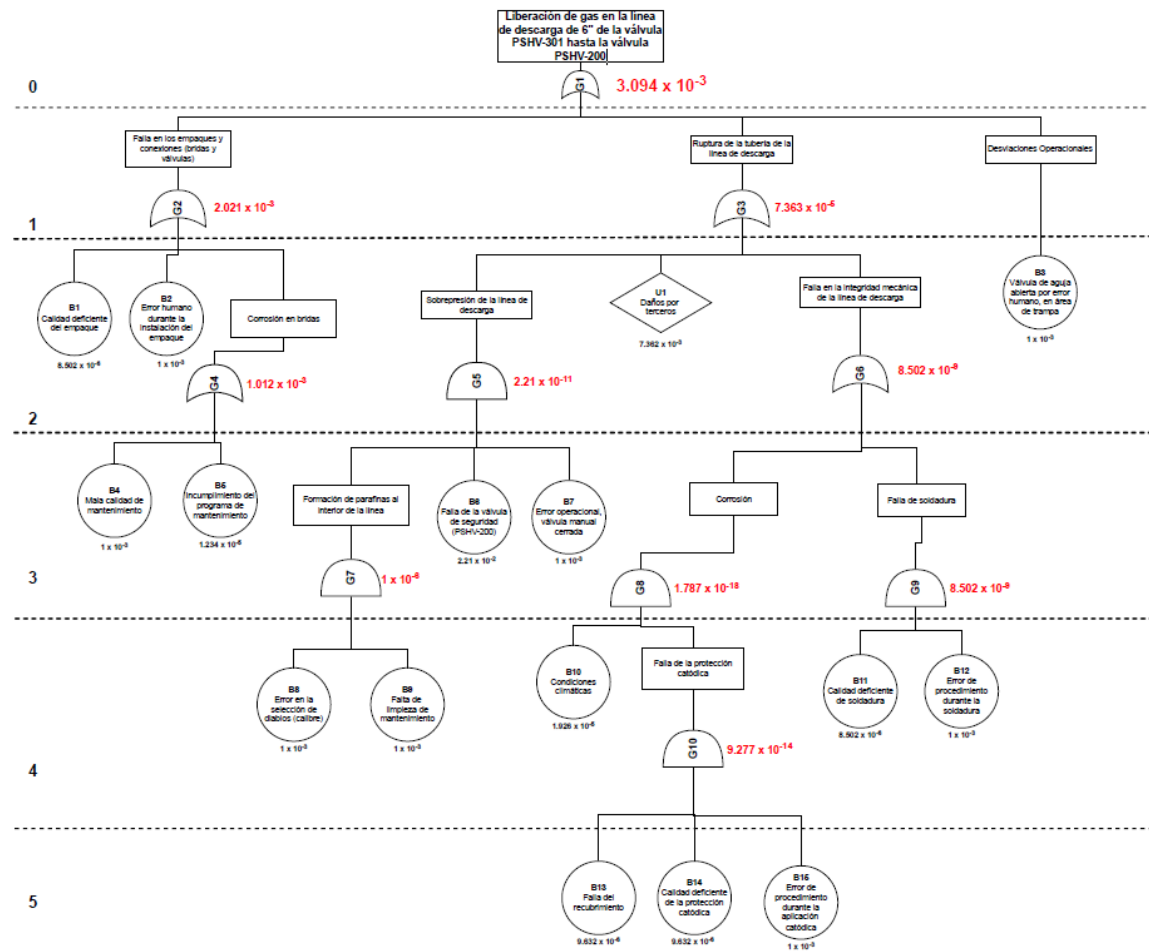


Figura 5.5 Evento Tope 2: Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200

El evento tope del FTA puede ser expresado con funciones booleanas de los eventos básicos. Los eventos básicos o fallas del árbol se muestran en la Tabla 5.30, y las ecuaciones booleanas para cada puerta en el árbol de fallas se muestran en la Tabla 5.31.

Tabla 5.30 Eventos básicos identificados en el árbol "Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200"

Rama	Evento Base	ID
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.		

Fuente: ERM, 2022.

Tabla 5.31 Funciones booleanas para el árbol "Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200"

Rama	Puerta	Función Booleana	Probabilidad de la puerta
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.			

Fuente: ERM, 2022.

Como se puede observar en la Tabla 5.31Tabla 5.28, la probabilidad total estimada para la puerta G1 que representa **la probabilidad de ocurrencia estimada para el evento tope 2** "Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200" es igual a **3.094×10^{-3}** para un tiempo operacional de un año.

Al desarrollar la función booleana del árbol, se pueden identificar los conjuntos de corte mínimo (CCM), que son eventos o series de eventos cuya existencia conjunta iniciará el evento superior del árbol. En la Tabla 5.32, se presentan los conjuntos de corte mínimo asociados con probabilidades mayores al orden **1×10^{-6}** ⁽⁹⁾ que conducen al evento tope "Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200".

Tabla 5.32 Conjuntos de Corte Mínimo Evento Tope 2

Conjuntos de corte mínimo	Probabilidad
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Fuente: ERM, 2022.

Como se puede apreciar en la Tabla 5.32, el conjunto de corte mínimo con la mayor probabilidad de conducir por sí solo al evento tope es el relacionado con un error humano al dejar válvulas manuales abiertas con una probabilidad de **1×10^{-3}**

Evento Tope 3: Ruptura catastrófica del separador SHT-300

Para el desarrollo del árbol de fallas (FTA, por sus siglas en inglés) de las operaciones de los pozos, el evento tope seleccionado fue: *Ruptura catastrófica del separador SHT-300*, con las probabilidades asignadas para cada evento base y el cálculo de las probabilidades para cada puerta se presenta en la Figura 5.6.

Para mayor detalle, consultar el **Anexo 7**.

⁹ Regulación para el Control de Accidents Mayores (COMAH) de Reino Unido - ALARP Demonstration Requirements (https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/#ALARP-Demonstration-Requirements)

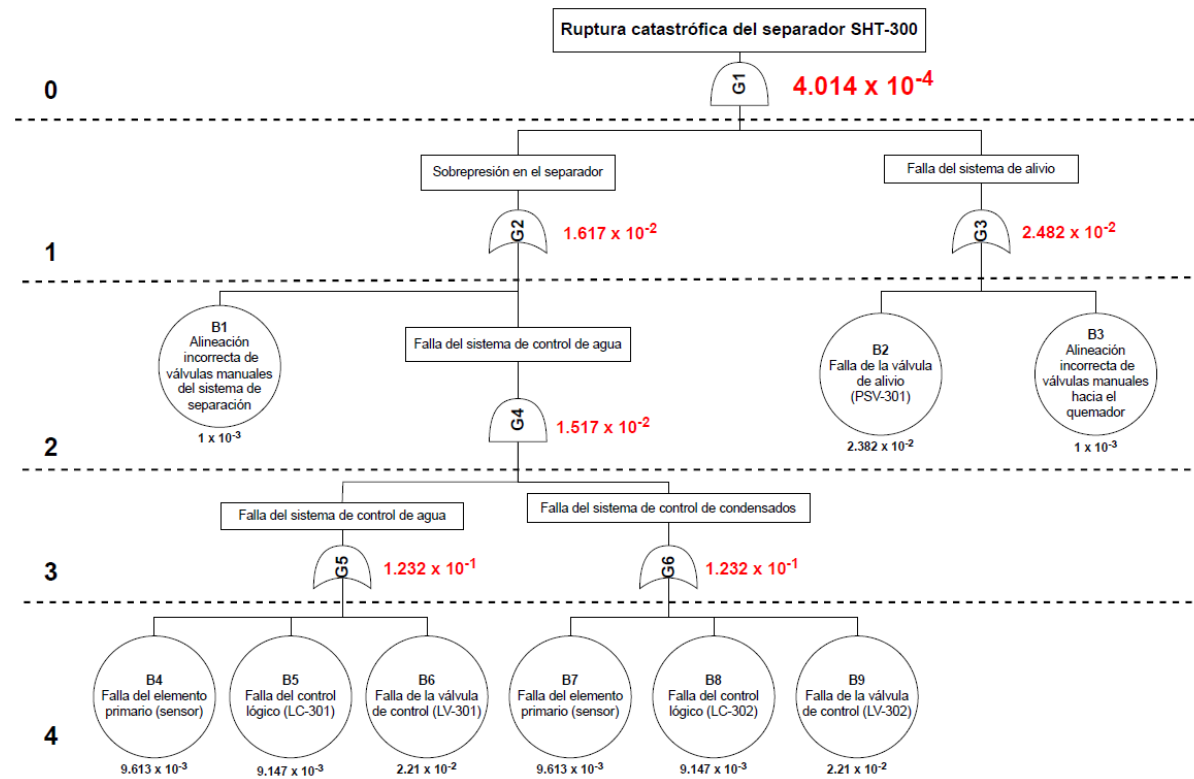


Figura 5.6 Evento Tope 3: Ruptura catastrófica del separador SHT-300

El evento tope del FTA pudo ser expresado con funciones booleanas de los eventos básicos. Los eventos básicos o fallas del árbol se muestran en la Tabla 5.33, y las ecuaciones booleanas para cada puerta en el árbol de fallas se muestran en la Tabla 5.34.

Tabla 5.33 Eventos básicos identificados en el árbol "Ruptura catastrófica del separador SHT-300"

Rama	Evento Base	ID
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.		

Fuente: ERM, 2022.

Tabla 5.34 Funciones booleanas para el árbol "Ruptura catastrófica del separador SHT-300"

Rama	Puerta	Función Booleana	Probabilidad de la puerta
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.			

Fuente: ERM, 2022.

Como se puede observar en la Tabla 5.34, la probabilidad total estimada para la puerta G1 que representa la **probabilidad de ocurrencia estimada para el evento tope 3** "Ruptura catastrófica del separador SHT-300" es igual a **4.014×10^{-4}** para un tiempo operacional de un año.

Al desarrollar la función booleana del árbol, se pueden identificar los conjuntos de corte mínimo (CCM), que son eventos o series de eventos cuya existencia conjunta iniciará el evento superior del árbol. En la Tabla 5.35, se presentan los conjuntos de corte mínimo asociados con probabilidades mayores al orden **1×10^{-6}** ⁽¹⁰⁾ que conducen al evento tope "Ruptura catastrófica del separador SHT-300".

¹⁰ Regulación para el Control de Accidents Mayores (COMAH) de Reino Unido - ALARP Demonstration Requirements (https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/#ALARP-Demonstration-Requirements)

Tabla 5.35 Conjuntos de Corte Mínimo Evento Tope 3

Conjuntos de corte mínimo	Probabilidad
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Fuente: ERM, 2022.

Como se puede apreciar en la Tabla 5.35, el conjunto de corte mínimo con la mayor probabilidad de conducir por sí solo al evento tope es el relacionado al error humano al alinear de manera incorrecta de válvulas manuales del sistema de separación con una probabilidad de 1×10^{-3}

Evento Tope 4: Liberación de gas en el área de medición desde la válvula de corte a la entrada (XV-101) a la válvula de corte a la salida (XV-102)

Para el desarrollo del árbol de fallas (FTA, por sus siglas en inglés) de las operaciones de los pozos, el evento tope seleccionado fue: *Liberación de gas en el área de medición desde la válvula de corte a la entrada (XV-101) a la válvula de corte a la salida (XV-102)*, con las probabilidades asignadas para cada evento base y el cálculo de las probabilidades para cada puerta se presenta en la Figura 5.7.

Para mayor detalle, consultar el **Anexo 7**.

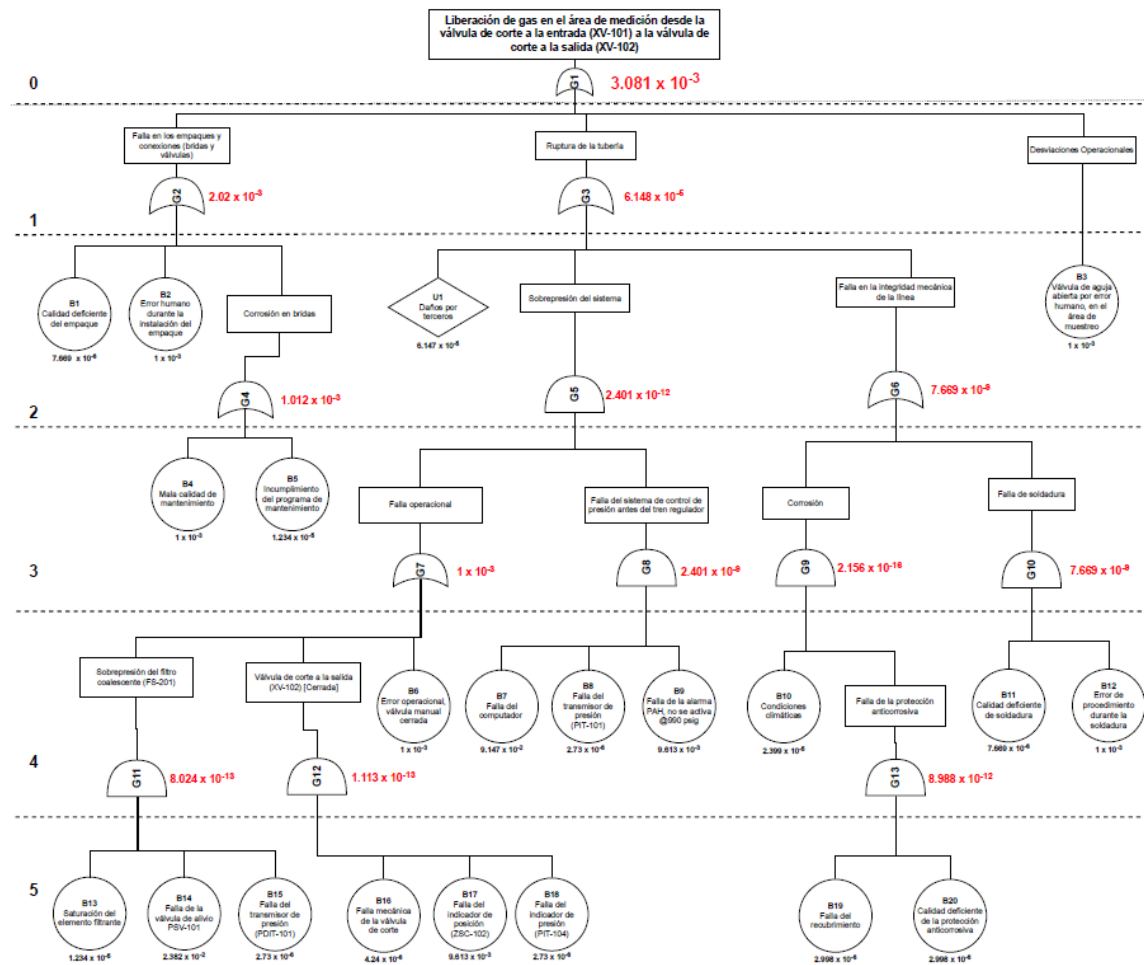


Figura 5.7 Evento Topo 4: Liberación de gas en el área de medición desde la válvula de corte a la entrada (XV-101) a la válvula de corte a la salida (XV-102)

El evento tope del FTA puede ser expresado con funciones booleanas de los eventos básicos. Los eventos básicos o fallas del árbol se muestran en la Tabla 5.36, y las ecuaciones booleanas para cada puerta en el árbol de fallas se muestran en la Tabla 5.37.

Tabla 5.36 Eventos básicos identificados en el árbol "Liberación de gas en el área de medición desde la válvula de corte a la entrada (XV-101) a la válvula de corte a la salida (XV-102)"

Rama	Evento Base	ID
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.		

Fuente: ERM, 2022.

Tabla 5.37 Funciones booleanas para el árbol "Liberación de gas en el área de medición desde la válvula de corte a la entrada (XV-101) a la válvula de corte a la salida (XV-102)"

Rama	Puerta	Función Booleana	Probabilidad de la puerta
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.			

Rama	Puerta	Función Booleana	Probabilidad de la puerta
------	--------	------------------	---------------------------

Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.

Fuente: ERM, 2022.

Como se puede observar en la Tabla 5.37, la probabilidad total estimada para la puerta G1 que representa la **probabilidad de ocurrencia estimada para el evento tope 4** "Liberación de gas en el área de medición desde la válvula de corte a la entrada (XV-101) a la válvula de corte a la salida (XV-102)" es igual a **3.081×10^{-3}** para un tiempo operacional de un año.

Al desarrollar la función booleana del árbol, se pueden identificar los conjuntos de corte mínimo (CCM), que son eventos o series de eventos cuya existencia conjunta iniciará el evento superior del árbol. En la Tabla 5.38, se presentan los conjuntos de corte mínimo asociados con probabilidades mayores al orden **1×10^{-6}** ⁽¹¹⁾ que conducen al evento tope "Liberación de gas en el área de medición desde la válvula de corte a la entrada (XV-101) a la válvula de corte a la salida (XV-102)".

Tabla 5.38 Conjuntos de Corte Mínimo Evento Tope 4

Conjuntos de corte mínimo	Probabilidad
---------------------------	--------------

Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.

Fuente: ERM, 2022.

Como se puede apreciar en la Tabla 5.38Tabla 5.32, el conjunto de corte mínimo con la mayor probabilidad de conducir por sí solo al evento tope es el relacionado con un error humano al dejar válvulas manuales abiertas con una probabilidad de **1×10^{-3}**

¹¹ Regulación para el Control de Accidents Mayores (COMAH) de Reino Unido - ALARP Demonstration Requirements (https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/#ALARP-Demonstration-Requirements)

5.2.1.4 *Análisis de Resultados de Frecuencias*

Para concluir, en la Tabla 5.39, se presentan las probabilidades de falla para cada "Evento de Tope" junto con su interpretación.

Tabla 5.39 Resumen de probabilidades para cada “Evento Tope”

Evento Tope	Probabilidad	Interpretación de resultados
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.		

<i>Evento Tope</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Interpretación de resultados</i>
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.		

Fuente: ERM, 2022.

5.2.2 Análisis de Consecuencias

El análisis de consecuencias consiste en relacionar las potenciales áreas de afectación resultantes de la modelación, con el objetivo de desarrollar los planes de respuesta para atención de emergencias de nivel interno y externo con los que cuenta la empresa, y su nivel de implementación existente.

5.2.2.1 Escenarios de modelación de consecuencias

En línea con la sección 5.1.3.1 y 5.1.3.2, se identificaron ocho (8) eventos de pérdida de contención (LOC) de sustancias peligrosas (ver Tabla 5.22), de los cuales se desprende el siguiente análisis:

- Los eventos LOC 1 y 2 corresponden a liberaciones menores de gas (fugas en empaques y conexiones; fugas por pérdida de integridad mecánica), por lo que no serán considerados para el análisis de consecuencias.
- El evento LOC 3 será considerado como un escenario de simulación de consecuencias por liberación de gas por daños a terceros, tomando como base del estudio el tramo más largo de tubería donde pudiera presentarse la liberación.
- Los escenarios LOC 4 y 5 corresponden a liberaciones directas de gas a la atmósfera por razones diferentes a la ruptura de tubería, por lo que serán agrupados en un solo escenario de simulación.
- Los eventos LOC 6 y 7 corresponden a un escenario de sobrepresión de equipos, que lleva a una potencial ruptura catastrófica, por lo que serán agrupados en un solo escenario de simulación, tomando como base de estudio el equipo identificado con mayor vulnerabilidad debido a su ubicación en el flujo de proceso y a sus capas de protección (separador SHT-300 con una sola PSV).
- El evento LOC 8 se refiere al derrame de agua con condensado que puede representar un impacto ambiental, sin embargo, no se considera factible que se genere una atmósfera inflamable en este escenario, por lo que no se considera para la simulación de consecuencias.

