



ANÁLISIS DE RIESGO

SECTOR HIDROCARBUROS

Actividades Altamente Riesgosas

Estación de Descompresión
MAS HARINA

Abril 2022

CORPORACIÓN C H 4, S.A. DE C.V.



ANÁLISIS DE RIESGO

SECTOR HIDROCARBUROS

Actividades Altamente Riesgosas

Estación de Descompresión
MAS HARINA

CAPÍTULO 1

Escenarios de los Riesgos Ambientales
relacionados con el proyecto



CAPÍTULO 1

Escenarios de los Riesgos Ambientales relacionados con el proyecto

CONTENIDO

1.1 BASES DE DISEÑO	9
1.1.1 Objetivo.....	9
1.1.2 Generalidades del proyecto	9
1.1.3 Documentos de referencia	11
1.1.4 Ingeniería de proceso	11
1.1.4.1 Obra civil.....	13
1.1.4.2 Instalación Eléctrica.....	13
1.1.4.3 Equipos.....	13
1.2 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO	14
1.2.1 Descripción del proceso.....	14
1.2.2 Etapas del proceso	15
1.2.3 Hojas de seguridad	15
1.2.4 Servicios Auxiliares	16
1.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD	16
1.3.1 Señalización	17
1.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN	18
1.4.1 Condiciones de operación en equipos y accesorios	18
1.4.1.1 Postes de descarga	18
1.4.1.2 Línea de Alta Presión.....	19
1.5 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO	19
1.5.1 Delimitación del Sistema Ambiental	19
1.5.2 Área de Influencia	21
1.5.3 Caracterización y análisis de Sistema Ambiental	22
1.5.4 Medio Abiótico.....	22
1.5.4.1 Clima.....	22
1.5.4.2 Temperatura promedio mensual y anual.....	23
1.5.4.3 Precipitación	24
1.5.4.4 Velocidad del viento y Radiación solar	24

1.5.4.5	Fenómenos climatológicos	25
1.5.4.6	Geología.....	28
1.5.4.7	Características del relieve	29
1.5.4.8	Susceptibilidad de riesgos	31
1.5.4.9	Suelo	32
1.5.4.10	Hidrología	34
1.5.5	Medio Biótico.....	37
1.5.5.1	Vegetación.....	37
1.5.5.2	Uso de suelo.....	39
1.5.5.3	Muestreo.....	40
1.6	ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS	42
1.6.1	Población.....	42
1.6.2	Lenguas indígenas.....	42
1.6.3	Educación.....	43
1.6.4	Calidad de vida.....	44
1.6.5	Servicios y conectividad en la vivienda	44
1.6.6	Tiempo de traslado	45
1.6.7	Medio de transporte al trabajo y colegio	46
1.6.8	Población económicamente activa	47
1.6.9	Salud	48
1.7	PAISAJE	48
1.7.1	Unidades del Paisaje.....	49
1.7.2	Calidad Visual.....	49
1.7.3	Fragilidad Visual.....	50
1.8	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	50
1.8.1	Integración e interpretación del inventario ambiental	51
1.8.1.1	Factores Abióticos.....	51
1.8.1.2	Factores Bióticos	52
1.9	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS	53
1.9.1	Objetivo.....	53
1.9.2	Alcance	54
1.9.3	Definiciones.....	54
1.9.4	Análisis preliminar de riesgos.....	60

1.9.5	Antecedentes de incidentes y accidentes de proyectos y/o instalaciones similares	60
1.9.6	Identificación de peligros, evaluación y análisis de riesgo	64
1.9.6.1	Fase de identificación y análisis de riesgo cualitativo	64
1.9.6.1.1	Criterios de selección de las metodologías utilizadas para el análisis y evaluación de riesgos	64
1.9.6.2	Identificación de peligros y evaluación de riesgos	65
1.9.6.3	Descripción y desarrollo de la metodología para la identificación de riesgos	65
1.9.6.4	Evaluación de riesgos	70
1.9.6.5	Matriz de riesgos	72
1.9.6.6	Clasificación de los niveles de riesgo	73
1.9.6.7	Fase de análisis de riesgo	74
1.9.6.8	Nodos analizados del HazOp	74
1.9.6.9	Determinación de escenarios de riesgo (Jerarquización)	75
1.9.6.10	Sistemas analizados (metodología ¿Qué pasa sí...?)	77
1.9.6.11	Determinación de escenarios de riesgo (Jerarquización)	78