Es importante resaltar que este reporte no considera las modelaciones de liberación en los pozos por las siguientes razones:

- De acuerdo con la identificación de peligros y jerarquización de riesgos, este peligro es considerado como tolerable
- El equipo evaluador considera que el diseño del sistema y las salvaguardas preventivas en los árboles de válvulas de los pozos contendrán eficientemente cualquier fuga crítica, habiendo posibilidad de presentarse únicamente fugas mínimas.

Debido a que no hay presencia de H₂S en la composición del gas como se puede observar en la sección 3.2, los efectos por dispersión tóxica no se consideraron para el presente análisis de riesgos. Los escenarios de modelación se determinaron considerando los siguientes casos:

- a. El Caso Más Probable (CMP) considerando una fuga del 20% del diámetro de la tubería; y
- b. El Peor Caso (PC) considerando ruptura total en el caso de tanques y en caso de tuberías considerando una ruptura equivalente al 100% del diámetro¹².

Por lo tanto, a partir de los eventos LOC identificados y de las consideraciones explicadas en los párrafos anteriores, se generaron diez (10) escenarios de simulación de consecuencias, los cuales se detallan en la Tabla 5.40.

¹² Guía para la elaboración del Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos, sección 5.4.2.2. Publicada por ASEA en Julio 2020

Tabla 5.40 Escenarios de modelación identificados

No.	Nombre del Escenario	Descripción del Escenario	No. de Evento LOC	Tipo de evento
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.				

No.	Nombre del Escenario	Descripción del Escenario	No. de Evento LOC	Tipo de evento
-----	----------------------	---------------------------	-------------------	----------------

Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.

Fuente: ERM, 2022.

Nota 1: Debido al tamaño de tubería del escenario de simulación 3 (2") se consideró únicamente el Peor Caso de liberación (válvula totalmente abierta, 100% del diámetro) como escenario conservador a ser utilizado en la planeación de respuesta a emergencias.

Nota 2: Para el escenario de simulación 3 se escogió la fuga en la tubería de muestreo de 2" sobre la ruptura de manguera de 1" al generador, debido a que la presión de operación en el punto de muestreo es mayor (340 psi vs 100 psi) además de que la presencia de personal en este punto es más frecuente.

Consecuencias Potenciales

Debido a la inflamabilidad, reactividad o impacto al medio ambiente de las sustancias químicas peligrosas; debe tomarse en cuenta las siguientes consecuencias potenciales para la evaluación.

Efectos por Radiación Térmica

Si bien las sustancias tienen la capacidad de evaporarse, es determinante, el que todas posean una cantidad de energía diferente; que al ser liberada súbitamente como es el caso de las explosiones, se genera un impacto adverso muy significativo. Una medida de este poder energético destructivo es: el calor de combustión; es decir, la misma cantidad de masa de un alcohol y de un hidrocarburo en un escenario similar de mezcla explosiva liberarán diferente cantidad de energía; siendo el de mayor poder destructivo el del hidrocarburo por poseer mayor poder de combustión.

La consecuencia de un evento de Fuego es la generación de radiación térmica. La expresión radiación se refiere a la emisión continua de energía, en donde los portadores de esta energía son las ondas electromagnéticas producidas por las vibraciones de las partículas cargadas que forman parte de los átomos y moléculas de la materia.

La distribución de energía en el espectro de radiación térmica depende de la temperatura de la fuente que la emite. A temperaturas bajas (alrededor de 300°C) predomina la radiación infrarroja de longitudes de onda entre 800 y 4,000 nm aproximadamente, lo cual es invisible para el ojo humano. A temperaturas altas (más de 800°C) en el espectro aparecen longitudes de onda más cortas (400 – 800 nm) que corresponden a la parte visible y ultravioleta del espectro.

La generación de radiación térmica produce diferentes efectos dependiendo de su intensidad, la cual a su vez depende de variables como la geometría del fuego, el calor generado por la combustión, fracción emitida en forma de radiación y posición del receptor, entre otros. En la Tabla 5.41 y Tabla 5.42, se incluyen unos listados asociados a los efectos de la radiación térmica y las intensidades de radiación máxima tolerable para daño y/ o deformación en diferentes materiales.

Tabla 5.41 Efectos debido a la Radiación Térmica

Radiación Térmica [kW/m ²]	Efectos	Umbral de dolor en humanos [s]
1.60	N.A.	No causa incomodidad en periodos prolongados.
1.74	N.A.	60
2.33	N.A.	40
2.90	N.A.	30
4.00	N.A.	Dolor a personas en los primeros 20 segundos, posibles quemaduras de segundo grado con ampollas.
4.73	N.A.	16
6.94	N.A.	9
9.46	N.A.	6
9.50	N.A.	Quemaduras de segundo grado después de 20 segundos.
11.67	N.A.	4
12.50	Energía mínima necesaria para encender madera por inducción en humo y derretir tubería de plástico.	N.A.
19.87	N.A.	2
25.00	Energía mínima necesaria para encender madera en un tiempo de exposición largo e indefinido.	N.A.

Radiación Térmica [kW/m ²]	Efectos	Umbral de dolor en humanos [s]
37.50	Suficiente para causar daño a equipos de proceso.	N.A.

Fuente: Chemical Process Quantitative Risk Analysis (2000), editado por CCPs (Center for Chemical Process Safety).

Nota: N.A.: No Aplica.

Tabla 5.42 Intensidades de radiación máxima tolerables en materiales

Material	Máxima radiación tolerable [kW/m ²]
Madera	10
Vidrio	30-300
Cemento pre-comprimido	40
Acero	40
Cemento	60
Hormigón	200
Pared de ladrillos	400

Fuente: Romano y cols, 1985.

Efectos por Ondas de Sobrepresión

Para que ocurra una explosión es necesario que la mezcla de sustancia química y aire se encuentren en una proporción denominado: *límites de explosividad*. Cuando esto no resulta, simplemente ocurre una deflagración (flamazo). En ambos casos puede llegar a presentarse un incendio que dependerá de la cantidad de la sustancia en estudio, presente en el escenario.

Cuando ocurre una explosión de una mezcla inflamable dentro de un espacio confinado, el proceso de combustión creará un incremento de presión en la envoltura del espacio debido a un calentamiento de la atmósfera. Si no se cuenta con una ventilación suficiente para liberar la presión, esta puede incrementarse y causar una falla en la envoltura (paredes, cristales, etc.). Para el cálculo de las zonas de afectación se estima una eficiencia de la explosión, es decir, la fracción de la energía disponible que es liberada como energía explosiva.

La energía restante se convierte en calor y luz. Generalmente la eficiencia se encuentra entre 1 y 5%. Para hacer un cálculo conservador se supone una eficiencia de 10%.

El proceso de combustión es tan rápido que los productos de la reacción no pueden ser venteados ocasionando la sobrepresión. Cuando este proceso ocurre en un espacio no confinado, los productos de la combustión se expanden libremente. Si la velocidad de reacción es lenta, la zona de reacción se mueve a una velocidad muy por debajo de la velocidad del sonido y no se presentan efectos de sobrepresión. Cuando la reacción es rápida de manera que la zona de reacción se mueve a una velocidad cercana a la del sonido, se producirá una onda de presión debido a que los gases no pueden moverse a una velocidad mayor a la del sonido. En la Tabla 5.43 y Tabla 5.44, se muestran los efectos por ondas de sobrepresión.

Tabla 5.43 Efectos por ondas de sobrepresión

Ondas de presión [Psi]	Daños
0.02	Ruido molesto (137 dB de frecuencia baja 10 a 15 Hz)

Ondas de presión [Psi]	Daños
0.03	Ruptura ocasional de ventanas grandes bajo carga/tensión
0.04	Ruido fuerte (143 dB), trueno sónico (<i>sonic boom</i>), ruptura de vidrio
0.10	Ruptura de ventanas pequeñas bajo carga/tensión
0.15	Presión típica para ruptura de vidrio
0.30	Distancia segura, probabilidad del 0.95 de no daño severo, límite de proyectiles, algún daño a techos de casas.
0.40	Daño estructural menor
0.5 - 1.0	Desintegración de ventanas grandes y pequeñas
0.70	Daño menor a estructuras residenciales
1.0	Demolición parcial de casas, se tornan inhabitables
1.0 2.0	Desintegración de asbesto corrugado, falla en sujeciones de paneles de acero, aluminio y/o madera residencial; abolladura de paneles
1.3	Marcos estructurales de acero en edificios sufre torsión leve
2.0	Colapso parcial de paredes y techos residenciales
2.0-3.0	Desintegración de paredes de concreto o bloques no reforzados
2.3	Límite inferior de daño estructural severo
2.5	Destrucción del 50% de la mampostería (ladrillo) residencial
3.0	Maquinaria pesada (3,000 lb) en edificios industriales presentan poco daño, edificios con estructura de acero son torcidos y separados de los cimientos
3.0 - 4.0	Ruptura de tanques de petróleo, demolición de construcciones de paneles de acero auto estructural
4.0	Ruptura del recubrimiento de las construcciones industriales
5.0	Soportes o refuerzos de madera colapsados; prensas hidráulicas (40,000 lb) ligeramente dañadas
5.0 - 7.0	Destrucción prácticamente total de residencias
7.0	Volcadura de carros de tren con carga
7.0 - 8.0	Fallo en bardas de ladrillos de 8 a 12 pulgadas no reforzadas por flexión
9.0	Destrucción completa de carros de tren (furgones)
10.0	Probable destrucción total de construcciones, maquinaria pesada (7,000) desplazadas y con daños severos. Supervivencia de maquinaria pesada (12,000 lb)
300.0	Límite para formación de cráteres

Fuente: Chemical Process Quantitative Risk Analysis (2000), editado por CCPs (Center for Chemical Process Safety).

Tabla 5.44 Efectos del impulso causado por ondas de sobrepresión

Sobrepresión [psi]	Velocidad de masa de aire desplazada [km/h]	Efectos en Estructuras	Efectos en Humanos
1	60.8	Ruptura de ventanas de vidrio	Heridas leves por fragmentos disparados
2	112.0	Daño moderado a vivienda (ventanas y puertas destruidas y daño severo en techos)	Heridas considerables por fragmentos disparados
3	163.2	Colapso de estructuras residenciales	Heridas severas por fragmentos disparados, puede ocurrir alguna fatalidad
5	260.8	Colapso de edificios	Heridas masivas internas, fatalidad de grupos susceptibles (niños y ancianos)
10	470.4	Daño severo o colapso de edificios de concreto reforzado	Muerte de la mayoría de las personas de grupos susceptibles y no susceptibles
20	803.2	Daño severo o colapso de edificios de estructura pesada con concreto reforzado	Fatalidades al 100%

Fuente: Development of Uniform Harm Criteria for use in Quantitative Risk Analysis of the Hydrogen Infrastructure; LaChance J., et al. Sandia National Laboratories, USA.

Modelos de Simulación de Consecuencias

Los programas utilizados para los escenarios de simulación de consecuencias dependen del receptor que desee evaluarse; en este caso se utilizan los programas detallados en esta sección.

PHAST 8.11

Los datos obtenidos en la especificación de escenarios se alimentan al programa de simulación para calcular las zonas de afectación debido a dispersión de radiación térmica y ondas de sobrepresión, según aplique. Los modelos de simulación empleados son utilizados por la Herramienta de Software de Análisis de Riesgos de Procesos (PHAST, por sus siglas en inglés).

Los radios de afectación se determinarán utilizando el software PHAST 8.11 desarrollado por DNV GL, el cual tiene la capacidad de ejecutar cálculos para el análisis de peligros en tres etapas:

1. Cálculos de descarga por una liberación de fluidos de un tanque o tubería.
2. Cálculos de dispersión, en donde se realiza la simulación del comportamiento del material liberado (por ejemplo, una nube o un charco).
3. Cálculos de los efectos de la liberación del material, se refiere a la predicción y modelación de potenciales consecuencias (por ejemplo, fuego o explosión).

Los resultados que este software proporciona pueden ser usados para lo siguiente:

- Estimar la magnitud de consecuencias
- Revisión de sitio, arreglos generales y diseño
- Determinar efectos de modificaciones

- Planes de emergencia
- Cumplir con requerimientos regulatorios
- Estimar y negociar seguros
- Promover conciencia de seguridad
- Dar la pauta para comenzar un QRA (Análisis cuantitativo de riesgo, por sus siglas en inglés)

Modelación de escenarios de descarga

Estimación de inventario de masa/ volumen

El modelo requiere especificar la cantidad total de material disponible para la liberación y puede hacerse indicando la masa o el volumen. A continuación se describe la ecuación utilizada para tal propósito:

Ecuación 1

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

Donde:

- V: Volumen total disponible para la liberación
- r: Radio del diámetro interno de la tubería
- h: longitud de la tubería (profundidad de columna de agua)

Tasas de descarga

El flujo del compuesto que comienza a fugar está dado con base de las propiedades del compuesto (densidad), el orificio por donde se produce la fuga, y el tiempo de descarga; esto con la siguiente ecuación:

Ecuación 2

$$F_M = \rho \times F_V$$

Donde:

- FM: Flujo másico del compuesto
- ρ : Densidad del compuesto
- FV: Flujo volumétrico del compuesto

Tasas de descarga a través de un orificio

El flujo de masa a través de un orificio depende del diámetro de ruptura, y la descarga se puede describir a través del balance de energía mecánica representado en la Ecuación 3)¹³.

En dicha ecuación, se describe el flujo de masa al momento de la salida del fluido a través del orificio, y se hace este independiente de la presión del sistema aguas abajo (presión atmosférica), es decir el flujo depende de la presión aguas arriba (presión del sistema), y velocidad sónica.

¹³ Methods for the calculation of physical effects – due to release of hazardous materials (liquids and gases) – "Yellow Book" CPR 14E. PP 2.68

La Ecuación 3 tiene las siguientes consideraciones:

1. Gas ideal
2. La presión de descarga es mayor a la presión atmosférica, y por tanto el flujo es sónico
3. El trabajo de flecha es nulo, es decir sin intercambio de energía
4. El coeficiente de descarga es igual a 0.6, el cual es recomendado por API (1996) como valor predeterminado para un flujo a través de un orificio circular
5. Se produce una expansión isotrópica del gas al pasar a través del orificio
6. El flujo a través del orificio es adiabático, por lo que no hay transferencia de calor

Ecuación 3

$$Fm = C_D * A * \psi \sqrt{\rho_0 * P_0 * k * \left(\frac{2}{k+1}\right)^{k+1/k-1}}$$

Donde:

- Fm es el flujo de masa del gas a través del orificio (masa/tiempo)
- C_D es el coeficiente de descarga (adimensional)
- A es el área de del orificio (distancia²)
- ψ es el coeficiente de salida, el cual es igual a 1 para fluidos críticos (adimensional)
- ρ_0 es la densidad del gas a la presión y temperatura de operación. La densidad del gas se calcula con base en la Ley de Gases ideales

Ecuación 4

$$\rho_0 = \frac{P_0 * PM}{RT_0}$$

Donde:

- P_0 es la presión del gas aguas abajo del orificio (fuerza/área)
- PM es el peso molecular del gas (masa/mol)
- R es la constante de los gases ideales (presión-volumen/mole-gradoss)
- T_0 es la temperatura del gas (grados)
- k es la relación entre calores específicos = C_p/C_v (adimensional)
- C_p es el calor específico del gas a presión constante
- C_v es el calor específico del gas a volumen constante

Modelación de escenarios de Fuego

Las variables para los eventos potenciales de fuego que puede haber en el Proyecto son las siguientes:

1. Tipo de hidrocarburo
2. Condiciones de liberación
3. Tasa de liberación
4. Geometría local

5. Ventilación

6. Acceso de aire

Modelo de dardo de fuego

PHAST define que la radiación recibida por un receptor expuesto a una flama es directamente proporcional al poder de emisión de la superficie (SEP, por sus siglas en inglés) y el factor geométrico del receptor (V). Mientras SEP puede ser definido por el usuario o calculado mediante el modelo de fuego, V es calculado por el modelo de exposición llamado EXPS, que es la base de todos los cálculos de radiación térmica de PHAST.

El dardo de fuego se modela como un tronco cónico que emite radiación desde la superficie con SEP uniforme. El modelo predice la flama y las longitudes del tronco, amplitud de la base y de la punta, el ángulo entre el tronco y los ejes de liberación, elevación del tronco del plano de liberación.

Un dardo de fuego se produce debido a la liberación a presión de un material inflamable líquido o gaseoso, el cual es expulsado al medio ambiente debido a una ruptura parcial o total del recipiente a presión que lo contiene. Si el fluido de escape encuentra inmediatamente un punto de ignición se produce un dardo de fuego o "jet fire". La zona donde tiene lugar la combustión está delimitada por el límite inferior de explosividad (LEL) y asemeja a una forma cónica. Los dardos de fuego están caracterizados por la intensa turbulencia de mezclado entre combustible-aire, lo que produce tasas de liberación de calor más altas que en los charcos de fuego.

Un modelo que ha sido propuesto en la literatura para dardos de fuego, es el modelo del quemador de Chamberlain (1987). El modelo está basado en una configuración geométrica cónica como se muestra en la Figura 5.8. Los componentes del modelo son (1) el diámetro efectivo de la fuente D_s , (2) la longitud de la flama en condiciones estables L_b , (3) la longitud de la flama en las condiciones correspondientes L , (4) el ángulo entre el eje del orificio y el de la flama α , (5) la distancia de despegue de la flama b , (6) la longitud del tronco R_L , (7) el ancho de la base del tronco W_1 , (8) el ancho de la parte superior del tronco W_2 , y (9) el área de la flama A .

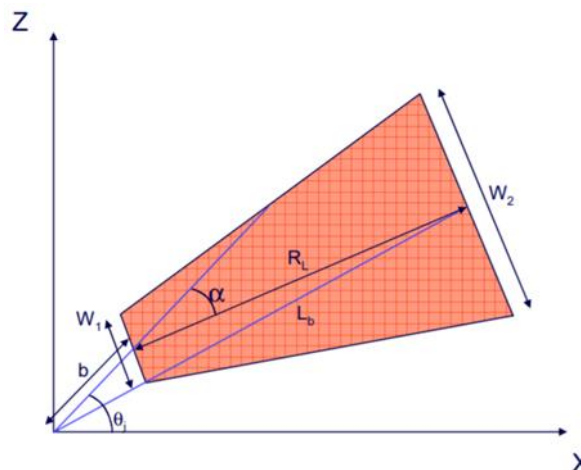


Figura 5.8 Modelo del quemador de Chamberlain

Fuente: Henk Witlox (2014). Overview of consequence modelling in the hazard assessment package PHAST.

Los parámetros que definen el modelo geométrico se determinan en función de la relación de velocidad $R = v/u_j$, donde u es la velocidad del gas (m/s), v es la velocidad del viento (m/s) y el sufijo j denota la expansión del jet.

El dardo de fuego se modela como un tronco cónico que emite radiación desde la superficie con SEP uniforme. El modelo predice la flama y las longitudes del tronco, amplitud de la base y de la punta, el ángulo entre el tronco y los ejes de liberación, elevación del tronco del plano de liberación.

Modelación de escenarios de Explosión Baker- Strehlow- Tang Model (BST).

DNV ha desarrollado un modelo para simular explosiones denominado Modelo de Explosiones de Regiones Obstruidas (OREM, por sus siglas en inglés), este incluye funciones para predecir efectos por explosiones de nubes de vapor mediante el método Baker- Strehlow- Tang (BST). OREM provee el análisis por sobrepresión, duración de la fase positiva y el impulso con base en un compendio de gráficas por una explosión de una nube de vapor ideal con una carga estequiométrica de la mezcla combustible- aire.

La metodología BST requiere la selección de la máxima velocidad de flama basada en la combinación de efectos de confinamiento, congestión y reactividad del combustible.

El confinamiento se refiere a superficies sólidas que previenen el movimiento de los gases no quemados y la frontera de la flama en una o más dimensiones. El grado de confinamiento se basa en las dimensiones disponibles para la expansión. El software PHAST clasifica el grado de confinamiento como en 3-D, 2.5-D y 2-D.

El grado 3-D se refiere a una expansión en tres dimensiones, por ejemplo, las áreas de proceso sin barreras horizontales sólidas, tanques y recipientes sin techo sólido. La geometría 2-D se refiere a una expansión de flama en dos dimensiones, caracterizada por superficies que previenen que la frontera de la flama se expanda en las tres dimensiones. El grado 2.5-D representa un intermedio entre el grado 3-D y el grado 2-D. El modelo 1-D que representa la expansión en una sola dirección, no se considera para el caso de explosiones de nubes de vapor. La Figura 5.9, ilustra los grados de confinamiento (CCPS, 2010).

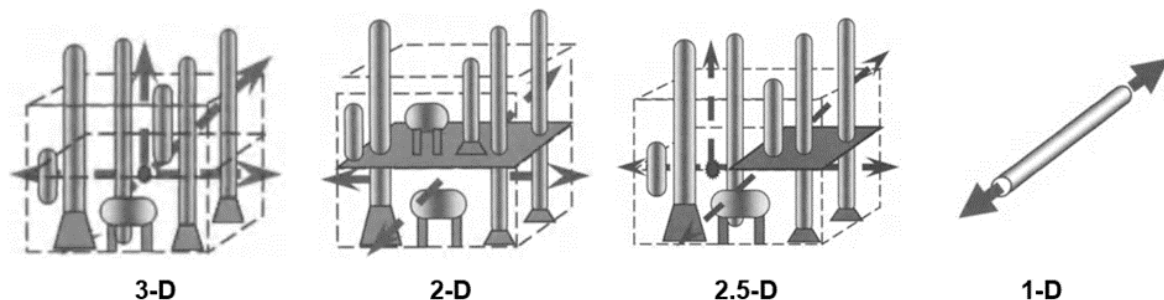


Figura 5.9 Geometrías de Expansión de Flama para Grado de Confinamiento

Fuente: Guidelines for vapor cloud explosions, pressure vessel burst, BLEVE and flash fire hazards. Segunda edición. CCPS. Wiley. Cap. 6. (2010).

La congestión se refiere a los obstáculos que obstruyen el paso de la frontera de la flama suficiente para crear turbulencia e incrementar la velocidad de flama sin prevenir una expansión. La congestión se clasifica como baja, media y alta como se describe a continuación:

- **Baja:** Relación de Área Bloqueada (ABR, por sus siglas en inglés) menor al 10% y un espaciado mayor o igual a 8D, donde D es el diámetro de los obstáculos. Como regla simple, si es fácil caminar a través de área relativamente sin impedimentos y hay solo una o dos capas de obstáculos, puede considerarse baja congestión.
- **Media:** ABR entre 10% y 40%, y un espaciado entre 4D y 8D. Cuando se camina por una zona de congestión media, es difícil hacerlo y a menudo requiere tomar un camino indirecto.
- **Alta:** ABR mayor al 40% y espaciado menor a 4D. No es posible caminar a través del área ya que el espacio es insuficiente para pasar a través de los obstáculos. Debe tomarse en cuenta que áreas con alta congestión resulta en altas turbulencias y por lo tanto mayores velocidades de flama y sobrepresiones.

La reactividad del material es el término usado para describir la capacidad de una flama de acelerarse en una Explosión de Vapor Confinado (VCE, por sus siglas en inglés) para un combustible dado. La reactividad se clasifica en baja, media y alta. Generalmente, una reactividad media de un solo componente tiene velocidades de quemado entre 45 y 75 cm/s. Reactividades baja y alta son usualmente menos de 45 y mayores de 75 cm/s respectivamente.

Cuando se trata de mezclas, se puede tomar un enfoque conservador, en el cual, si existe un componente con alta reactividad en una concentración de al menos 3%, la mezcla puede tratarse como alta reactividad. Otro enfoque propone que la velocidad de quemado de una mezcla que involucra combustibles con diferentes categorías de reactividad se puede calcular usando el principio de Le Chatelier¹⁴.

El número "Mach de Flama" lo define el usuario para antes y para después lo calcula BST usando la velocidad de flama de acuerdo con la Tabla 5.45, con base en detalles provistos por la región obstruida, por ejemplo, confinamiento, congestión y reactividad del material.

Tabla 5.45 Correlaciones BST de velocidad de flama (Mf)

Grado de Confinamiento	Reactividad del Material	Congestión		
		Bajo	Medio	Alto
2D	Alto	0.59	DDT ¹⁵	DDT
	Medio	0.47	0.66	1.6
	Bajo	0.07	0.47	0.66
2.5D	Alto	0.47	DDT	DDT
	Medio	0.29	0.55	1
	Bajo	0.053	0.35	0.5
3D	Alto	0.36	DDT	DDT
	Medio	0.11	0.44	0.5
	Bajo	0.026	0.23	0.34

Fuente: Theory. Obstructed Region Explosion Model, DNV GL, 2015.

Las predicciones de consecuencias se ejecutan a partir del volumen y masa inflamable y el centro de la fuente de explosión. El software requiere como dato de entrada principal la masa inflamable de la nube vaporizada en kilogramos. Para obtener la masa inflamable se realizan los siguientes cálculos:

1. Cálculo del volumen de la nube de vapor dentro de la región congestionada, con la siguiente ecuación:

Ecuación 5

$$V_{nube} = Ancho \times Largo \times Alto$$

2. Cálculo de la concentración estequiométrica de la relación combustible/aire de la mezcla, de la siguiente forma:
 - a. Balance estequiométrico de las ecuaciones químicas para la reacción de combustión de los componentes de la mezcla
 - b. Cálculo de la relación estequiométrica combustible/aire de cada componente (fi)

¹⁴ Guidelines for vapor cloud explosions, pressure vessel burst, BLEVE and flash fire hazards. Segunda edición. CCPS. Wiley. Cap. 6. (2010).

¹⁵ El número Mach para DDT es 5.2 para predicciones conservadoras

- c. Cálculo del flasheo para obtener las fracciones de los componentes de la mezcla (x_i)
- d. Cálculo de la fracción estequiométrica combustible/aire de la mezcla, sumando el resultado de multiplicar la fracción de cada componente, por la relación estequiométrica combustible/aire de cada componente, con la siguiente ecuación:

Ecuación 6

$$f_{mezcla} = \sum X_i f_i$$

3. Cálculo del volumen inflamable de nube vaporizada, multiplicando el volumen de la nube de vapor dentro de la región congestionada (obtenida del paso 1) por la fracción estequiométrica combustible/aire de la mezcla, con la siguiente ecuación:

Ecuación 7

$$V_{inflamable} = V_{nube} f_{mezcla}$$

4. Cálculo del peso molecular promedio de la mezcla sumando el resultado de multiplicar las fracciones de los componentes de la mezcla, con la siguiente ecuación:

Ecuación 8

$$\overline{PM} = \sum x_i PM_i$$

5. El cálculo de la masa inflamable, utilizando la siguiente ecuación derivada de la Ley de los Gases Ideales, tenemos lo siguiente:

Ecuación 9

$$m_{flammable} = \frac{P \times \overline{PM} \times V_{flammable}}{T \times R}$$

Donde:

- P= Presión (KPa)
- T= Temperatura (K)
- R= 8.3144 KPa m³ / Kmol K
- $\overline{PM}$ = Peso Molecular promedio (Kg/Kmol)
- $V_{inflamable}$ = Volumen inflamable (m³)

5.2.2.2 Criterios de zonas de afectación por Explosividad e Inflamabilidad

Con el fin de definir los radios potenciales de afectación, se utilizaron los criterios establecidos por la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA), los cuales se muestran en la Tabla 5.46.

Tabla 5.46 Criterios para la Especificación de Escenarios

Zonas a evaluar	Inflamabilidad (Radiación térmica)	Explosividad (Ondas de sobrepresión)
Zonas de Alto Riesgo por daño a equipos	Rango de 12.5 kW/m ² a 37.5 kW/m ²	Rango de 3 lb/plg ² a 10 lb/plg ²
Zona de Alto Riesgo	5 kW/m ²	1.0 lb/plg ²
Zona de Amortiguamiento	1.4 kW/m ²	0.5 lb/plg ²

Fuente: Guía Para la Elaboración del Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos, ASEA.

En este estudio, las consecuencias potenciales y los valores de referencia, de acuerdo con el caso que está siendo tratado y con los criterios establecidos por ASEA, estará considerado lo siguiente:

Impactos por la Radiación Térmica durante escenarios de Fuego

Los criterios de comparación de efectos por radiación térmica se muestran en la Tabla 5.47.

Tabla 5.47 Criterios de Comparación de Efectos por Intensidad de Radiación

Intensidad de Radiación (kW/m ²)	Efecto Observado
1.4	No causará incomodidad durante exposición prolongada.
5.0	Energía mínima requerida para la ignición pilotada de madera, fundición de tubería de plástico. Quemaduras de 2° grado en 20 segundos de exposición.
37.5	Suficiente para causar daño a equipos de proceso.

Fuente: Chemical Process Quantitative Risk Analysis (2000), editado por CCPS.

Impactos por las Ondas de Sobrepresión generadas durante una explosión de Nube de Vapor Confinada (VCE)

Los criterios de comparación de efectos por sobre presión se muestran en la Tabla 5.48.

Tabla 5.48 Criterios de Comparación de Efectos por Sobrepresión

Presión Máxima (lb/plg ²)	Daño producido por la explosión
0.50	La presión a la que se presenta ruptura del 10% de ventanas de vidrio y algunos daños a techos, con una probabilidad del 95% de que no ocurran daños serios.
1.0	Es la presión que puede causar destrucción parcial de casas y daños reparables a edificios, provocando el 1% de ruptura de tímpanos y el 1% de heridas serias por proyectiles.
10.0	Probable destrucción total de construcciones, desplazamiento de maquinaria pesada por efecto de la onda expansiva (peso de la máquina hasta de 7,000 lb) y con daños severos. Afectaciones menores a maquinaria pesada (12,000 lb).

Fuente: Chemical Process Quantitative Risk Analysis (2000), editado por CCPS.

5.2.2.3 Especificación de Criterios de Modelación de Escenarios de Fuego y Explosión

De acuerdo con los requerimientos de la ASEA, se realizará la modelación del Caso Más Probable (CMP) y el Peor Caso (PC).

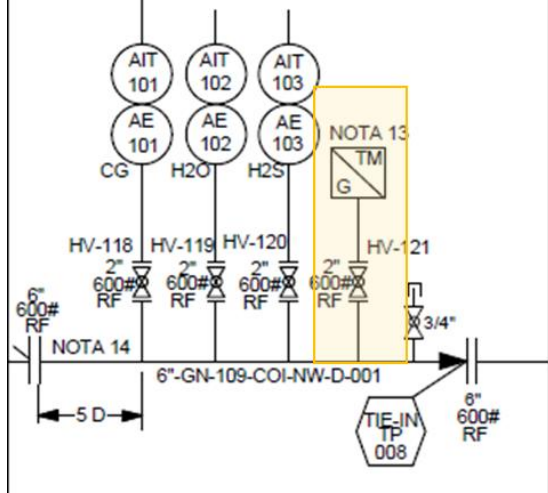
Se deben establecer criterios uniformes para la evaluación de las consecuencias; por tal motivo, en la Tabla 5.49, se colocan las suposiciones y los criterios usados para las modelaciones de fuego y explosión.

Tabla 5.49 Supuestos para las Especificaciones de los Criterios de Modelación

No.	Parámetro	Criterio	Consideraciones
1	Clima	Velocidad del viento: 1.5 m/s	Criterio especificado en la guía de ASEA para estudios de riesgo modalidad "Análisis de Riesgos para el Sector Hidrocarburos"
		Dirección del viento: Noroeste, aproximadamente 43° que provienen desde el Noreste	Estación de medición del aeropuerto de Reynosa.
		Estabilidad de Pasquill: F (muy estable)	Se consideró como el caso extremo la peor condición de estabilidad.
2	Condiciones ambientales	Temperatura ambiente: 20°C	Plan de desarrollo Municipal, Reynosa 2018
		Humedad relativa: 83%	
		Condiciones del terreno: Terreno plano	
		Radiación solar: 320 W/m ²	
3	Sustancia: Mezcla de Gas Campo Treviño	Composición de la mezcla en % volumen: Nitrógeno: 0.0063 Bióxido de Carbono: 0.0011 Metano: 0.9726 Etano: 0.0166 Propano 0.0016 Isobutano: 0.0005 n-Butano: 0.0004 n-Pentano: 0.0007 Hexano: 0.0002	Composición obtenida de acuerdo al Balance de Materia y Energía del Proyecto (ver Tabla 3.7)
		Relación entre calores específicos (Cp/Cv): k= 1.3	Relación de calores específicos reportada en Termodinámica (2006), Yunus A. Cengel (@ 1 bar y 25 °C), para el metano.

No.	Parámetro	Criterio	Consideraciones
4	Línea de descarga de gas de 6" desde válvula de corte a la salida del área de separación (PSHV 301) hasta la válvula de llegada en el área de deshidratación (PSHV 200).	Temperatura: 25.5°C	Obtenido del Balance de Materia y Energía del Proyecto en la línea de descarga de 6" (corriente # 13) Disponible en el Anexo 5
		Presión: 396 psi	
		Flujo másico de la fase vapor: 672.8 kg/h	
		PM = 16.5 g/mol	
		Longitud: 2 km	
		Diámetro: 6plg (0.1524 m) Diámetro considerando 20% de ruptura= 1.2 plg (0.03048 m) Área considerando 20% de ruptura = 0.00073 m ² Coeficiente de descarga = 0.81 ¹⁶	El diámetro en metros se obtiene de la siguiente forma: $1.2 \text{ in} * \frac{0.0254 \text{ m}}{\text{in}} = 0.03048 \text{ m}$ Por lo que el radio en metros es igual a $r = \frac{D}{2} = \frac{0.03048 \text{ m}}{2} = 0.01524 \text{ m}$ El área se calculó de la siguiente forma $A = \pi r^2$ $A = \pi * (0.01524 \text{ m})^2$ $A = 0.00073 \text{ m}^2$
		Tiempo de cierre de las válvulas PSHV: 60 segundos (CMP y PC)	Tiempo estimado con base en el tiempo que tarda el piloto en detectarla caída de presión.
5	Punto de muestreo en Área de Medición	Temperatura: 16.43°C	Obtenido del Balance de Materia y Energía del Proyecto (corriente # 28) Disponible en el Anexo 5
		Presión: 337 psi	
		Flujo másico: 660 kg/h	La emisión de los gases se considerará totalmente vertical debido a las condiciones del lugar. El modelo no considera los obstáculos dentro del área (maquinaria, contenedores, etc.), dadas las condiciones del software.

¹⁶ Con base en la fuente bibliográfica AICHE, "Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases", New York, 1999, Pág. 27: Para propósitos de modelación para casos en donde el escenario se trate de una tubería corta con una relación longitud/ diámetro no menor a 3, el coeficiente de descarga será de 0.81.

No.	Parámetro	Criterio	Consideraciones
		Diámetro: 2" (0.0508 m)	Diámetro de punto de muestreo en Área de Medición (obtenido del DTI del Área de Medición A-401, Disponible en el Anexo 2) 
		Tiempo de cierre de las válvulas de corte XV: 60 segundos (PC)	Tiempo estimado con base en el tiempo que tarda el piloto en detectarla caída de presión.
6	Separador SHT-300	Temperatura: 16 °C	Información proporcionada durante la sesión HAZOP (ver Tabla 5.14)
		Presión de diseño: 1440 psi	
		Diámetro = 30 plg; Longitud = 10 ft	
		Diámetro considerando 20% de ruptura= 6 plg (0.1524m)	El diámetro en metros se obtiene de la siguiente forma: $6 \text{ in} * \frac{0.0254 \text{ m}}{\text{in}} = 0.1524 \text{ m}$

No.	Parámetro	Criterio	Consideraciones
		Área considerando 20% de ruptura = 0.0182 m² Coeficiente de descarga = 0.81¹⁷	Por lo que el radio en metros es igual a $r = \frac{D}{2} = \frac{0.1524 \text{ m}}{2} = 0.0762 \text{ m}$ El área se calculó de la siguiente forma $A = \pi r^2$ $A = \pi * (0.0762 \text{ m})^2$ $A = 0.0182 \text{ m}^2$
7	Parámetros de explosión PHAST	Grado de confinamiento: 3-D Reactividad de la mezcla de gases: Media Congestión: Baja	Se selecciona un grado de confinamiento 3-D debido a que no hay barreras que impidan que la nube se desplace en las tres dimensiones (ver Figura 5.9) Tomando como referencia el Metano, cuya velocidad de flama se estima en 44.8 cm/s¹⁸ y de acuerdo con lo explicado en la sección de <i>Modelación de escenarios de explosión Baker – Strehlow – Tang Model (BST)</i> de este reporte, la reactividad del metano se estima como categoría media.

Fuente: ERM, 2022.

Notas:

CMP: Caso Más Probable; PC: Peor Caso

¹⁷ Con base en la fuente bibliográfica AICHE, "Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases", New York, 1999, Pág. 27: Para propósitos de modelación para casos en donde el escenario se trate de una tubería corta con una relación longitud/ diámetro no menor a 3, el coeficiente de descarga será de 0.81.

¹⁸ Referencia: *Guidelines for vapor cloud explosions, pressure vessel burst, BLEVE and flash fire hazards. Segunda edición. CCPS. Wiley. Pp. 202. (2010)*

5.2.2.4 Descripción de los Escenarios de Modelación

A continuación, se describen los datos de entrada al simulador para los escenarios de modelación planteados en la Tabla 5.40. Los datos de especificación de los escenarios de riesgo se pueden consultar en el **Anexo 8**.

Escenario 1. Fuga de Gas en la línea de descarga de 6". (CMP) - Radiación

Fuga de Gas en la línea de descarga de 6" que va desde la válvula de corte a la salida del área de separación (PSHV 301) hasta la válvula de corte a la llegada del área de deshidratación (PSHV 200). La ruptura ocurre por excavación de terceros, con un diámetro de fuga equivalente al 20% del diámetro de la tubería (1.2"). Se supone que la liberación de gas inflamable a la atmósfera encuentra un punto de ignición, provocando una llamarada de retroceso y consecuentemente un dardo de fuego. El flujo másico del gas en la tubería es de 672.8 kg/h (0.1868 kg/s), a una temperatura de 25.5°C y una presión de 396 psi. El gas se libera a presión y temperatura atmosférica.

En la Tabla 5.50, se presentan los cálculos realizados para determinar los parámetros de alimentación.

Tabla 5.50 Información de entrada Escenario 1 – Radiación

Parámetro	Datos de entrada
Flujo	0.1868 kg/s
Temperatura de salida del gas	20 °C
Diámetro de liberación	1.2 in
Modelo	Tubería larga (Long Pipe)

Fuente: ERM, 2022

Escenario 2. Fuga de Gas en la línea de descarga de 6". (CMP) – Sobrepresión

Fuga de Gas en la línea de descarga de 6" que va desde la válvula de corte a la salida del área de separación (PSHV 301) hasta la válvula de corte a la llegada del área de deshidratación (PSHV 200). La ruptura ocurre por excavación de terceros, con un diámetro de fuga equivalente al 20% del diámetro de la tubería (1.2"). Se supone un tiempo de cierre de emergencia mediante las válvulas de corte con una duración de 60 segundos. Debido a las condiciones de estabilidad atmosférica (muy estable), la nube de gas no se disipa y se acumula en el área, la cual encuentra un punto de ignición provocando una explosión. El flujo másico del gas en la tubería es de 672.8 kg/h (0.1868 kg/s), a una temperatura de 25.5°C y una presión de 396 psi. El gas se libera a presión y temperatura atmosférica.