Índice de Tablas

Tabla 1.1	Coordenadas UTM que delimitan el polígono donde se desarrollará la “Estación de Descompresión MAS HARINA”	9
Tabla 1.2	Elementos de la Unidad de Regulación de Presión (PRU)	14
Tabla 1.3	Especificación del Gas Natural	15
Tabla 1.4	Elementos de los Postes de descarga	18
Tabla 1.5	Datos y características de la Unidad de Regulación de Presión (PRU)	18
Tabla 1.6	Áreas y superficies delimitadas para la construcción de la “Estación de Descompresión MAS HARINA”	22
Tabla 1.7	Estación climatológica más cercana al área del Sistema Ambiental definido para el proyecto	23
Tabla 1.8	Valores promedio de las “Normales Climatológicas” de la estación climatológica más cercana al área del Sistema Ambiental (SMN, 2010)	24
Tabla 1.9	Valores promedio de Precipitación Pluvial Anual dentro del Sistema Ambiental	24

Tabla 1.10	Datos monitoreados durante los últimos 90 días a través de la estación climatológica más cercana al área de estudio (Sistema de Información y visualización de Estaciones Automáticas, 2022).....	24
Tabla 1.11	Datos generales de la Estación “Tlajomulco” (Sistema de Información y visualización de Estaciones Automáticas, 2022).....	24
Tabla 1.12	Zonas sísmicas de México.....	31
Tabla 1.13	Descripción de las características presentes de los Phaeozems (FAO, 2014).....	33
Tabla 1.14	Resumen de la Hidrología superficial del Sistema Ambiental.....	34
Tabla 1.15	Vegetación representativa del Acatlán de Juárez, Jalisco.....	37
Tabla 1.16	Vegetación ubicada en el municipio de Acatlán de Juárez y enlistada dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.....	38
Tabla 1.17	Especies de fauna reportadas en el municipio de Acatlán de Juárez.....	40
Tabla 1.18	Población total Acatlán de Juárez.....	42
Tabla 1.19	Sustancias de mayor índice de accidentes (1996 2002).....	63
Tabla 1.20	Tabla de clasificación de frecuencias para escenarios de riesgo.....	70
Tabla 1.21	Descripción de las consecuencias.....	71
Tabla 1.22	Matriz de riesgo.....	73
Tabla 1.23	Niveles de riesgo.....	74
Tabla 1.24	Nodos analizados en la identificación de riesgos mediante la Metodología HazOp.....	74
Tabla 1.25	Resumen de resultados de la identificación de riesgos.....	75
Tabla 1.26	Matriz de daños al personal.....	75
Tabla 1.27	Matriz de daños a la población.....	76
Tabla 1.28	Matriz de daños al medioambiente.....	76
Tabla 1.29	Matriz de daños a la instalación.....	76
Tabla 1.30	Total de escenarios inherentes.....	77
Tabla 1.31	Sistemas analizados en la identificación de riesgos mediante la Metodología ¿Qué pasa sí...?.....	77
Tabla 1.32	Resumen de resultados de la identificación de riesgos.....	78
Tabla 1.33	Matriz de daños al personal.....	78
Tabla 1.34	Matriz de daños a la población.....	79
Tabla 1.35	Matriz de daños al medioambiente.....	79
Tabla 1.36	Matriz de daños a la instalación.....	79
Tabla 1.37	Total de escenarios inherentes.....	80

Tabla 1.38 Escenarios de riesgos identificados 80

Índice de Figuras

Figura 1.1 Ubicación física de la “Estación de Descompresión MAS HARINA”..... 10

Figura 1.2 Ubicación del polígono de la “Estación de Descompresión MAS HARINA” 10

Figura 1.3 Área de la “Estación de Descompresión MAS HARINA” 12

Figura 1.4 Señales a utilizar en la “Estación de Descompresión MAS HARINA” 17

Figura 1.5 Identificación de las áreas definidas para la Construcción y Operación de la “Estación de Descompresión MÁS HARINA” (MH) 21

Figura 1.6 Clima dentro del Sistema Ambiental (SA) y Área de desarrollo del proyecto (AP) 23

Figura 1.7 Ubicación de la estación automática “Tlajomulco” 25

Figura 1.8 Clasificación de la intensidad de sequía (CONAGUA, 2021)..... 26

Figura 1.9 Monitoreo de sequía de México para el periodo comprendido entre el 01 y 15 de marzo de 2021..... 27

Figura 1.10 Monitoreo de sequía de México para el periodo comprendido entre el 01 y 15 de julio de 2021 27

Figura 1.11 Geología dentro del Sistema Ambiental (SA) y Área de desarrollo del proyecto (AP) 29

Figura 1.12 Geomorfología dentro del Sistema Ambiental (SA) y área de desarrollo del proyecto (AP)..... 30

Figura 1.13 Topografía dentro del Sistema Ambiental (SA) y Área de desarrollo del proyecto (AP) 31

Figura 1.14 Regionalización sísmica de la República Mexicana (CFE, 2008) 32

Figura 1.15 Tipo de suelo dentro del Sistema Ambiental y área de desarrollo del proyecto 33

Figura 1.16 Mapa de Regiones Hidrológico-Administrativas de la República Mexicana .. 34

Figura 1.17 Cuencas Hidrológicas dentro del Sistema Ambiental y área de desarrollo del proyecto..... 35

Figura 1.18 Hidrología superficial dentro del Sistema Ambiental y área de desarrollo del proyecto..... 36

Figura 1.19 Profundidad al nivel estático (m) correspondiente al acuífero Lagunas 37

Figura 1.20	Vegetación y Uso de suelo dentro del área de estudio	39
Figura 1.21	Lenguas maternas habladas en Acatlán de Juárez	43
Figura 1.22	Niveles de escolaridad en Acatlán de Juárez	43
Figura 1.23	Distribución de viviendas particulares en 2020	44
Figura 1.24	Porcentaje de población con enseres menores	45
Figura 1.25	Porcentaje de población con acceso a servicios tecnológicos	45
Figura 1.26	Porcentaje de población con acceso a transporte	45
Figura 1.27	Distribución de la población según el tiempo de traslado al trabajo	46
Figura 1.28	Medios de transporte utilizados en Acatlán de Juárez	47
Figura 1.29	Población económicamente activa dentro de Acatlán de Juárez de acuerdo con el género	47
Figura 1.30	Afiliación a los servicios de salud en el municipio de Acatlán de Juárez	48
Figura 1.31	Unidad del paisaje definida como “Llanuras y Sierras de Acatlán de Juárez, Jalisco”	49
Figura 1.32	Secuencia de elaboración de la metodología HazOp	68
Figura 1.33	Secuencia para el desarrollo de la metodología ¿Qué pasa sí...?	69

CAPÍTULO 1

Escenarios de los Riesgos Ambientales relacionados con el proyecto

1.1 BASES DE DISEÑO

1.1.1 Objetivo

El presente Estudio tiene como objetivo describir los lineamientos técnicos sobre los cuales se diseñará la Ingeniería de detalle del proyecto denominado “**Estación de Descompresión MAS HARINA**” en cumplimiento con la norma oficial mexicana NOM-010-ASEA-2016 que especifica los requisitos mínimos de seguridad para Terminales de Carga y Terminales de Descarga de Módulos de almacenamiento transportables y Estaciones de Suministro de vehículos automotores.

1.1.2 Generalidades del proyecto

La “**Estación de Descompresión MAS HARINA**” consiste en la Preparación del sitio, Construcción, Operación y Mantenimiento de la Estación de Descompresión que tiene como finalidad recibir el Gas Natural Comprimido (GNC) y posteriormente, reducir la presión del gas con la que fue recibido, permitiendo su uso por parte de la empresa COMERCIALIZADORA

UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

(Figura I.2), con las coordenadas que se presentan en la Tabla 1.1

COORDENADAS DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA
LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y
110 FRACCION I DE LA LFTAIP

1.1.3 Documentos de referencia

Con la finalidad de identificar los componentes de la Estación de Descompresión a continuación se enuncian documentos Anexos:

- ✓ Anexo 1-2. Manual de equipos de la Estación de Descompresión
- ✓ Anexo 1-3. Plot Plan de Instalación de la Estación de Descompresión
- ✓ Anexo 1-4. Diagrama de Tuberías e Instrumentación de BonGas

1.1.4 Ingeniería de proceso

La “**Estación de Descompresión MAS HARINA**” tiene como finalidad reducir la presión del Gas Natural alimentando las líneas de producción de harina de trigo, harina de maíz y granos para molineros, así como calderas de la empresa, ubicada en el municipio de Acatlán de Juárez, en el estado de Jalisco.