Para determinar la masa inflamable se realizan los siguientes cálculos:

1. Para calcular el volumen de gas liberado se supone que se libera el volumen total de la tubería + el volumen fugado en 60 segundos que tardan las válvulas de corte en cerrar. El volumen contenido en la tubería se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$V_{tubería} = \pi * r^2 * l = \pi * (0.0762m)^2 * 2,000 m = 36.48 m^3$$

2. Para determinar el volumen fugado en 60 segundos, se utiliza el flujo másico calculado para una fuga de 1.2" del diámetro, el cual corresponde a 0.535 kg/s (ver Tabla 5.50) y la densidad calculada en el modelo de radiación, la cual es igual a 18.14 kg/m³.

$$F_v = \frac{F_m}{\rho} = \frac{0.535 \frac{kg}{s}}{18.14 \frac{kg}{m^3}} = 0.030 \frac{m^3}{s} * 60s = 1.8 m^3$$

Por lo tanto, el volumen total liberado es igual a:

$$V_{liberado} = V_{tubería} + F_v = 38.28 m^3$$

3. Para el cálculo de la concentración estequiométrica de la relación combustible/aire de la mezcla, se aplicaron los siguientes supuestos y cálculos:
 - a) El balance estequiométrico de las ecuaciones químicas para la reacción de combustión de los componentes de la mezcla se muestra en la Tabla 5.51.

Tabla 5.51 Balance estequiométrico de las reacciones químicas de combustión

Balance de ecuaciones químicas

1	CH ₄	+	2	O ₂	+	7.5	N ₂	→	1	CO ₂	+	2	H ₂ O	+	7.5	N ₂
1	C ₂ H ₆	+	3.5	O ₂	+	13.2	N ₂	=>	2	CO ₂	+	3	H ₂ O	+	13.2	N ₂
1	C ₃ H ₈	+	5	O ₂	+	18.8	N ₂	=>	3	CO ₂	+	4	H ₂ O	+	18.8	N ₂
1	C ₄ H ₁₀	+	6.5	O ₂	+	24.5	N ₂	=>	4	CO ₂	+	5	H ₂ O	+	24.5	N ₂
1	C ₅ H ₁₂	+	8	O ₂	+	30.1	N ₂	=>	5	CO ₂	+	6	H ₂ O	+	30.1	N ₂
1	C ₆ H ₁₄	+	9.5	O ₂	+	35.7	N ₂	=>	6	CO ₂	+	7	H ₂ O	+	35.7	N ₂

Fuente: ERM, 2022

- b) El cálculo de la relación estequiométrica combustible/aire de cada componente (fi) de la mezcla de gases se muestra en la Tabla 5.52.

Tabla 5.52 Relación estequiométrica de la mezcla de gases para una reacción de combustión

Combustible	Fórmula	#C	#H	PM (Peso Molecular)	Concentración Estequiométrica combustible/aire (figmolCombustible/gmolAire)
Metano	CH ₄	1	4	16.0	0.0950
Etano	C ₂ H ₆	2	6	30.1	0.0566
Propano	C ₃ H ₈	3	8	44.1	0.0403

i-Butano	C ₄ H ₁₀	4	10	58.1	0.0313
n-Butano	C ₄ H ₁₀	4	10	58.1	0.0313
i-Pentano	C ₅ H ₁₂	5	12	72.2	0.0256
n-Pentano	C ₅ H ₁₂	5	12	72.2	0.0256
n-Hexano	C ₆ H ₁₄	6	14	86.2	0.0216

Fuente: ERM, 2022

c) Las fracciones mol de los componentes del Gas Natural (xi) pueden consultarse en la Tabla 5.53.

Tabla 5.53 Fracciones molares del Gas Natural.

<i>Compuesto</i>	<i>Fracción mol del vapor de la mezcla de crudo (xi)</i>
Oxígeno	0.0000
Nitrógeno	0.0063
Bióxido de Carbono	0.0011
Metano	0.9726
Etano	0.0166
Propano	0.0016
Isobutano	0.0005
n-Butano	0.0004
Isopentano	0.0002
n-Pentano	0.0002
2-2 dimetil btano	0.0001
2 metil butano	0.0001
3 metil butano	0.0001
Hexano	0.0002

<i>Compuesto</i>	<i>Fracción mol del vapor de la mezcla de crudo (x_i)</i>
C7+	0
Total	1

Fuente: Anexo 5, 2021.

- d) Para el cálculo de la fracción estequiométrica combustible/aire de la mezcla; tomamos los %Mol de la fracción vapor del Gas Natural (Tabla 5.53); la concentración estequiométrica combustible/aire (Tabla 5.52) sustituimos en la Ecuación 6) y los resultados podemos verlos en la Tabla 5.54.

Tabla 5.54 Relación estequiométrica del Gas Natural para una reacción de combustión

<i>Compuesto</i>	<i>Fracción mol (x_i)</i>	<i>Concentración Estequiométrica combustible/aire (f_i)</i>	<i>Concentración Estequiométrica de cada compuesto en la mezcla ($\text{gmol}_{\text{Combustible}}/\text{gmol}_{\text{Aire}}$)</i>
Metano	0.9726	0.0950	0.092419
Etano	0.0166	0.0566	0.000940
Propano	0.0016	0.0403	0.000064
i-Butano	0.0005	0.0313	0.000016
n-Butano	0.0004	0.0313	0.000013
i-Pentano	0.0002	0.0256	0.000005
n-Pentano	0.0002	0.0256	0.000005
n-Hexano	0.0002	0.0216	0.000004
$\sum x_i f_i$			0.093

Fuente: ERM, 2021

4. Para el cálculo del volumen inflamable de nube de gases, tomamos la sumatoria de la concentración estequiométrica de cada compuesto en la mezcla, sustituimos en la Ecuación 7), y tenemos:

$$V_{\text{inflamable}} = 38.28 \text{ m}^3 \times 0.093 = 3.56 \text{ m}^3$$

5. Por otra parte, es necesario conocer el peso molecular promedio de la mezcla para calcular la masa inflamable; el cual es igual a 16.5 kg/kmol de acuerdo con el Balance de Materia y Energía del proyecto (ver Tabla 5.46)
6. Por último, para el cálculo de la masa inflamable, sustituimos el volumen del compuesto inflamable y el peso molecular del Gas Natural en la Ecuación 20) y tenemos:

$$m_{\text{inflamable}} = \frac{101.325 \text{ KPa} \times 16.5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \times 3.56 \text{ m}^3}{293.15 \text{ K} \times 8.3144 \frac{\text{KPa m}^3}{\text{Kmol K}}} = 2.44 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la masa inflamable que será consumida durante la explosión es de 2.44 kg .

En la Tabla 5.55, se resumen los datos de entrada que se consideraron para la modelación, con base en los argumentos anteriormente expuestos.

Tabla 5.55 Información de entrada Escenario 2 (CMP) - Sobrepresión

Parámetro	Entrada
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Escenario 3. Fuga de Gas en la línea de descarga de 6". (PC) - Radiación

Fuga de Gas en la línea de descarga de 6" que va desde la válvula de corte a la salida del área de separación (PSHV 301) hasta la válvula de corte a la llegada del área de deshidratación (PSHV 200). La ruptura ocurre por excavación de terceros, con un diámetro de fuga equivalente al 100% del diámetro de la tubería. Se supone que la liberación de gas inflamable a la atmósfera encuentra un punto de ignición, provocando una llamarada de retroceso y consecuentemente un dardo de fuego. El flujo másico del gas en la tubería es de 672.8 kg/h , a una temperatura de 25.5°C y una presión de 396 psi . El gas se libera a presión y temperatura atmosférica.

En la Tabla 5.56 se presentan los cálculos realizados para determinar los parámetros de alimentación.

Tabla 5.56 Información de entrada Escenario 3 (PC)– Radiación

Parámetro	Datos de entrada
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Escenario 4. Fuga de Gas en la línea de descarga de 6". (PC) - Sobrepresión

Fuga de Gas en la línea de descarga de 6" que va desde la válvula de corte a la salida del área de separación (PSHV 301) hasta la válvula de corte a la llegada del área de deshidratación (PSHV 200). La ruptura ocurre por excavación de terceros, con un diámetro de fuga equivalente al 100% del diámetro de la tubería. Se supone un tiempo de cierre de emergencia mediante las válvulas de corte con una duración de 60 segundos. Debido a las condiciones de estabilidad atmosférica (muy estable), la nube de gas no se disipa y se acumula en el área, la cual encuentra un punto de ignición provocando una explosión. El flujo másico del gas en la tubería es de 672.8 kg/h, a una temperatura de 25.5°C y una presión de 396 psi. El gas se libera a presión y temperatura atmosférica.

Para determinar la masa inflamable se realizan los siguientes cálculos:

1. Para calcular el volumen de gas liberado se supone que se libera el volumen total de la tubería + el volumen fugado en 60 segundos que tardan las válvulas de corte en cerrar. El volumen contenido en la tubería se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$V_{tubería} = \pi * r^2 * l = \pi * (0.0762m)^2 * 2,000 m = 36.48 m^3$$

2. Para determinar el volumen fugado en 60 segundos, se utiliza el flujo másico, el cual corresponde a 672.8 kg/h (0.1869 kg/s) y la densidad calculada en el escenario 1, la cual es igual a 18.14 kg/m³.

$$F_v = \frac{F_m}{\rho} = \frac{0.1869 \frac{kg}{s}}{18.14 \frac{kg}{m^3}} = 0.0103 \frac{m^3}{s} * 60s = 0.62 m^3$$

Por lo tanto, el volumen total liberado es igual a:

$$V_{liberado} = V_{tubería} + F_v = 37.11 m^3$$

3. Para el cálculo de la concentración estequiométrica de la relación combustible/aire de la mezcla, se aplicaron los siguientes supuestos y cálculos:
 - a) El balance estequiométrico de las ecuaciones químicas para la reacción de combustión de los componentes de la mezcla se muestra en la Tabla 5.51.
 - b) El cálculo de la relación estequiométrica combustible/aire de cada componente (fi) de la mezcla de gases se muestra en la Tabla 5.52.
 - c) Las fracciones mol de los componentes del Gas Natural (xi) pueden consultarse en la Tabla 5.53.
 - d) Para el cálculo de la fracción estequiométrica combustible/aire de la mezcla; tomamos los %Mol de la fracción vapor del Gas Natural (Tabla 5.53); la concentración estequiométrica combustible/aire (Tabla 5.52) sustituimos en la Ecuación 6) y los resultados podemos verlos en la Tabla 5.54
4. Para el cálculo del volumen inflamable de nube de gases, tomamos la sumatoria de la concentración estequiométrica de cada compuesto en la mezcla, sustituimos en la Ecuación 7), y tenemos:

$$V_{inflamable} = 37.11 m^3 \times 0.093 = 3.45 m^3$$

5. Por otra parte, es necesario conocer el peso molecular promedio de la mezcla para calcular la masa inflamable; el cual es igual a 16.5 kg/kmol de acuerdo con el Balance de Materia y Energía del proyecto (ver Tabla 5.46)

6. Por último, para el cálculo de la masa inflamable, sustituimos el volumen del compuesto inflamable y el peso molecular del Gas Natural en la Ecuación 20) y tenemos:

$$m_{\text{inflamable}} = \frac{101.325 \text{ KPa} \times 16.5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \times 3.45 \text{ m}^3}{293.15 \text{ K} \times 8.3144 \frac{\text{KPa m}^3}{\text{Kmol K}}} = 2.4 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la masa inflamable que será consumida durante la explosión es de 2.4 kg.

En la Tabla 5.57, se resumen los datos de entrada que se consideraron para la modelación, con base en los argumentos anteriormente expuestos.

Tabla 5.57 Información de entrada Escenario 4 (PC) - Sobrepresión

Parámetro	Entrada
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Escenario 5. Fuga de Gas en el área de medición. (PC) - Radiación

Fuga de Gas en el área de medición que ocurre por válvula de muestreo de calidad abierta de 2" de diámetro. Se supone que la liberación de gas inflamable a la atmósfera encuentra un punto de ignición, provocando una llamarada de retroceso y consecuentemente un dardo de fuego. El flujo másico del gas en el área de medición (antes de la válvula de regulación de presión) es de 660 kg/h, a una temperatura de 16.4°C y una presión de 337 psi. Se supone un tiempo de cierre de emergencia mediante las válvulas de corte con una duración de 60 segundos. El gas se libera a presión y temperatura atmosférica.

A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar el volumen fugado de la tubería:

- Primero, tenemos que el gas es transportado en la tubería a 337 psi (2,323.5 KPa) y una temperatura de aproximadamente 16.4°C (289.55 K), entonces, calculamos la densidad del gas a las condiciones de transporte dadas con la Ecuación 15):

$$\rho_0 = \frac{2,323.5 \text{ KPa} * 16.5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{8.3144 \frac{\text{KPa m}^3}{\text{Kmol K}} * 289.55 \text{ K}} = 15.92 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

- Para determinar el volumen fugado en 60 segundos, se utiliza el flujo másico, el cual corresponde a 660 kg/h (0.1833 kg/s) y la densidad calculada en el paso anterior, la cual es igual a 15.92 kg/m³.

$$F_v = \frac{F_m}{\rho} = \frac{0.1833 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{15.92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.011 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 60 \text{ s} = 0.66 \text{ m}^3$$

En la Tabla 5.58 se presentan los cálculos realizados para determinar los parámetros de alimentación.

Tabla 5.58 Información de entrada Escenario 5 (PC) – Radiación

Parámetro	Datos de entrada
-----------	------------------

Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.

Escenario 6. Fuga de Gas en el área de medición. (PC) - Sobrepresión

Fuga de Gas en el área de medición que ocurre por válvula de muestreo de calidad abierta de 2" de diámetro. Se supone que la liberación de gas inflamable a la atmósfera encuentra un punto de ignición, provocando una llamarada de retroceso y consecuentemente un dardo de fuego. El flujo másico del gas en el área de medición (antes de la válvula de regulación de presión) es de 660 kg/h, a una temperatura de 16.43°C y una presión de 337 psi. Se supone un tiempo de cierre de emergencia mediante las válvulas de corte con una duración de 60 segundos. Debido a las condiciones de estabilidad atmosférica (muy estable), la nube de gas no se disipa y se acumula en el área, la cual encuentra un punto de ignición provocando una explosión. El flujo másico del gas en el área de medición (antes de la válvula de regulación de presión) es de 660 kg/h, a una temperatura de 16.4°C y una presión de 337 psi. El gas se libera a presión y temperatura atmosférica.

Para determinar la masa inflamable se realizan los siguientes cálculos:

- Primero, tenemos que el gas es transportado en la tubería a 337 psi (2,323.5 KPa) y una temperatura de aproximadamente 16.4°C (289.55 K), entonces, calculamos la densidad del gas a las condiciones de transporte dadas con la Ecuación 15):

$$\rho_0 = \frac{2,323.5 \text{ KPa} * 16.5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{8.3144 \frac{\text{KPa m}^3}{\text{Kmol K}} * 289.55 \text{ K}} = 15.92 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

- Para determinar el volumen fugado en 60 segundos, se utiliza el flujo másico, el cual corresponde a 660 kg/h (0.1833 kg/s) y la densidad calculada en el paso anterior, la cual es igual a 15.92 kg/m³.

$$F_v = \frac{F_m}{\rho} = \frac{0.1833 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{15.92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.011 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 60 \text{ s} = 0.66 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el volumen total liberado es igual a 0.66 m³

- Para el cálculo de la concentración estequiométrica de la relación combustible/aire de la mezcla, se aplicaron los siguientes supuestos y cálculos:
 - El balance estequiométrico de las ecuaciones químicas para la reacción de combustión de los componentes de la mezcla se muestra en la Tabla 5.51.
 - El cálculo de la relación estequiométrica combustible/aire de cada componente (fi) de la mezcla de gases se muestra en la Tabla 5.52.
 - Las fracciones mol de los componentes del Gas Natural (xi) pueden consultarse en la Tabla 5.53.
 - Para el cálculo de la fracción estequiométrica combustible/aire de la mezcla; tomamos los %Mol de la fracción vapor del Gas Natural (Tabla 5.53); la concentración estequiométrica

combustible/aire (Tabla 5.52) sustituimos en la Ecuación 6) y los resultados podemos verlos en la Tabla 5.54.

- Para el cálculo del volumen inflamable de nube de gases, tomamos la sumatoria de la concentración estequiométrica de cada compuesto en la mezcla, sustituimos en la Ecuación 7), y tenemos:

$$V_{inflamable} = 0.66 \text{ m}^3 \times 0.093 = 0.061 \text{ m}^3$$

- Por otra parte, es necesario conocer el peso molecular promedio de la mezcla para calcular la masa inflamable; el cual es igual a 16.5 kg/kmol de acuerdo con el Balance de Materia y Energía del proyecto (ver Tabla 5.46)
- Por último, para el cálculo de la masa inflamable, sustituimos el volumen del compuesto inflamable y el peso molecular del Gas Natural en la Ecuación 20) y tenemos:

$$m_{inflamable} = \frac{101.325 \text{ KPa} \times 16.5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \times 0.061 \text{ m}^3}{293.15 \text{ K} \times 8.3144 \frac{\text{KPa m}^3}{\text{kmol K}}} = 0.042 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la masa inflamable que será consumida durante la explosión es de 0.042 kg.

En la Tabla 5.57, se resumen los datos de entrada que se consideraron para la modelación, con base en los argumentos anteriormente expuestos.

Tabla 5.59 Información de entrada Escenario 6 (P-) - Sobrepresión

Parámetro	Entrada
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAI y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Fuente: ERM, 2022.

Escenario 7. Fuga de Gas en el separador SHT-300. (CM-) - Radiación

Fuga de Gas en el Separador SHT-300 ubicado en el área de separación, que ocurre por una supresión sin posibilidad de aliviar presión mediante la PSV-301 debido a una válvula manual cerrada en la línea de desfogue. El aumento de sobrepresión provoca una ruptura equivalente al 20% del diámetro del tanque. Se supone que la liberación de gas inflamable a la atmósfera encuentra un punto de ignición, provocando una llamarada de retroceso y consecuentemente un dardo de fuego. Las dimensiones del separador son 30 in de diámetro x 10 ft de largo, con una presión máxima de trabajo de 1440 psi. El gas se libera a presión y temperatura atmosférica.

A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar el flujo de masa fugada por una ruptura equivalente al 20% del diámetro del separador:

- Primero, determinamos el volumen del separador, el cual tiene 15 in de radio (0.381 m) y 10 ft de largo (3.048 m), utilizando la siguiente ecuación:

$$V_{separador} = \pi * r^2 * l = \pi * (0.381 \text{ m})^2 * 3.048 \text{ m} = 1.39 \text{ m}^3$$

- Posteriormente, determinamos la densidad del gas a las condiciones de almacenamiento previo a la ruptura por sobrepresión, 1440 psi (9,928.45 KPa) y una temperatura de aproximadamente 16°C (289.15 K), mediante la Ecuación 4):

$$\rho_0 = \frac{9,928.45 \text{ KPa} * 16.5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{8.3144 \frac{\text{KPa m}^3}{\text{kmol K}} * 289.15 \text{ K}} = 68.14 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

- Para el cálculo del flujo másico fugado a través de una ruptura equivalente al 20% del diámetro del separador (6"), sustituimos las variables que se especificaron en la Tabla 5.49 en la Ecuación 3), y tenemos

$$F_m = 0.81 * 0.0182 \text{ m}^2 \sqrt{68.14 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 101325 \text{ Pa} * 1.3 * \left(\frac{2}{1.3 + 1}\right)^{1.3+1/1.3-1}}$$

$$F_m = 25.84 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

En la Tabla 5.60 se presentan los cálculos realizados para determinar los parámetros de alimentación.