El diseño de la Estación se realizará en cumplimiento con la normatividad aplicable en su materia, tales como:

- ✓ **NOM-001-SECRE-2010.** Especificaciones de Gas Natural.
- ✓ **NOM-002-SEDE-2018.** Establece los requisitos mínimos de seguridad y eficiencia energética que deben cumplir los transformadores de distribución, además establece los métodos de prueba que deben utilizarse para evaluar estos requisitos.
- ✓ **NOM-010-ASEA-2016.** Requisitos mínimos de seguridad para Terminales de Carga y Terminales de Descarga de Módulos de almacenamiento transportables y Estaciones de Suministro de vehículos automotores.
- ✓ **NOM-018-STPS-2015.** Establecer los requisitos para disponer en los centros de trabajo del sistema armonizado de identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas, a fin de prevenir daños a los trabajadores y al personal que actúa en caso de emergencia.

Todas las disciplinas de Ingeniería deberán considerar en sus diseños tecnologías de punta en relación con los materiales y equipos especificados.

La Estación de Descompresión ocupará un área de 246 m² otorgada en comodato por parte del cliente a CORPORACIÓN C H 4, S.A. de C.V., su distribución se muestra en la Figura 1.3 y se compondrá de los siguientes elementos:

- Área de andenes para 2 módulos de almacenamiento móvil.
- Dos postes de descarga con 2 mangueras y accesorios de alta presión.
- Un Unidad de Regulación de Presión de 600 Nm³/hr
- Un Módulo de Control de Calentamiento
- Una Caseta de Operación