Tabla 5.60 Información de entrada Escenario 7 (CMP) – Radiación

Parámetro	Datos de entrada
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Fuente: ERM, 2022

Escenario 8. Fuga de Gas en el separador SHT-300. (CM-) - Sobrepresión

Fuga de Gas en el Separador SHT-300 ubicado en el área de separación, que ocurre por una supresión sin posibilidad de aliviar presión mediante la PSV-301 debido a una válvula manual cerrada en la línea de desfogue. El aumento de sobrepresión provoca una ruptura equivalente al 100% del diámetro del tanque. Se supone un tiempo de cierre de emergencia mediante las válvulas de corte con una duración de 60 segundos. Debido a las condiciones de estabilidad atmosférica (muy estable), la nube de gas no se disipa y se acumula en el área, la cual encuentra un punto de ignición provocando una explosión. Las dimensiones del separador son 30 in de diámetro x 10 ft de largo, con una presión máxima de trabajo de 1440 psi. El gas se libera a presión y temperatura atmosférica.

Para determinar la masa inflamable se realizan los siguientes cálculos:

- Primero, determinamos la densidad del gas a las condiciones de almacenamiento previo a la ruptura por sobrepresión, 1440 psi (9,928.45 KPa) y una temperatura de aproximadamente 16°C (289.15 K), mediante la Ecuación 4):

$$\rho_0 = \frac{9,928.45 \text{ KPa} * 16.5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{8.3144 \frac{\text{KPa m}^3}{\text{kmol K}} * 289.15 \text{ K}} = 68.14 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

- Para determinar el volumen fugado en 60 segundos por medio de una ruptura equivalente al 20% del diámetro del separador, se utiliza el flujo másico calculado en el Escenario 7, el cual corresponde a 25.84 kg/s, y la densidad calculada en el paso anterior, la cual es igual a 68.14 kg/m³.

$$F_v = \frac{F_m}{\rho} = \frac{25.84 \frac{kg}{s}}{68.14 \frac{kg}{m^3}} = 0.38 \frac{m^3}{s} * 60s = 22.8 m^3$$

Por lo tanto, el volumen total liberado es igual a $22.8 m^3$

8. Para el cálculo de la concentración estequiométrica de la relación combustible/aire de la mezcla, se aplicaron los siguientes supuestos y cálculos:
 - e) El balance estequiométrico de las ecuaciones químicas para la reacción de combustión de los componentes de la mezcla se muestra en la Tabla 5.51.
 - f) El cálculo de la relación estequiométrica combustible/aire de cada componente (fi) de la mezcla de gases se muestra en la Tabla 5.52.
 - g) Las fracciones mol de los componentes del Gas Natural (xi) pueden consultarse en la Tabla 5.53.
 - h) Para el cálculo de la fracción estequiométrica combustible/aire de la mezcla; tomamos los %Mol de la fracción vapor del Gas Natural (Tabla 5.53); la concentración estequiométrica combustible/aire (Tabla 5.52) sustituimos en la Ecuación 6) y los resultados podemos verlos en la Tabla 5.54.
9. Para el cálculo del volumen inflamable de nube de gases, tomamos la sumatoria de la concentración estequiométrica de cada compuesto en la mezcla, sustituimos en la Ecuación 7), y tenemos:

$$V_{inflamable} = 22.8 m^3 \times 0.093 = 2.12 m^3$$

10. Por otra parte, es necesario conocer el peso molecular promedio de la mezcla para calcular la masa inflamable; el cual es igual a $16.5 kg/kmol$ de acuerdo con el Balance de Materia y Energía del proyecto (ver Tabla 5.46)
11. Por último, para el cálculo de la masa inflamable, sustituimos el volumen del compuesto inflamable y el peso molecular del Gas Natural en la Ecuación 20) y tenemos:

$$m_{inflamable} = \frac{101.325 KPa \times 16.5 \frac{kg}{kmol} \times 2.12 m^3}{293.15 K \times 8.3144 \frac{KPa m^3}{Kmol K}} = 1.45 kg$$

Por lo tanto, la masa inflamable que será consumida durante la explosión es de $0.042 kg$.

En la Tabla 5.57, se resumen los datos de entrada que se consideraron para la modelación, con base en los argumentos anteriormente expuestos.

Tabla 5.61 Información de entrada Escenario 8 (CM-) - Sobrepresión

Parámetro	Entrada
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Fuente: ERM, 2022.

Escenario 9. Fuga de Gas en el separador SHT-300. (P-) - Radiación

Fuga de Gas en el Separador SHT-300 ubicado en el área de separación, que ocurre por una supresión sin posibilidad de aliviar presión mediante la PSV-301 debido a una válvula manual cerrada en la línea de desfogue. El aumento de sobrepresión provoca una ruptura equivalente al 100% del diámetro del tanque. Se supone que la liberación de gas inflamable a la atmósfera encuentra un punto de ignición, provocando una llamarada de retroceso y consecuentemente un dardo de fuego. Las dimensiones del separador son 30 in de diámetro x 10 ft de largo, con una presión máxima de trabajo de 1440 psi. El gas se libera a presión y temperatura atmosférica.

A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar la masa fugada por una ruptura equivalente al 100% del diámetro del separador:

1. Primero, determinamos el volumen del separador, el cual tiene 15 in de radio (0.381 m) y 10 ft de largo (3.048 m), utilizando la siguiente ecuación:

$$V_{\text{separador}} = \pi * r^2 * l = \pi * (0.381\text{m})^2 * 3.048\text{ m} = 1.39\text{ m}^3$$

2. Posteriormente, determinamos la densidad del gas a las condiciones de almacenamiento previo a la ruptura por sobrepresión, 1440 psi (9,928.45 KPa) y una temperatura de aproximadamente 16°C (289.15 K), mediante la Ecuación 4):

$$\rho_0 = \frac{9,928.45\text{ KPa} * 16.5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{8.3144 \frac{\text{KPa m}^3}{\text{kmol K}} * 289.15\text{ K}} = 68.14 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

3. Por último, calculamos la masa de la siguiente manera:

$$m = \rho * V_{\text{separador}} = 68.14 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1.39\text{ m}^3 = 94.72\text{ kg}$$

En la Tabla 5.60 se presentan los cálculos realizados para determinar los parámetros de alimentación.

Tabla 5.62 Información de entrada Escenario 9 (PC) – Radiación

Parámetro	Datos de entrada
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.	

Fuente: ERM, 2022

Escenario 10. Fuga de Gas en el separador SHT-300. (P-) - Sobrepresión

Fuga de Gas en el Separador SHT-300 ubicado en el área de separación, que ocurre por una supresión sin posibilidad de aliviar presión mediante la PSV-301 debido a una válvula manual cerrada en la línea de desfogue. El aumento de sobrepresión provoca una ruptura equivalente al 100% del diámetro del tanque. Se supone que la liberación de gas inflamable a la atmósfera encuentra un punto de ignición, provocando una llamarada de retroceso y consecuentemente un dardo de fuego. Las dimensiones del separador son 30 in de diámetro x 10 ft de largo, con una presión máxima de trabajo de 1440 psi. El gas se libera a presión y temperatura atmosférica.

A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar la masa fugada del separador:

1. Primero, determinamos el volumen del separador, el cual tiene 15 in de radio (0.381 m) y 10 ft de largo (3.048 m), utilizando la siguiente ecuación:

$$V_{\text{separador}} = \pi * r^2 * l = \pi * (0.381m)^2 * 3.048 m = 1.39 m^3$$

2. Posteriormente, determinamos la densidad del gas a las condiciones de almacenamiento previo a la ruptura por sobrepresión, 1440 psi (9,928.45 KPa) y una temperatura de aproximadamente 16°C (289.15 K), mediante la Ecuación 4):

$$\rho_0 = \frac{9,928.45 \text{ KPa} * 16.5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{8.3144 \frac{\text{KPa m}^3}{\text{Kmol K}} * 289.15 \text{ K}} = 68.14 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

3. Para el cálculo de la concentración estequiométrica de la relación combustible/aire de la mezcla, se aplicaron los siguientes supuestos y cálculos:
 - a) El balance estequiométrico de las ecuaciones químicas para la reacción de combustión de los componentes de la mezcla se muestra en la Tabla 5.51.
 - b) El cálculo de la relación estequiométrica combustible/aire de cada componente (fi) de la mezcla de gases se muestra en la Tabla 5.52.
 - c) Las fracciones mol de los componentes del Gas Natural (xi) pueden consultarse en la Tabla 5.53.
 - d) Para el cálculo de la fracción estequiométrica combustible/aire de la mezcla; tomamos los %Mol de la fracción vapor del Gas Natural (Tabla 5.53); la concentración estequiométrica combustible/aire (Tabla 5.52) sustituimos en la Ecuación 6) y los resultados podemos verlos en la Tabla 5.54.
4. Para el cálculo del volumen inflamable de nube de gases, tomamos la sumatoria de la concentración estequiométrica de cada compuesto en la mezcla, sustituimos en la Ecuación 7), y tenemos:

$$V_{\text{inflamable}} = 1.39 m^3 \times 0.093 = 0.13 m^3$$

5. Por otra parte, es necesario conocer el peso molecular promedio de la mezcla para calcular la masa inflamable; el cual es igual a 16.5 kg/kmol de acuerdo con el Balance de Materia y Energía del proyecto (ver Tabla 5.46)
6. Por último, para el cálculo de la masa inflamable, sustituimos el volumen del compuesto inflamable y el peso molecular del Gas Natural en la Ecuación 20) y tenemos:

$$m_{\text{inflamable}} = \frac{101.325 \text{ KPa} \times 16.5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \times 0.13 m^3}{293.15 \text{ K} \times 8.3144 \frac{\text{KPa m}^3}{\text{Kmol K}}} = \text{kg}$$

Por lo tanto, la masa inflamable que será consumida durante la explosión es de 0.042 kg.

En la Tabla 5.57, se resumen los datos de entrada que se consideraron para la modelación, con base en los argumentos anteriormente expuestos.

Tabla 5.63 Información de entrada Escenario 10 (P-) - Sobrepresión

Parámetro	Entrada
-----------	---------

Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.

5.2.2.5 Resultados de las Modelaciones de Fuego y Explosión

Como resultado de la evaluación de consecuencias realizada para la determinación de zonas de daño a equipos, alto riesgo y amortiguamiento para los escenarios de modelación, se presentan los radios de las áreas de afectación causados por fugas de Gas en la Tabla 5.64.

Las hojas de resultados para los escenarios de simulación pueden encontrarse en el **Anexo 8**.

Tabla 5.64 Radios potenciales de afectación de Radiación Térmica y Ondas de Sobrepresión del Campo Treviño

No.	Descripción del escenario	Radios de afectación (m)					
		Radiación térmica			Ondas de sobrepresión		
		1.4 kW/m ² a)	5.0 kW/m ² b)	12.5 a 37.5 kW/m ² c)	0.5 psi a)	1.0 psi b)	3 a 10 psi c)
1	Fuga de Gas en la línea de descarga de 6". (CMP) - Radiación	Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.					
2	Fuga de Gas en la línea de descarga de 6". (CMP) - Sobrepresión						
3	Fuga de Gas en la línea de descarga de 6". (PC) - Radiación						
4	Fuga de Gas en la línea de descarga de 6". (PC) - Sobrepresión						
5	Fuga de Gas en el área de medición. (PC) - Radiación						
6	Fuga de Gas en el área de medición. (PC) - Sobrepresión						
7	Fuga de Gas en separador SHT-300. (CMP) - Radiación						
8	Fuga de Gas en separador SHT-300. (CMP) - Sobrepresión						
9	Fuga de Gas en separador SHT-300 por sobrepresión. (PC) – Radiación ^{Nota1}						
10	Fuga de Gas en separador SHT-300 por sobrepresión. (PC) - Sobrepresión						

Notas:

a) Zona de amortiguamiento;

b) Zona de alto riesgo;

c) Zona de alto riesgo por daño a equipos;

N/A No aplica para el escenario;

Nota ¹: De acuerdo con los resultados de simulación, en el escenario 9 se produce una Bola de fuego (Fireball) dadas las condiciones de liberación catastrófica. El Dardo de fuego (jet fire) no ocurre en este escenario. Los resultados de radiación presentados corresponden al evento de bola de fuego.

Los valores presentados para la zona de alto riesgo por daño a equipos son las distancias viento abajo de los máximos índices de radiación térmica y ondas de sobrepresión provenientes de los resultados obtenidos por el software, disponibles en el Anexo 8 Hojas de Resultados de Escenarios de Simulación.

6. REPRESENTACIÓN EN PLANOS DE LOS RADIOS POTENCIALES DE AFECTACIÓN

En esta sección, se presentan los radios de afectación para los Casos Máximos Probables (CMP), de los escenarios con las peores potenciales afectaciones al personal y/o las instalaciones que podrían desertarse dentro del Proyecto, la Figura 6.1 y la Figura 6.2.

Para el caso de los escenarios de los Peores Casos (PC) derivados de los Eventos de Pérdida de Contención (LOC, por sus siglas en inglés) analizados, para las operaciones del Proyecto, se pueden ver en la Figura 6.3 y la Figura 6.4.

Debe resaltarse, que, para el caso de los resultados obtenidos para los escenarios catastróficos, aunque la consecuencia de los mismo es mayor que la arrojada por los Casos Máximos Probables (CMP), la probabilidad de ocurrencia es muy baja, de acuerdo con la jerarquización realizada durante la identificación de peligros. Por lo cual, son únicamente de carácter ilustrativo para el presente estudio.

Los resultados mostrados en las figuras siguientes serán analizados en la sección 6.1. Por último, el informe completo de la cartografía con los radios potenciales afectación pueden encontrarse en el **Anexo 9**.

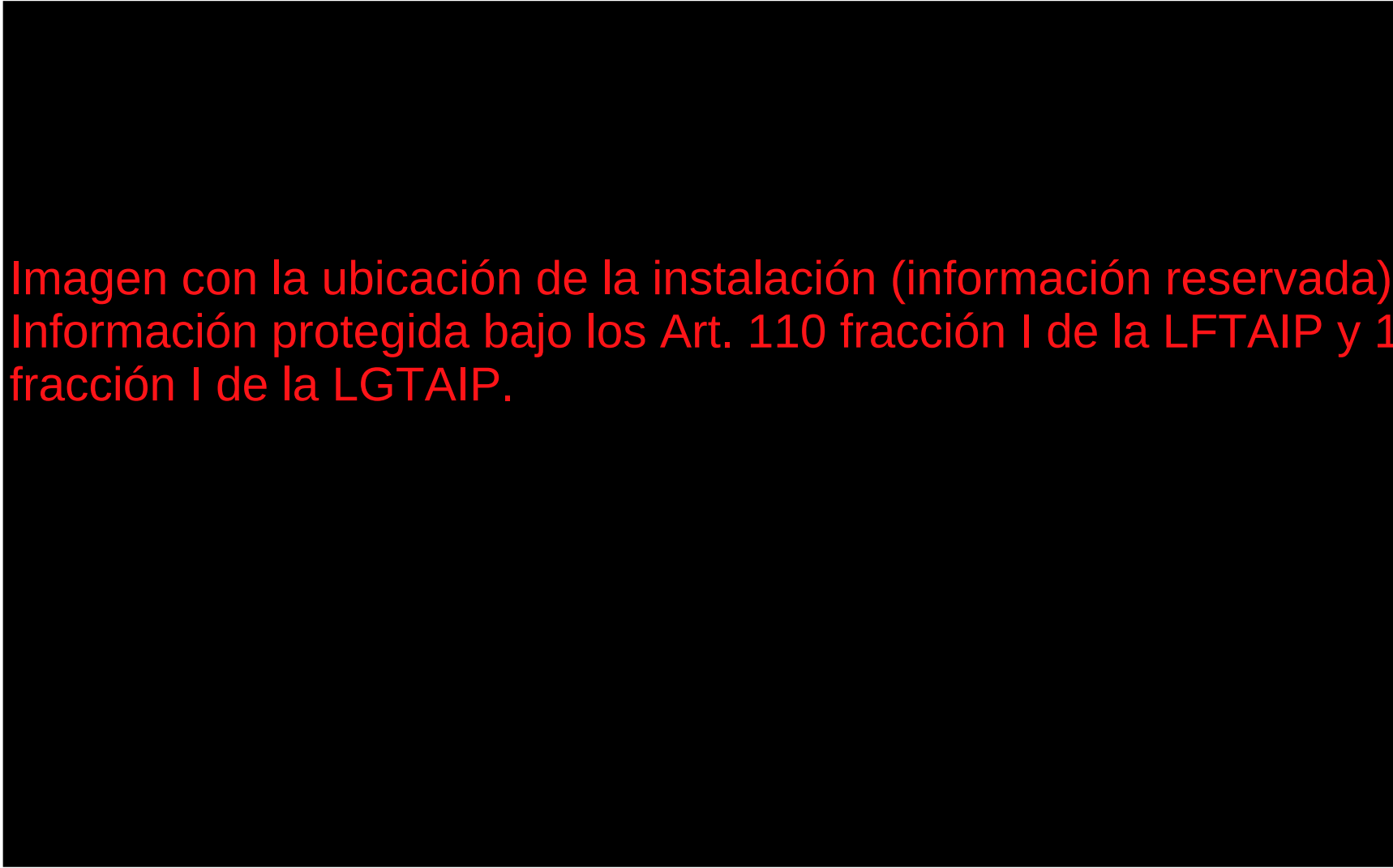


Imagen con la ubicación de la instalación (información reservada).
Información protegida bajo los Art. 110 fracción I de la LFTAIP y 113
fracción I de la LGTAIP.

Figura 6.1 Escenario 2 (CMP). Plano de afectación Fuga de Gas en la línea de descarga de 6" (Sobrepresión)

Fuente: ERM, 2022.

Imagen con la ubicación de la instalación (información reservada). Información protegida bajo los Art. 110 fracción I de la LFTAIP y 113 fracción I de la LGTAIP.

Figura 6.2 Escenario 7 (CMP). Plano de afectación Fuga de Gas en el separador SHT-300 (Radiación)

Fuente: ERM, 2022.