Estación de Descompresión MAS HARINA

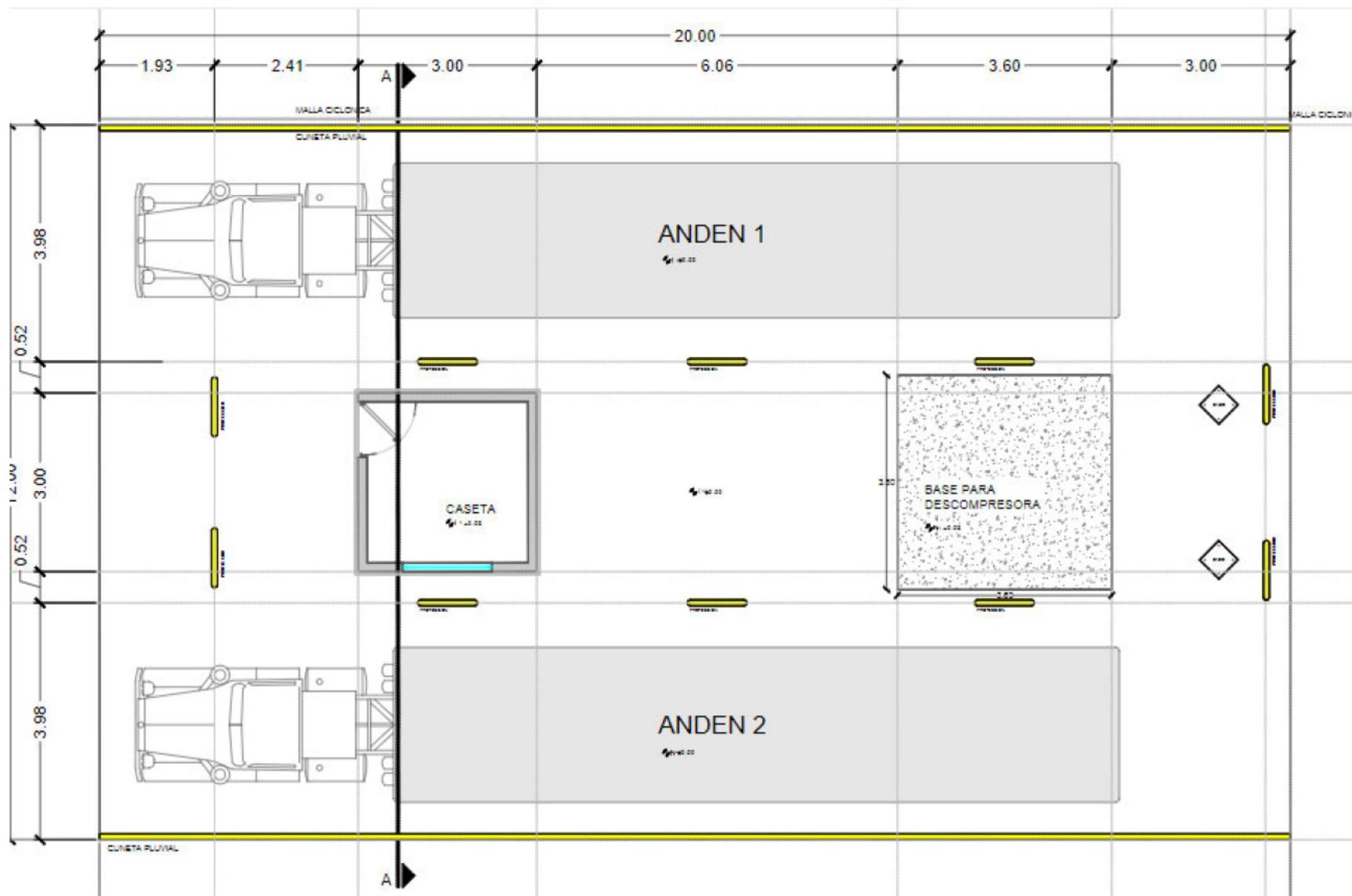


Figura 1.3 Área de la “Estación de Descompresión MAS HARINA”

1.1.4.1 Obra civil

Su diseño se realizó en cumplimiento con las Normas Mexicanas vigentes: **NOM-002-ASEA-2016, NOM-010-ASEA-2016, NOM-002 SEDE-2018, NOM-018 STPS-2015.**

El proyecto ocupará un área de 246 m², otorgada en el comodato por parte del cliente a CORPORACIÓN C H 4, S.A. DE C.V. y se integrará de los siguientes elementos:

- ✓ Área de andenes
- ✓ Área de descompresión de GNC
- ✓ Área de Operación

Para la operación de la estación de descompresión es necesaria la presencia de personal calificado que llevará el mantenimiento y operación en los turnos de producción de la planta, esto garantizará el correcto funcionamiento de la estación. Por esta razón la estación está provista de una caseta de operación para alojar material de limpieza, herramientas de trabajo, documentación, material de cómputo y muebles de oficina para la estancia del operador.

1.1.4.2 Instalación Eléctrica

La estación cuenta con una instalación eléctrica que tiene la capacidad de alimentar:

- ✓ Tableros de distribución eléctrica
- ✓ Alumbrado exterior
- ✓ Servicios de alumbrado y fuerza dentro de la caseta de operación

La instalación se diseñó y construyó en cumplimiento con la norma vigente NOM-001-SEDE-2018.

1.1.4.3 Equipos

Postes de descarga

La Estación cuenta con dos Postes de descarga para el suministro de GNC. Estos se interconectan a una línea de alta presión que alimenta a la Unidad de Regulación de Presión (PRU) con capacidad de 3600 psi en todos sus componentes.

En el Anexo 1-2 se presenta el Manual de los Postes de Descarga que se utilizarán en la Estación de Descompresión.

Unidad de Regulación de Presión (PRU)

La Unidad de Regulación de Presión es un skid preensamblado en fábrica y montado en una estructura de acero, que tiene como finalidad reducir la presión del Gas Natural que llega envasado en los módulos a una presión de 250 bar hasta reducirse a 4 bar, presión requerida para el suministro de la línea interna de alimentación del cliente.

La PRU consta de dos etapas de regulación, con capacidad hasta de 600 Nm³/h. La PRU cuenta con instrumentación y válvulas instaladas en una estructura de dimensiones de 2.43 m x 1.96 m x 2.20 m. Esta se compone de diversos elementos para operar de forma segura y acondicionar el gas natural para el suministro de usuario final, tal y como se indican en la Tabla 1.2. Y el Manual de la PRU se incluye en el Anexo 1-2, donde se puede encontrar con mayor detalle sus características, operación y mantenimiento.