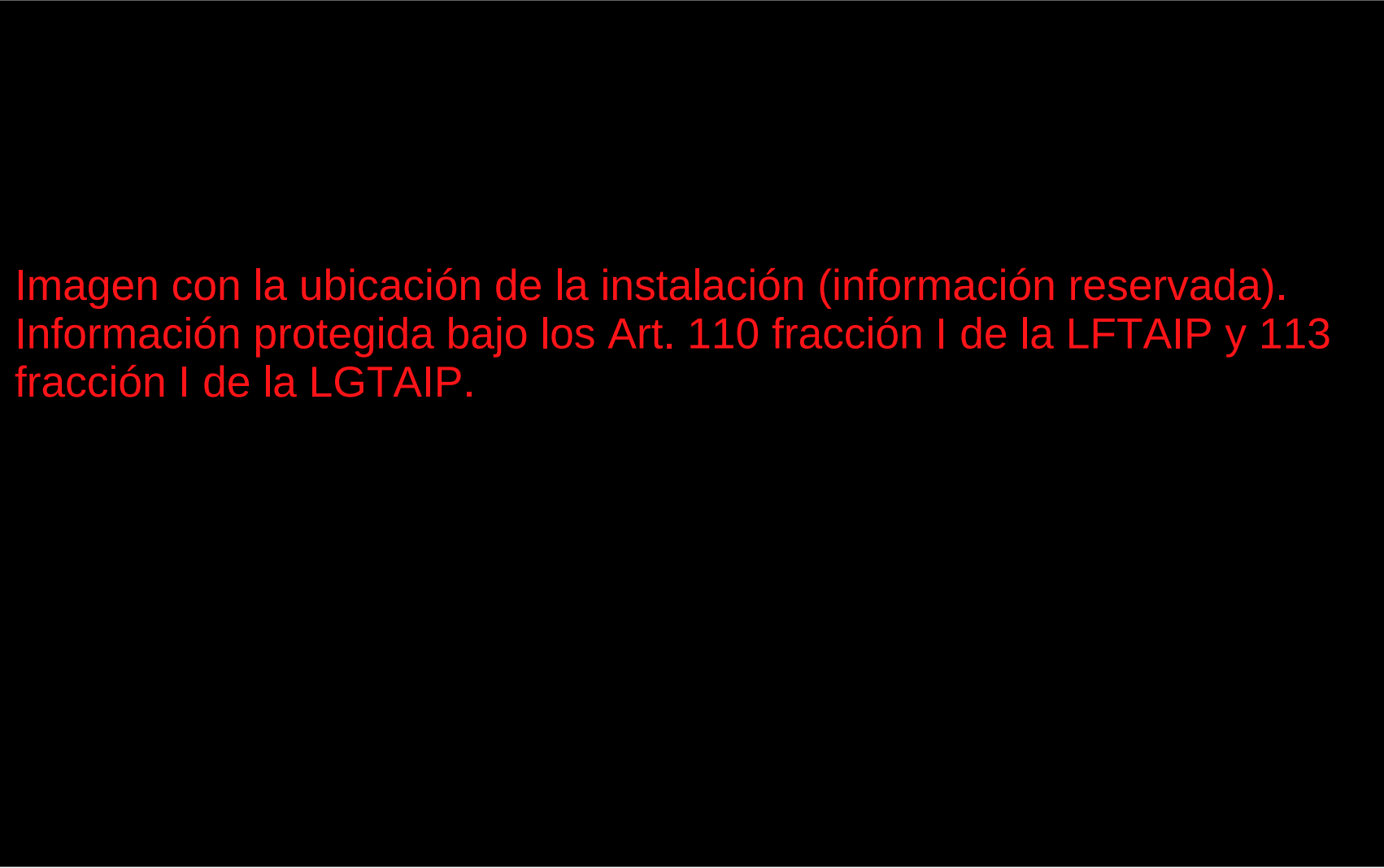


Imagen con la ubicación de la instalación (información reservada).
Información protegida bajo los Art. 110 fracción I de la LFTAIP y 113
fracción I de la LGTAIP.

Figura 6.3 Escenario 3 (PC). Plano de afectación Fuga de Gas en la línea de descarga de 6" (Radiación)

Fuente: ERM, 2022.

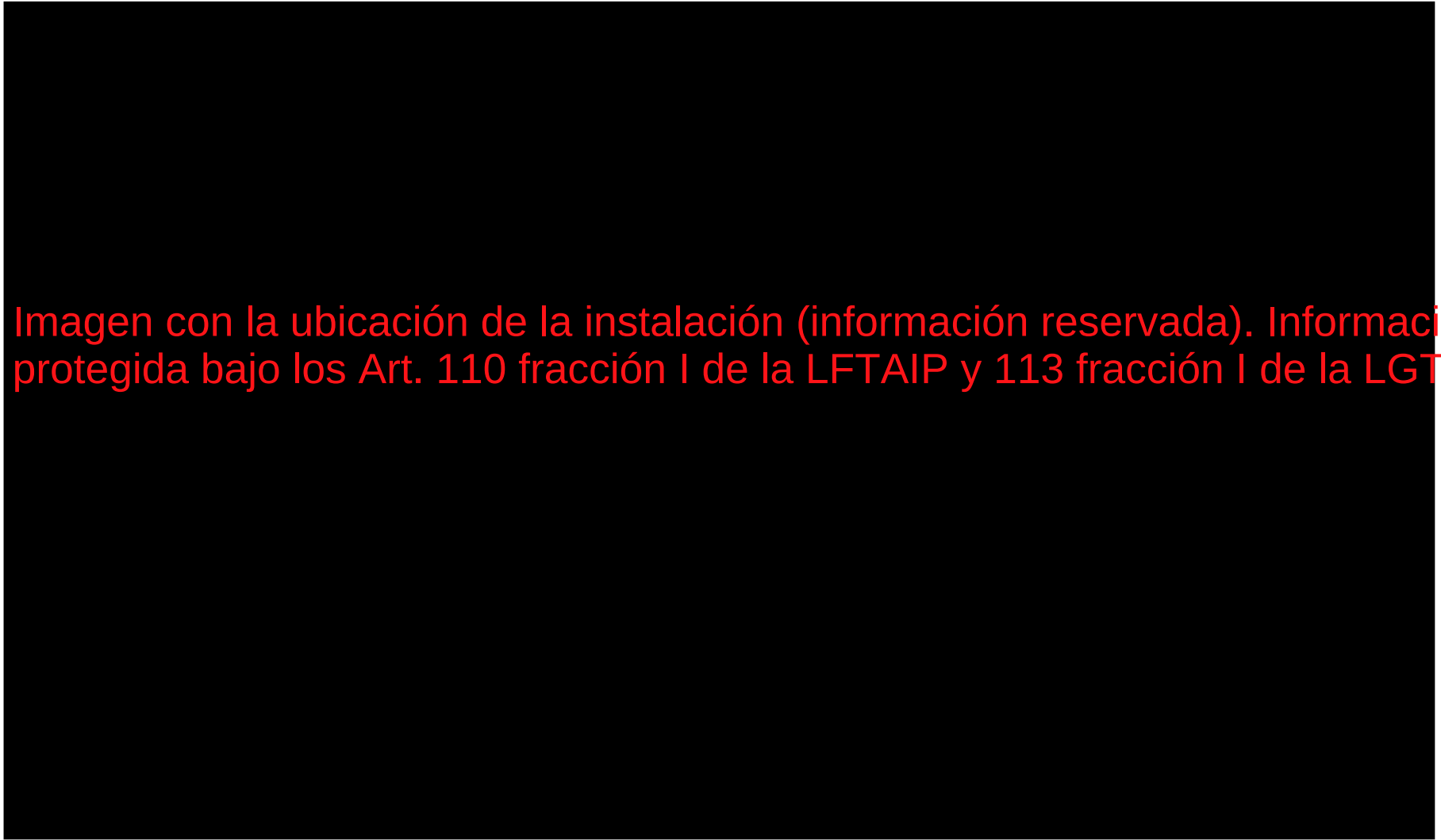


Imagen con la ubicación de la instalación (información reservada). Información protegida bajo los Art. 110 fracción I de la LFTAIP y 113 fracción I de la LGTAIP.

Figura 6.4 Escenario 4 (PC). Plano de afectación Fuga de Gas en la línea de descarga de 6" (Sobrepresión)

Fuente: ERM,2022.

7. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD E INTERACCIONES DE RIESGO

7.1 Análisis de Vulnerabilidad

Para propósitos del Análisis de Vulnerabilidad, se tomarán en cuenta los resultados de las modelaciones con mayores radios de afectación, tanto para los CMP como los PC, hechos para las operaciones del Proyecto.

De los eventos LOC analizados para este estudio, con liberación de Gas Natural, fueron evaluados todos los escenarios de riesgo de acuerdo con las propiedades del Gas Natural (Inflamabilidad y Sobrepresión).

En primer lugar, serán analizados los casos máximos probables, que, tendrán un menor impacto, pero son casos más posibles de presentarse. Después, los escenarios catastróficos, que, aunque tienen una posibilidad muy limitada de presentarse, sirven de referencia para tener una idea más amplia para la planeación de emergencias.

7.1.1 Caso Máximo Probable (CMP)

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, los escenarios CMP, que fueron analizados para el Proyecto, y que, pudieran tener las mayores afectaciones tanto para el personal, la comunidad y/o las instalaciones, son:

- El Escenario 2 para el caso de Ondas de Sobrepresión
- El Escenario 7 para el caso de Radiación Térmica (Jet Fire)

Escenario 2 (CMP). Fuga de Gas Natural en la línea de descarga de 6" (Sobrepresión)

Con base en los resultados de la simulación, se espera que la nube de gases inflamables tenga la mayor concentración en los primeros instantes de la liberación del Gas Natural llegando hasta su Límite Inferior de Explosividad; y esto, aunado a la congestión en el área de proceso, podría generar una explosión dentro del área de liberación.

De acuerdo con los resultados de las simulaciones, la zona de alto riesgo (1.0 Psi) y la de amortiguamiento (0.5 Psi) alcanzan los límites del área de deshidratación con 124.2 m y 187.3 m, respectivamente (ver Figura 6.1); aclarando que, para el caso de la zona de amortiguamiento, tiene una probabilidad del 95 % de que no ocurran daños serios. Además, se presenta la distancia que alcanzarán las mayores ondas de sobrepresión, y puede identificarse, que alcanzará los límites de la zona oeste del área de deshidratación, con una sobrepresión máxima de 3 psi y un alcance de 78.12 m; y, por lo tanto, esta área puede tomarse como zona de alto riesgo para daño a los equipos.

Finalmente, de acuerdo con la Figura 6.1, como se mencionó anteriormente, la zona de alto riesgo se ubica aproximadamente 124.2 m a partir de la fuente de emisión en todas direcciones. En dicha área se podrían presentar efectos por ruptura de los tímpanos del 1% de las personas expuestas y heridas leves por fragmentos disparados en 1% del personal que pudiera estar en el radio de la zona de alto riesgo del escenario (Ver Tabla 5.43).

Escenario 7 (CMP). Fuga de Gas Natural en el separador SHT-300. (Radiación - Jet Fire)

Para este escenario, de acuerdo con los resultados obtenidos, el radio del área de amortiguamiento (1.4 kW/m²) supera los límites DEL ÁREA DE SEMPACACIÓN con 368 m, sin embargo, el personal podrá estar expuesto a esta radiación sin presentar incomodidad por un período prolongado de tiempo.

Por lo que, el impacto de esta radiación abarca gran parte del área de separación (ver Figura 6.2), se esperan posibles efectos estructurales, así como daños a parte de la carretera Río Bravo- Nuevo Laredo, la cual está ubicada a 100 m al oeste del área de separación.

Por otra parte, en la Figura 6.2, se puede observar que el dardo de fuego generado a partir del escenario tiene un alcance de 245.44 m para la zona de alto riesgo, y, en dicha zona se podrían presentar efectos por quemaduras de segundo grado en personal que pudiera estar en el radio de la zona de alto riesgo del escenario.

Además, debe mencionarse que el umbral del dolor del personal que esté cerca del separador podría presentarse en 2.5 s de exposición, ya que la radiación alcanzaría un valor de 21.2 kW/m² en una distancia aproximada de 25 m. Es importante mencionar, que no se espera que se encuentre personal permanentemente en estas secciones, por lo que únicamente se espera que pueda haber contacto con personal cuando estos se encuentren en sus rondas de inspección (2 empleados cada 8 horas)

Por otro lado, en el caso de daño a equipos, producto de la exposición a esta radiación térmica, podría generarse daño a equipos de cubierta plástica y tuberías del mismo material (Conductores eléctricos, instrumentos, etc.), dentro de las peras de los pozos Treviño-1001EXP y 2001. Este escenario podría afectar toda el área de proceso, junto separador SHT-300. Dado el material de las tuberías y la estructura resisten hasta 37.5 kW/m² (ver Tabla 5.41 y Tabla 5.42), por lo que se espera que pueda causar un efecto dominó.

Por último, para el caso de la flama o el dardo, tiene las siguientes características de acuerdo con los resultados arrojados por el programa de simulación (**Anexo 8** Hojas de Resultados de Escenarios de Simulación):

- 1) Velocidad de la flama: 639 m/s
- 2) Longitud de la flama: 125.5 m
- 3) Poder emisivo de la flama: 350 kW/m² con una fracción de 0.16 de emisividad
- 4) Ángulo de la flama: 0°

Con lo que se puede concluir que, la flama o el dardo presentarán un grado de inclinación por las condiciones del lugar. Esta flama tendrá un alcance vertical de hasta 125.5 m, por lo cual, dada la longitud del dardo, los equipos y estructuras de soporte alrededor del área de proceso (los arreglos de válvulas, equipos, etc.) sufrirán daños irreparables y existiría derrumbamiento de estructuras (ver Tabla 5.42).

7.1.2 Peor Caso (PC)

Para el caso de los escenarios catastróficos, que fueron analizados para el Proyecto, los casos de mayor potencial afectación son:

- El Escenario 3 para el caso de Radiación Térmica (Jet Fire)
- El Escenario 4 para el caso de Ondas de Sobrepresión

Es relevante mencionar que dichos escenarios sólo se presentan con fines ilustrativos debido a que se trata de escenarios que, aunque la severidad de sus consecuencias es alta, su probabilidad de ocurrencia es limitada y de acuerdo con las salvaguardas, ésta se reduce a un nivel remoto. Entonces, los potenciales impactos que podrían tener los escenarios mencionados, tanto en las instalaciones, la comunidad y el medio ambiente se resumen en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 Efectos potenciales de los peores casos

Escenario	Efecto potencial	Impactos potenciales
Escenario 3. Fuga de Gas en la línea de descarga de 6".	Radiación térmica	Para este escenario de acuerdo con los resultados obtenidos, el dardo de fuego generado a partir del escenario tiene un alcance de 65 m para la zona de alto riesgo (5.0 kW/m^2), en dicha área se podrían presentar efectos por quemaduras de segundo grado en personal que pudiera estar en el radio de la zona de alto riesgo del escenario. Además, el radio del área de amortiguamiento (1.4 kW/m^2) supera los límites del área de deshidratación con 91.1 m, sin embargo, el personal podrá estar expuesto a esta radiación sin presentar incomodidad por un período prolongado de tiempo. Es importante mencionar, que no se espera que se encuentre personal permanentemente en estas secciones, por lo que únicamente se espera que pueda haber contacto con personal cuando estos se encuentren en sus rondas de inspección (2 empleados cada 8 horas). Por último, no se esperan efectos estructurales dado a que la radiación se presenta en un terreno sin desarrollar. Ver Anexo 8 de las Hojas de resultados de simulación y el Anexo 9 con los radios de afectación.
Escenario 4. Fuga de Gas en la línea de descarga de 6".	Ondas de sobrepresión	De acuerdo con los resultados de las simulaciones, la zona de amortiguamiento (0.5 Psi) alcanza y supera el área de deshidratación con 342 m, aclarando que, para el caso de la zona de amortiguamiento, solo se puede esperar una probabilidad del 95 % de que no ocurran daños serios. La zona de alto riesgo (1.0 Psi) se ubica aproximadamente 226.22 m a partir de la fuente de emisión en todas direcciones. En dicha área se podrían presentar efectos por ruptura de los tímpanos del 1% de las personas expuestas y heridas leves por fragmentos disparados en 1% del personal que pudiera estar en el radio de la zona de alto riesgo del escenario. Además, debido a los efectos de los impulsos causados por la sobrepresión, existiría daños a las estructuras de los equipos en el área de proceso, con posible demolición de las estructuras cercanas; así como fatalidades inmediatas debido a que se presentan 3 Psi, en un radio de 141 m en los primeros segundos de producida la explosión, dentro de la cual se encuentra el área de deshidratación. Igual al escenario anterior, no se espera que se encuentre personal permanentemente en estas secciones, por lo que únicamente se espera que pueda haber contacto con personal cuando estos se encuentren en sus rondas de inspección (2 empleados cada 8 horas). Ver Anexo 8 de las Hojas de resultados de simulación y el Anexo 9 con los radios de afectación.

Fuente: ERM, 2022.

7.2 Interacciones de Riesgo

En esta sección, se identificarán los escenarios, que por su ubicación pudieran potencializar el riesgo a través de un efecto dominó u otros mecanismos, debido a que, dentro de las zonas de Alto Riesgo por daño a equipos y zonas de Alto Riesgo, se ubiquen equipos, ductos u otras Instalaciones industriales manejando hidrocarburos u otras sustancias peligrosas, dentro o fuera de los límites de propiedad o jurisdicción del Proyecto.

Para dichos escenarios, en la Tabla 7.2, se presentan los equipos o instalaciones potencialmente afectadas que se encuentren en los radios de afectación de zonas de Alto Riesgo por daño a equipos y Zonas de Alto Riesgo. Asimismo, señalan las salvaguardas (equipos, dispositivos y medidas preventivas) con que cuenta el Proyecto o que se encuentran consideradas en el diseño del Proyecto, justificando la compatibilidad del Proyecto con la infraestructura existente o considerada en el diseño.

Es importante mencionar que, como se muestra en la Tabla 5.64, no todos los escenarios presentan una consecuencia de radiación y/o sobrepresión; por lo que se utilizarán, únicamente, los escenarios más representativos del Proyecto, los cuales se presentan en las secciones 7.1.1 y 7.1.2.

Tabla 7.2 Interacciones de Riesgos y descripción de los posibles receptores de Riesgo

Escenario	Ubicación	Sustancia peligrosa	Tipo de Zona	Radio de la afectación	Daños estructurales que se presentarían en el radio de afectación	Salvuardas	Efecto dominó
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.							

Escenario	Ubicación	Sustancia peligrosa	Tipo de Zona	Radio de la afectación	Daños estructurales que se presentarían en el radio de afectación	Salvaguardas	Efecto dominó
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.							

Escenario	Ubicación	Sustancia peligrosa	Tipo de Zona	Radio de la afectación	Daños estructurales que se presentarían en el radio de afectación	Salvaguardas	Efecto dominó
Características del proyecto (secreto industrial), información protegida bajo los Art. 113 fracción II de la LFTAIP y 116 tercer párrafo de la LGTAIP.							

Como se puede apreciar en la Tabla 7.2, no se espera tener un efecto dominó de los escenarios, debido a que la radiación y/o sobrepresión no superan la resistencia a la radiación del material de tuberías y equipos es de 37.5 kW/m² (ver Tabla 5.47) y las ondas de sobrepresión de 3.0 psi (ver Tabla 5.48), de instalaciones aledañas al Proyecto. Tampoco se espera que a raíz de estos escenarios se genere la liberación de otra sustancia peligrosa.

Cabe mencionar que, para cada uno de los escenarios modelados (CMP y PC) existen controles de prevención, así como medidas para mitigar los efectos de los escenarios. Dichos controles fueron documentados durante la sesión HAZOP y se pueden encontrar en el **Anexo 6**. Para mayor información sobre los sistemas de seguridad y medidas preventivas, consultar la sección 8 del presente documento.

8. REPOSICIONAMIENTO DE ESCENARIOS DE RIESGOS

Tal y como se presenta en la Tabla 5.20, en total se jerarquizaron doscientos sesenta y tres (263) escenarios de riesgo, de los cuales noventa y tres (93) como riesgo "Moderado" y tres (3) como "No Tolerable". Sin embargo, los tres (3) escenarios "No Tolerables" tienen un impacto al patrimonio operativo de la compañía, por lo que se generaron recomendaciones para disminuir el nivel de riesgo, sin embargo, no son considerados para el análisis de consecuencias debido a que no se tienen impactos a la seguridad y salud del personal o al medio ambiente.

Por lo tanto, y como se mencionó anteriormente, se realizó un análisis para determinar el Nivel de Significancia (de acuerdo con el procedimiento PG-NEW-II-01 del Regulado) únicamente, para los escenarios de riesgo Moderado con impactos al personal o medio ambiente.

Considerando esto, se identificaron los eventos de pérdida de contención (LOC), los cuales fueron evaluados en diez (10) escenarios de simulación de consecuencias, presentados en la Tabla 5.40. Siendo estos escenarios, los que ocasionarían un mayor impacto a la seguridad y salud del personal o al medio ambiente del Proyecto.

Con base al análisis de consecuencias de los escenarios y el análisis de vulnerabilidad e interacciones de riesgo (Sección 7), la evidencia que las potenciales consecuencias de los eventos de incendio y explosión que resultarían en eventos de pérdida de contención (LOC) en el Proyecto, consideran un impacto aceptable a los receptores antes mencionados; y por tanto se considera que los eventos poseen un nivel de riesgo cualitativo **ACEPTABLE**, sin embargo; para que esto suceda se deberán tomar en consideración la implementación de recomendaciones surgidas a raíz de las sesiones HAZOP e implementarlo para mantener en una región ALARP o Tolerable.

9. SISTEMAS DE SEGURIDAD Y MEDIDAS PARA ADMINISTRAR LOS ESCENARIOS DE RIESGO

El Proyecto cuenta con instrumentación y sistemas de control y seguridad para evitar los riesgos originados por el diseño de la instalación.

Como se mencionó anteriormente, el diseño, construcción y pruebas de la instalación se realizaron dando cumplimiento a las especificaciones técnicas y los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los sistemas de transporte de gas natural por medio de ductos establecidos en la NOM-007-ASEA-2016.

Las medidas y controles administrativos de prevención de accidentes con los que cuentan los pozos, área de separación, área de deshidratación, y área de medición; son los siguientes:

1. Señalización
2. Capacitación
3. Mantenimiento programado
4. Inspecciones.

9.1 Sistemas de Seguridad

El cabezal fue diseñado con válvulas check clase 600 para evitar contrapresiones entre los pozos al momento de alinear la producción hacia el separador de medición.

Cuando los niveles de presión en las líneas de transporte alcancen niveles superiores a la presión de ajuste, las cuales serán calibradas dependiendo del gasto de gas requerido por CENAGAS, se abrirán las válvulas de alivio localizadas en las áreas de separación y deshidratación permitiendo que el excedente de gas sea enviado a los cabezales de desfogue de los quemadores.

La válvula reguladora de presión (PCV-01) permitirá tener controlado el flujo de gas a quemador y la presión de salida en el Área de Separación, ya que este dispositivo será el que permita regular la presión de separación. De igual manera, sucederá, con la válvula reguladora de presión (PCV-201) localizada en el área de deshidratación.

Posteriormente, se dispone, para el almacenamiento de los líquidos separados de tres tanques, dos de 400 barriles y uno de 210 barriles, cada uno, que contarán con válvulas de alivio y arresta flama. Los líquidos provenientes de los drenes tanto del separador SHT-300 como del SHT-301 serán enviados a un cárcamo de recolección para su disposición.

Todos los desfuegos serán canalizados a un quemador elevado que será diseñado de acuerdo al código API-RP-521, con la instrumentación para el desalojo automático de los líquidos.

9.1.1 Sistema de Protección contra incendios

El sistema de protección contra incendio con detección de gas y fuego incluye extinguidores portátiles en toda edificación. Así como, señalamiento de áreas de puntos de reunión, y rutas de emergencia.

El Proyecto cuenta con extintores portátiles de polvo químico PQS para incendios tipo ABC localizados estratégicamente en la instalación, conforme a NFPA-10 última versión Protección con Pararrayos, Sistema de tierras físicas drenado electricidad estática, sistema eléctrico de alumbrado mediante celdas solares, área de manejo de desechos, postes con señalamientos de ruta de evacuación, señalizaciones colocadas en las paredes o rejas, y colocación de extintores, poste para colocación de Conos de Viento (ver sección 2.1.5).

9.1.2 SCADA

El área de medición cuenta con dos Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA por sus siglas en inglés), de los cuales, uno (Newpek) permite tanto el monitoreo como la capacidad de controlar el área de medición de manera remota; mientras que el otro (CENAGAS), únicamente permite el monitoreo de variables.

Entre las funciones de control que cuenta el SCADA de Newpek se encuentran:

- Actuación de los interruptores de apertura (ZSO-101) y de cierre (ZSC-101) del Válvula de corte automática con actuador neumático XV-101
- Controlar el gasto de gas hacia CENAGAS
- Visualizar los sistemas de alarma del área
- Visualizar los sistemas de medición y regulación

La Figura 9.1, presenta la arquitectura de comunicación del área de medición.

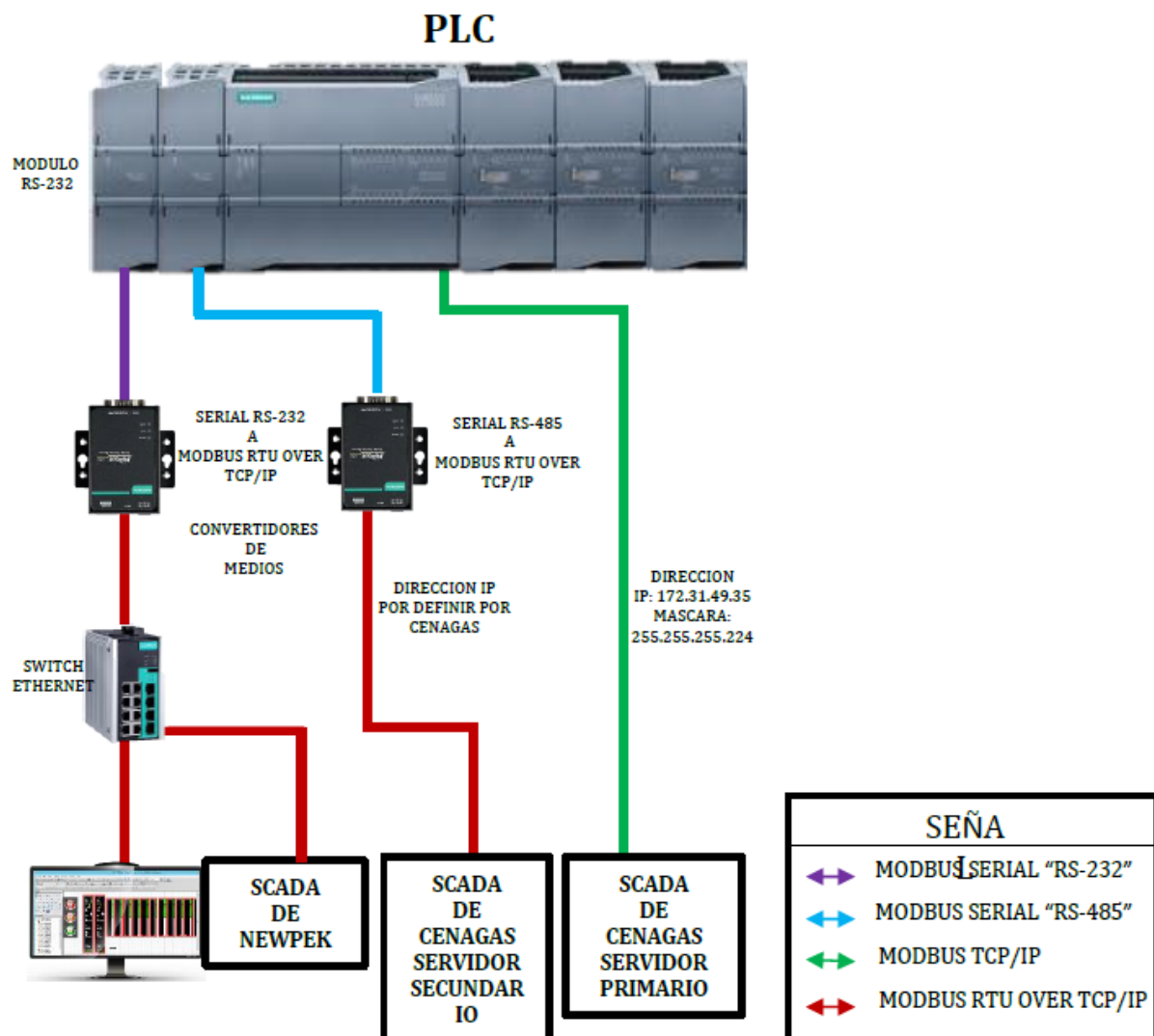


Figura 9.1 Sistema de comunicación del área de medición

Fuente: Manual de operación y mantenimiento (PE-NEW-X-04), 2022.

9.2 Medidas Preventivas

Con el objetivo de prevenir accidentes, Newpek, aplica medidas administrativas de seguridad y de operación para la prevención de accidentes y emergencias. Entre estas se encuentran:

- Manual de operación y mantenimiento (PE-NEW-X-04)
- Programas anuales de mantenimiento preventivo a todo el sistema
- Programas de capacitación al personal de operación y mantenimiento
- Procedimientos específicos para emergencias
- Procedimiento de sistema de permisos de trabajo con riesgo (PE-NEW-X-02)
- Auditorías operativas
- Procedimiento de control de actividades y procesos (PG-NEW-X-01)

9.2.1 Plan de Respuesta a Emergencias

El área contractual del bloque BG-02 (Campo Treviño) cuenta con distintos procedimientos de respuesta a emergencias para conocer el modo de proceder de los empleados, en aquellas situaciones que pudieran presentarse en los posibles escenarios de emergencia revisados anteriormente, así como los pasos a seguir para el retorno a las actividades normales y para atender a las áreas o personal afectados.

- ME-NEW-XIII-02 Plan de rescate en Alturas.
- ME-NEW-XIII-03 Incendio en pozos de Gas.
- ME-NEW-XIII-04 Incendio en pastizales cercanos de las instalaciones.
- ME-NEW-XIII-05 Derrame de condensado en pozo de Gas.
- ME-NEW-XIII-16 Personal Lesionado.
- ME-NEW-XIII-17 Inhalación / Ingestión de sustancias peligrosas.
- ME-NEW-XIII-18 Fuga de gas en LDD.
- ME-NEW-XIII-19 Fuga en pozo de Gas.
- ME-NEW-XIII-24 Incendio en área de separación, área de deshidratación y área de medición.
- ME-NEW-XIII-27 Fuga en área de separación, área de deshidratación y área de medición.
- PE-NEW-XIII-01 Gestión de Derrames.

La Tabla 9.1, presenta los procedimientos de respuesta a emergencia principales para las situaciones de emergencia evaluadas en este reporte.

Tabla 9.1 Procedimientos de Respuesta a Emergencia Principales

Escenario	Pasos a Seguir	Responsables
Incendio en Pozos de Gas (ME-NEW-XIII-03)	■ Utilizar los extintores disponibles de acuerdo con el entrenamiento recibido. ■ Notificar al coordinador local de emergencias o suplentes. ■ Activar el Plan de Llamadas de Emergencia. ■ Retirarse del área afectada y evacuar al personal, si lo hubiera, se debe ubicar en sentido favorable a la dirección del viento para evitar o minimizar la inhalación de sustancias tóxicas ■ En caso de que sea posible se deberá optar por hacer el aislamiento desde las válvulas más alejadas al lugar de la fuga y del incendio. ■ Ubicar ambulancia con médico en alerta a una distancia segura de la fuga de gas o incendio.	■ Sac-Nicté Muñoz Pérez (Coordinador Local de Emergencias) ■ Zoila Victoria Romero Olive (Control de Derrames) ■ Roberto Labastida Ávila (Brigada de Primeros Auxilios y de Rescate y Contra incendio) ■ Héctor Mariano Loredó Soto (Transporte de Personal / Alimentación) ■ Alondra Fabiola Mar Ortiz (Informes y Telecomunicaciones)
Fuga de gas (ME-NEW-XIII-18)	■ Notificar al coordinador local de emergencias o suplentes. ■ Activar el Plan de Llamadas de Emergencia. ■ Retirarse del área afectada y evacuar al personal, si lo hubiera. Se debe ubicar en sentido favorable a la dirección del viento para evitar o minimizar la inhalación de sustancias tóxicas. ■ Siempre que sea posible se deberá optar por hacer el aislamiento desde las válvulas más alejadas al lugar de la fuga. ■ Ubicar ambulancia con médico en alerta a una distancia segura de la fuga de gas.	■ Sac-Nicté Muñoz Pérez (Coordinador Local de Emergencias) ■ Zoila Victoria Romero Olive (Control de Derrames) ■ Roberto Labastida Ávila (Brigada de Primeros Auxilios y de Rescate y Contra incendio) ■ Héctor Mariano Loredó Soto (Transporte de Personal / Alimentación) ■ Alondra Fabiola Mar Ortiz (Informes y Telecomunicaciones)
Gestión de Derrames (PE-NEW-XIII-01)	■ Al presentarse un derrame el encargado de operaciones y HSE del sitio evalúan el derrame de ser menor ■ Atender con el kit de derrames y herramientas manuales que se cuenta en el sitio y se utiliza la ■ Si el derrame es mayor a 1m³ se acordona el área y se solicita el apoyo de una cuadrilla de la compañía contratista que se encargue del proceso de limpieza y recolección del material, así como del transporte y disposición de este.	■ Subdirector de Operación: ■ Sac-Nicté Muñoz Pérez (Coordinador Local de Emergencias) ■ Zoila Victoria Romero Olive (Control de Derrames) ■ Roberto Labastida Ávila (Brigada de Primeros Auxilios y de Rescate y Contra incendio)

Fuente: Protocolo de Respuesta a Emergencias de Newpek, 2022.

9.2.2 Capacitaciones al Personal

El Proyecto cuenta con un programa de capacitación, con el fin de proporcionar cursos y capacitaciones, con el fin de mantener a los operadores y brigadistas preparados para atender y evitar emergencias.

Algunos de los cursos y capacitaciones más relevantes del programa anual del 2022, se presentan en la Tabla 9.2, para mayor detalle se presenta el listado completo de cursos y capacitaciones del Programa de Capacitación 2022 en el **Anexo 10**.

Tabla 9.2 Programa de Capacitación 2022

No.	Curso	Objetivo / Contenido	Personal Capacitado	Frecuencia
1	Inducción Básica de HSE / SASISOPA(BG02-BG03)	Concientizar al personal de nuevo ingreso y reingreso con los Peligros y Aspectos dentro de las instalaciones	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería ■ Compradora ■ Gerente de administración y finanzas ■ Analista de desarrollo de negocios y regulatorio	Única ocasión (Nuevos Ingresos)
2	Manejo de Extintores	Conocer el manejo del equipo extintor, los diferentes tipos de fuego, y la forma de combatirlos.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	Anual
3	Requerimientos de Seguridad e Higiene / Riesgos de Trabajo	Conocer los requerimientos específicos al respecto de la seguridad e higiene en el ambiente laboral.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería ■ Compradora ■ Gerente de administración y finanzas ■ Analista de desarrollo de negocios y regulatorio	Anual
4	Plan de Contingencias Campo	Conocer y aplicar el plan de respuesta a emergencias de las instalaciones a las que tiene acceso.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería ■ Compradora ■ Gerente de administración y finanzas ■ Analista de desarrollo de negocios y regulatorio	Anual
5	Manejo a la Defensiva	Plática para reforzar las técnicas de manejo defensivo, objetivo evitar accidentes vehiculares.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio	Anual

No.	Curso	Objetivo / Contenido	Personal Capacitado	Frecuencia
			■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	
6	Formación de Brigadistas	Conocer técnica para brindar primeros auxilios	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	Anual
7	Manual de Primero Auxilios Uso y cuidados del EPP	Conocer el concepto de manual de primeros auxilios, su ubicación e información que contiene	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería ■ Compradora	Anual
8	Sistema de Comando de Incidentes	Permitir el manejo efectivo y eficiente de incidentes integrando una combinación de instalaciones, equipo, personal, procedimientos y comunicaciones que operan	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	Bienal
9	Análisis Causa Raíz	Conocer la metodología para realizar el análisis causa raíz de incidentes accidentes.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	Bienal
10	Taller de Permisos de trabajo con riesgo / Análisis seguro del Trabajo	Concientizar al personal sobre la importancia de los análisis seguros de trabajo y de la emisión de los permisos correspondientes.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	Anual
11	Auditorías Operativas	Reforzar las técnicas de la auditoría de actividades e instalaciones y los peligros e impactos	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería ■ Compradora ■ Gerente de administración y finanzas	Anual

No.	Curso	Objetivo / Contenido	Personal Capacitado	Frecuencia
12	Manejo Manual de cargas	Concientizar al personal de la empresa sobre técnicas y / o maniobras para la adecuada carga o desplazamiento manual de objetos.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	Única ocasión (Nuevos Ingresos)
13	Manejo y Almacenamiento de Materiales Peligrosos	Conocer e implementar el sistema de comunicación de riesgos para el manejo de materiales peligrosos	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	Única ocasión (Nuevos Ingresos)
14	Candado y Etiquetado, bloqueo de Energías	Conocer los principales riesgos presentes y los controles pertinentes para las actividades que requieren el bloqueo de energía.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	Bienal
15	Trabajo en equipos con altas presiones	Conocer los riesgos de trabajar con equipos a altas presiones.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	Bienal
16	Espacios Confinados /Uso y manejo de equipo de respiración autónoma	Principios básicos y teoría de uso, manejo y mantenimiento del equipo de respiración autónoma	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	Bienal
17	Trabajos en Altura y Cargas suspendidas.	Conocer los principales riesgos presentes y los controles pertinentes para las actividades que involucran	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	Bienal
18	Verificador de Atmósferas peligrosas	Conocer y aplicar los requerimientos para la utilización de detectores de gas	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería	Trienal
19	Uso y Almacenamiento de Herramientas Manuales	Conocer las recomendaciones generales para el uso y manejo de herramientas manuales.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Jefatura de Ingeniería	Bienal
20	Uso y cuidados del EPP	Conocer y aplicar las recomendaciones para el uso, manejo y almacenamiento adecuado del equipo de protección personal.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería ■ Gerente de administración y finanzas	Bienal

No.	Curso	Objetivo / Contenido	Personal Capacitado	Frecuencia
			■ Analista de desarrollo de negocios y regulatorio	
21	Metodologías de Análisis de Riesgo / Seguridad de los procesos y estudios de riesgo.	Conocer y aplicar los principios necesarios para la elaboración de Estudios de Riesgos de Proceso (Hazop, What if, etc.), así como los requerimientos básicos para el concepto de Seguridad en los Procesos.	■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE	Cuatrienal
22	Requerimiento Generales para Administraciones de Cambios	Conocer los requerimientos aplicables y mandatorios del proceso de las administraciones de Cambios.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería ■ Compradora ■ Gerente de administración y finanzas ■ Analista de desarrollo de negocios y regulatorio	Bienal
23	Ergonomía	Conocer cuáles son las metodologías para la evaluación de riesgo al desarrollar actividades.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería ■ Compradora	Única ocasión (Nuevos Ingresos)
24	Protocolos para prevención de Enfermedades Respiratorias	El participante conocerá cuales son las medidas preventivas para evitar contagiarse o ser contagiado por una enfermedad respiratoria.	■ Coordinador de Medio Ambiente ■ Gerente de HSE / Regulatorio ■ Auxiliar de Gestión social / HSE ■ Jefatura de Ingeniería ■ Compradora ■ Gerente de administración y finanzas ■ Analista de desarrollo de negocios y regulatorio	Anual

Fuente: Programa de Capacitación Anual del 2022

9.2.3 Programa de Mantenimiento

Con el fin de estar preparados, en caso de presentarse una emergencia, el Proyecto realiza una verificación mensual, con base al procedimiento de inspección y mantenimiento a extintores (PE-NEW-XIII-03). Este procedimiento establece los siguientes lineamientos:

- Los extintores deben revisarse al momento de su instalación y posteriormente, a intervalos no mayores de un mes cuando se encuentren en las instalaciones y/u operaciones a cargo de la empresa.
- Los extintores deberán ubicarse en el lugar asignado en el plano de las instalaciones correspondiente; ubicarse en lugares visibles, de fácil acceso y libres de obstáculos.
- Asegurar que la aguja del manómetro indique la presión en la zona verde (operable), en el caso de extintores, cuyo recipiente esté presurizado permanentemente y que contengan como agente extintor agua, agua con aditivos, espuma, polvo químico seco, halones, agentes limpios o químicos húmedos.
- Se deberán verificar las condiciones de las ruedas de los extintores móviles.
- Los extintores no deben tener daños físicos, tales como: corrosión, escape de presión, obstrucción, golpes, deformaciones, roturas, desprendimientos, protuberancias o perforaciones en mangueras, boquillas, recipiente o palanca de accionamiento, que puedan propiciar su mal funcionamiento.
- El extintor deberá ser puesto fuera de servicio, cuando presente daño que afecte su operación, o dicho daño no pueda ser reparado, en cuyo caso deberá ser sustituido por otro de las mismas características y condiciones de operación.
- Deberá asegurarse un programa de mantenimiento anual a extintores con una compañía externa que avale dicha actividad.
- Durante el mantenimiento, los extintores deben ser sustituidos por equipo para el mismo tipo de fuego y por lo menos de la misma capacidad.
- El mantenimiento consiste en la verificación completa del extintor por el prestador de servicios, siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Se debe identificar claramente que se efectuó un servicio de mantenimiento preventivo, colocando una etiqueta adherida al extintor indicando al menos:
 - a. El nombre, denominación y/o razón social, domicilio y teléfono del prestador de servicios.
 - b. La capacidad nominal en kilogramos y/o litros, y el agente extintor.
 - c. Las instrucciones de operación, breves y de fácil comprensión, apoyadas mediante figuras ó símbolos.
 - d. La clase de fuego a que está destinado el equipo.
 - e. Las contraindicaciones de uso.
- Las pruebas hidrostáticas deberán realizarse cada 5 años después de la compra del equipo por un máximo de 4 veces, por lo cual los extintores deberán tener grabado con número de golpe en el domo del recipiente lo siguiente:
 - a. El número de serie o el asignado por la empresa.
 - b. La presión máxima de trabajo.
 - c. La presión hidrostática.
 - d. La presión de trabajo.

- e. El mes y año de fabricación separados con una diagonal.
- f. La marca de identificación de cada prueba hidrostática que deberá incluir el mes y año de realización, y la identificación del responsable que las realizó.
- g. La capacidad del recipiente en Kilogramos.

9.2.4 Simulacros

Con el fin de salvaguardar la seguridad de los empleados en caso de que se presente una emergencia, Newpek, realiza simulacros con los diferentes escenarios que se puedan presentar en las operaciones y oficinas del Proyecto. Algunos ejemplos se presentan en la Tabla 9.3.

Tabla 9.3 Programa de Simulacros Newpek

Escenario de Emergencias	Nivel de emergencia	Tipo de Simulacro	Fecha	Área	Coordinador
Comunicación Perforación	Local	Comunicación	Abril	Operaciones	Auxiliar de Gestión Social / Ingeniería y Operaciones
Personal Lesionado	Local	Campo	Mayo	HSE	Gerencia HSE y regulación
Brote de Pozo	Local	Campo	Junio	Operaciones	Auxiliar de Gestión Social / Ingeniería y Operaciones
Inhalación de sustancias peligrosas	Local	Campo	Julio	Operaciones	Ingeniería y Operaciones
Comunicación (CLAM)	Regional	Comunicación	Agosto	HSE	Auxiliar de Gestión Social
Incendio	Local	Campo	Septiembre	Operaciones	Auxiliar de Gestión Social
Derrame de líquidos	Local	Campo	Octubre	HSE	Coordinación de medio ambiente
Huracanes / Ciclones	Local	Campo	Noviembre	HSE	Auxiliar de Gestión Social / Gerencia HSE y regulación

Fuente: Programa de Simulacros Newpek, 2022.

Para el detalle completo de los simulacros, en el **Anexo 11**, se presenta el Programa de simulacros de Newpek.

9.3 Recomendaciones Técnico-Operativas

Como resultado del análisis HAZOP, en los casos donde se consideró que las salvaguardas podrían ser insuficientes, se procedió a realizar recomendaciones. En la Tabla 9.4, se muestran las recomendaciones técnico-operativas derivadas del Análisis de Riesgo.

Tabla 9.4 Recomendaciones Técnico Operativas

No.	Recomendación	Elemento SASISOPA ¹	ID HAZOP	Responsable	Fecha de compromiso	Nivel de Riesgo
1	Realizar Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) del pozo Treviño-1001EXP, que incluya el árbol de válvulas y línea de descarga.	XI. Integridad Mecánica y aseguramiento de la calidad	1.1.1, 1.1.2, 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.2.4, 1.2.5, 1.2.6, 2.1.2, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4, 2.2.5, 2.2.6, 3.1.1, 3.1.2, 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4, 3.2.5, 3.2.6	Departamento de Operaciones	19/09/2022	Moderado
2	Evaluar la posibilidad de instalar salvaguardas adicionales (mangas térmicas, sistema de etanol) para evitar la congelación de la línea de descarga del pozo Treviño-1001EXP.	II. Identificación de peligros y análisis de riesgos;	1.1.4	Departamento de Operaciones	14/11/2022	No tolerable
3	Asegurar el cumplimiento de la NOM-026-STPS-2008 (colocación de señalización) en todo el proceso	III. Requisitos legales; X. Control de actividades y procesos	1.2.5, 1.2.6, 2.2.5, 2.2.6, 3.2.5, 3.2.6	Departamento de HSE	22/08/2022	Moderado
4	Analizar la factibilidad de utilizar una barrera física de protección contra impactos al árbol de válvulas y línea de descarga durante operaciones simultáneas	II. Identificación de peligros y análisis de riesgos; X. Control de actividades y procesos	1.2.5, 1.2.6, 2.2.5, 2.2.6, 3.2.5, 3.2.6	Departamentos de Operaciones y HSE	16/10/2022	Moderado
5	Desarrollar un método de trabajo dentro del procedimiento específico del manual de operación, producción, separación, deshidratación y medición de hidrocarburos del campo Treviño (PE-NEW-XI-01), para la puesta en operación de los calentadores (CF1001 y CF2001)	X. Control de actividades y procesos	4.1.1	Departamento de Operaciones	30/09/2022	Tolerable

No.	Recomendación	Elemento SASISOPA ¹	ID HAZOP	Responsable	Fecha de compromiso	Nivel de Riesgo
6	Realizar Diagrama de Tubería e Instrumentación de los calentadores (CF-1001 y CF-2001)	XI. Integridad Mecánica y aseguramiento de la calidad	4.3.1	Departamento de Operaciones	19/09/2022	Moderado
7	Realizar Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) del pozo Treviño-2001EXP, que incluya el árbol de válvulas y línea de descarga.	XI. Integridad Mecánica y aseguramiento de la calidad	2.1.1	Departamento de Operaciones	19/09/2022	Moderado
8	Evaluar la posibilidad de instalar salvaguardas adicionales (mangas térmicas, sistema de etanol) para evitar la congelación de la línea de descarga del pozo Treviño-2001EXP.	II. Identificación de peligros y análisis de riesgos	2.1.4	Departamento de Operaciones	14/11/2022	No Tolerable
9	Analizar la posibilidad de instalación de un pararrayos en el área de separación	II. Identificación de peligros y análisis de riesgos	4.3.1	Departamentos de HSE y Operaciones	23/10/2022	Moderado
10	Realizar justificación técnica, con memoria de cálculo, de que una sola PSV (PSV-301) en el separador SHT-300 es suficiente para mitigar una sobrepresión en el mismo.	II. Identificación de peligros y análisis de riesgos	4.3.2	Departamentos de HSE y Operaciones	12/09/2022	Moderado
11	Bloquear con candado las válvulas manuales de las válvulas de seguridad (PSV-201, PSV-202) de los separadores del área de deshidratación	X. Control de actividades y procesos	6.1.1	Departamentos de HSE y Operaciones	15/08/2022	Moderado
12	Generar el programa de mantenimiento de las líneas y tuberías del sistema Treviño	XI. Integridad Mecánica y aseguramiento de la calidad	5.1.3, 7.1.1	Departamento de Operaciones	17/11/2022	Tolerable
13	Realizar justificación técnica, con memoria de cálculo, de que una sola PSV (PSV-201) en el separador SHB-200 es suficiente para mitigar una sobrepresión en el mismo.	II. Identificación de peligros y análisis de riesgos	6.1.1	Departamentos de HSE y Operaciones	12/09/2022	Moderado

No.	Recomendación	Elemento SASISOPA ¹	ID HAZOP	Responsable	Fecha de compromiso	Nivel de Riesgo
14	Incluir en el procedimiento de mantenimiento de válvulas el siguiente texto: "Asegurar que las válvulas manuales, antes y después de las válvulas PSV, se encuentren en posición abierta después de un mantenimiento"	X. Control de actividades y procesos; XI. Integridad Mecánica y aseguramiento de la calidad	6.1.1	Departamentos de HSE y Operaciones	30/09/2022	Moderado
15	Actualizar el Diagrama de Tubería e Instrumentación DTI-200-C01-1 en su versión "as built"	XI. Integridad Mecánica y aseguramiento de la calidad	6.1.4	Departamento de Operaciones	19/09/2022	Moderado
16	Incluir las mangueras flexibles en el programa de inspección y mantenimiento del Área de Medición	XI. Integridad Mecánica y aseguramiento de la calidad	7.2.6	Departamentos de HSE y Operaciones	21/12/2022	Moderado
17	Asegurar la instalación de pararrayos en las instalaciones del pozo, área de separación y área de deshidratación de acuerdo con la norma mexicana NOM-022-STPS-2015	II. Identificación de peligros y análisis de riesgos; III	7.2.5	Departamentos de HSE y Operaciones	23/10/2022	Moderado
18	Evaluar la posibilidad de instalar salvaguardas adicionales (mangas térmicas, sistema de etanol) para evitar la congelación de la línea de descarga del pozo Treviño 122	II. Identificación de peligros y análisis de riesgos	3.1.4	Departamento de Operaciones	30/12/2022	No Tolerable

Fuente: Sesión de Identificación de Peligros HAZOP, Anexo 6, 2022.

Nota: ¹Elementos de acuerdo al Anexo II de SASISOPA

10. CONCLUSIONES

Derivado del Análisis de Riesgos Cualitativo y Cuantitativo conducido para el Proyecto de Campo Treviño de Newpek, a continuación, se presentan las conclusiones del estudio:

Para la **identificación de peligros** se llevó a cabo un análisis de peligros operacionales (HAZOP). El análisis se llevó a cabo los días 23, 24 y 25 de mayo de 2022, en las instalaciones de Newpek, ubicadas en la calle Cedro 219, Colonia Rincón del Valle, Reynosa, Tamaulipas; y contó con la participación de un equipo multidisciplinario de especialistas en diferentes áreas de Newpek y con la participación de ERM que fungió como facilitador del taller y consultor / especialista en materia de riesgos. Durante el análisis se estudiaron siete (7) nodos, contemplando las actividades de operación normal del Proyecto.

Derivado del análisis HAZOP, se jerarquizaron doscientos sesenta y tres (263) escenarios de riesgo, de los cuales ciento sesenta y siete (167) fueron evaluados como riesgo "Tolerable", noventa y tres (93) como riesgo "Moderado" y tres (3) como "No Tolerable". Los tres (3) escenarios "No Tolerables" tienen un impacto al patrimonio operativo de la compañía, por lo que se generaron recomendaciones para disminuir el nivel de riesgo, sin embargo, no fueron considerados para el análisis de consecuencias debido a que no se tienen impactos a la seguridad y salud del personal o al medio ambiente

Posteriormente, se realizó un análisis para determinar el **Nivel de Significancia** (de acuerdo con el procedimiento PG-NEW-II-01 del Regulado) únicamente para los escenarios de riesgo Moderado con impactos al personal o medio ambiente, para los setenta y un (71) escenarios de riesgo Moderado identificados en el HAZOP con impactos al personal o medio ambiente.

Adicionalmente, como resultado del análisis HAZOP se emitieron dieciocho (18) recomendaciones, a las cuales se les asignó un responsable y fecha compromiso para tener un seguimiento de las mismas.

Para la **evaluación de riesgo**, se llevó a cabo el **cálculo de probabilidad de falla** mediante la metodología de Árbol de Fallas (FTA). Para el análisis FTA, se llevó a cabo una sesión presencial que tuvo lugar el 26 de mayo de 2022, con una duración total de 8 horas, y contó con la participación de un equipo multidisciplinario de Newpek y con la participación de ERM que fungió como facilitador del taller y consultor / especialista en materia de riesgos. Durante el taller FTA, se analizaron cuatro (4) "Eventos Tope" que fueron seleccionados a partir de la agrupación de los escenarios de riesgo Moderado con impactos al personal o medio ambiente identificados durante el HAZOP. Los Eventos Tope analizados fueron los siguientes:

1. Liberación de gas en el árbol de válvulas y línea de descarga del Pozo (Treviño-1001EXP o Treviño-2001EXP)
2. Liberación de gas en la línea de descarga de 6" de la válvula PSHV-301 hasta la válvula PSHV-200
3. Liberación de gas en el separador SHT-300
4. Liberación de gas en el área de medición

Derivado del análisis de probabilidades, se concluye lo siguiente:

- La probabilidad de ocurrencia del Evento Tope 1 es de 3.105×10^{-3} , cuyo conjunto de corte mínimo (CCM) muestra que el evento básico más crítico que puede llevar directamente a la ocurrencia del evento no deseado, es el relacionado con un error humano al dejar válvulas manuales abiertas con una probabilidad de 1×10^{-3}
- La probabilidad de ocurrencia del Evento Tope 2 es de 3.094×10^{-3} , cuyo conjunto de corte mínimo (CCM) muestra que el evento básico más crítico que puede llevar directamente a la ocurrencia del evento no deseado, es el relacionado con un error humano al dejar válvulas manuales abiertas con una probabilidad de 1×10^{-3}

- La probabilidad de ocurrencia del Evento Tope 3 es de 4.014×10^{-4} , cuyo conjunto de corte mínimo (CCM) muestra que el evento básico más crítico que puede llevar directamente a la ocurrencia del evento no deseado, es el relacionado al error humano al alinear de manera incorrecta de válvulas manuales del sistema de separación con una probabilidad de 1×10^{-3}
- La probabilidad de ocurrencia del Evento Tope 4 es de 3.081×10^{-3} , cuyo conjunto de corte mínimo (CCM) muestra que el evento básico más crítico que puede llevar directamente a la ocurrencia del evento no deseado, es el relacionado con un error humano al dejar válvulas manuales abiertas con una probabilidad de 1×10^{-3}

Para la valoración del impacto de la pérdida de integridad del Proyecto y el daño al personal, se realizó un **análisis de consecuencias**, derivado de ocho (8) eventos de pérdida de contención (LOC, por sus siglas en inglés), como se presenta en la Tabla 5.22; los cuales dieron lugar a diez (10) escenarios de simulación (ver Tabla 5.40), de acuerdo con las potenciales afectaciones esperadas. Los escenarios de simulación presentan los Casos Más Probables (CMP) y Peores Casos (PC).

De acuerdo con los resultados de simulación, los escenarios catastróficos que tienen mayor impacto para el Proyecto son:

- **Escenario 3. Fuga de Gas en la línea de descarga de 6".** Para este escenario de acuerdo con los resultados obtenidos, el radio del área de amortiguamiento (1.4 kW/m^2) supera los límites del área de deshidratación con 91.1 m, sin embargo, el personal podrá estar expuesto a esta radiación sin presentar incomodidad por un período prolongado de tiempo.

Además, el dardo de fuego generado a partir del escenario tiene un alcance de 65 m para la zona de alto riesgo (5.0 kW/m^2), en dicha área se podrían presentar efectos por quemaduras de segundo grado en personal que pudiera estar en el radio de la zona de alto riesgo del escenario.

Por último, no se esperan efectos estructurales dado a que la radiación se presenta en un terreno sin desarrollar. Es importante mencionar, que no se espera que se encuentre personal permanentemente en estas secciones, por lo que la únicamente se espera que pueda haber contacto con personal cuando estos se encuentren en sus rondas de inspección (2 empleados cada 8 horas).

- **Escenario 4. Fuga de Gas en la línea de descarga de 6".** De acuerdo con los resultados de las simulaciones, la zona de amortiguamiento (0.5 Psi) alcanza y supera el área de deshidratación con 342 m, aclarando que, para el caso de la zona de amortiguamiento, solo se puede esperar una probabilidad del 95 % de que no ocurran daños serios.

La zona de alto riesgo (1.0 Psi) se ubica aproximadamente 226.22 m a partir de la fuente de emisión en todas direcciones. En dicha área se podrían presentar efectos por ruptura de los tímpanos del 1% de las personas expuestas y heridas leves por fragmentos disparados en 1% del personal que pudiera estar en el radio de la zona de alto riesgo del escenario. Al igual que el escenario anterior, no se espera que se encuentre personal permanentemente en estas secciones, por lo que la únicamente se espera que pueda haber contacto con personal cuando estos se encuentren en sus rondas de inspección (2 empleados cada 8 horas).

Además, debido a los efectos de los impulsos causados por la sobrepresión, existiría daños a las estructuras de los equipos en el área de proceso, con posible demolición de las estructuras cercanas; así como fatalidades inmediatas debido a que se presentan 3 Psi, en un radio de 141 m en los primeros segundos de producida la explosión, dentro de la cual se encuentra el área de deshidratación.

Es relevante mencionar que dichos escenarios sólo se presentan con fines ilustrativos debido a que se trata de escenarios que, aunque la severidad de sus consecuencias es alta, su probabilidad de ocurrencia es limitada y de acuerdo con las salvaguardas, ésta se reduce a un nivel remoto. Considerando esto, el resto de los escenarios tienen efectos menores a los representados en los peores casos.

La evidencia que las potenciales consecuencias de los eventos de incendio y explosión que resultarían en eventos de pérdida de contención (LOC) en el Proyecto, consideran un impacto aceptable a los receptores antes mencionados; y por tanto se considera que los eventos poseen un nivel de riesgo **ACEPTABLE**, siempre y cuando, sean administradas las recomendaciones que surgieron a través del ejercicio de HAZOP, cómo se describe a continuación.

Para mantener administrados los valores de Riesgo dentro de los criterios de aceptación del riesgo, se recomienda que se implementen acciones derivadas del HAZOP que reduzcan la probabilidad de ocurrencia de los principales factores identificados como causantes de las pérdidas de contención. Además, de las siguientes acciones:

- Establecer y asegurar el cumplimiento del programa de inspección para integridad mecánica del durante la fase de operación y mantenimiento.
- Establecer campañas de comunicación con empleados y habitantes de las zonas cercanas al Proyecto, que refuercen el conocimiento de los riesgos del gas natural y la notificación a Newpek cuando las personas requieran realizar tareas (por ejemplo, excavaciones o trabajos con herramientas) en la proximidad del derecho de vía de las líneas de descarga del Proyecto.

ERM has over 160 offices across the following countries and territories worldwide

Argentina	Países Bajos
Australia	Nueva Zelanda
Bélgica	Norway
Brasil	Panamá
Canadá	Perú
Chile	Polonia
China	Portugal
Colombia	Puerto Rico
France	Romania
Alemania	Russia
Ghana	Senegal
Guyana	Singapore
Hong Kong	South Africa
India	South Korea
Indonesia	Spain
Ireland	Sweden
Italy	Switzerland
Japón	Taiwan
Kazakstán	Tanzania
Kenia	Thailand
Malaysia	UAE
Mexico	UK
Mozambique	US
Myanmar	Vietnam

ERM México

Mariano Escobedo 476, Piso 13

Ciudad de México, MX 04350

T: 52-55-50002500

www.erm.com