Tabla 1.2 Elementos de la Unidad de Regulación de Presión (PRU)

	Elementos
Unidad de Regulación de Presión (PRU)	Un puerto de entrada de GNC (alta presión)
	Un par de filtros contra condensados y partículas sólidas
	Un intercambiador de calor para compensar el efecto Joule-Thompson
	Un puerto de alimentación al sistema de calefacción
	Dos etapas de regulación redundantes con 2 válvulas instaladas en arreglo monitor
	Tuberías y accesorios acorde con su capacidad de presión requerida
	Una válvula de seguridad calibrada a 20 bar
	Un explosímetro
	Un tablero de control
	Un sistema de medición de flujo en el puerto de salida

Módulo de Calentamiento de Agua (MCA)

El MCA consta de una caldera, un regulador de gas, un quemador, control con pantalla y una bomba. Calienta y bombea agua a través de un circuito continuo a la PRU. Este equipo quema una cantidad relativamente pequeña de GN suministrado por la PRU que se toma de un puerto ubicado en la segunda etapa de regulación previo al tren de medición.

La alimentación del MCA emplea el mismo gas de la Estación en su etapa de baja presión, lo que garantiza un mayor margen de seguridad de trabajo, autonomía e independencia de instalaciones eléctricas brindando seguridad y confianza en la operación.

El Manual se del MCA se incluye en el Anexo 1-2.

1.2 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO

1.2.1 Descripción del proceso

La modalidad de estaciones móviles para el suministro de Gas Natural es un proceso cíclico que inicia por el ingreso de un Módulo de Almacenamiento Móvil (MAM) que transportan Gas Natural Comprimido vía terrestre, por medio de un tractocamión, al interior de la Estación de Descompresión donde se estacionará y acoplará en uno de los dos andenes disponibles; una vez descargado el GNC se retira el MAM y regresa a la Estación donde se cargará nuevamente de Gas Natural para repetir el procedimiento.

Para asegurar el suministro continuo de Gas Natural a la empresa COMERCIALIZADORA MAS HARINA, en la “Estación de Descompresión MAS HARINA” estará un MAM conectado a un Módulo de Regulación de Presión (PRM por sus siglas en inglés) mediante una manguera de uno de los postes de descarga, en tanto un MAM lleno, proveniente de la planta de compresión, llegará con tiempo de anticipación a la Estación para conectarse al poste de descarga desocupado, en espera para ser puesto en servicio.

Una vez que el MAM conectado en “descarga” baje su presión, se abrirá la válvula del MAM “lleno” para igualar la presión y ponerlo en “descarga”; posteriormente, el MAM “vacío” se desconectará del poste y será remolcado a la Estación para nuevamente iniciar el ciclo de compresión, transporte y descarga del Gas Natural.

1.2.2 Etapas del proceso

La Estación de Descompresión se estructurará con las siguientes etapas:

1. Etapa de regulación de presión y recepción de gas natural comprimido.
2. Etapa de filtración que se tendrá en el intercambiador de calor para eliminar pequeñas partículas del suministro de gas.
3. Etapa de recirculación del agua a través de una válvula de 3 vías.
4. Etapa de descompresión, es decir, que el MAM en descarga bajará su presión hasta 20 bar, para abrir la válvula de MAM lleno para igualar la presión y ponerlo en descarga, posteriormente el MAM vacío se desconectará del poste y será remolcado a la planta de Compresión para nuevamente iniciar el ciclo.

1.2.3 Hojas de seguridad

Para tener conocimiento del tipo y las características del gas natural que se utilizará en la Estación de Descompresión en el Anexo 1-5 se incluye la Hoja de Seguridad de Gas Natural de la empresa **CORPORACIÓN C H 4, S.A. DE C.V.**

Para el caso de las especificaciones del gas natural que se empleará en la Estación, se tomarán los datos establecidos en la columna identificada como “Resto del País” (Tabla 1.3), tal y como lo establece la norma oficial mexicana NOM-001-SECRE-2010.

Tabla 1.3 Especificación del Gas Natural

Propiedad	Unidades	Zona Sur			Resto del país
		Hasta el 31 de diciembre de 2010	Del 1 de enero de 2011 al 31 de diciembre de 2012	A partir del 1 de enero de 2013	
Metano (CH₄)-Min.	% vol	NA	NA	83.00	84.00
Oxígeno (O₂)-Max.	% vol	0.20	0.20	0.20	0.20
Bióxido de Carbono (CO₂)-Max.	% vol	3.00	3.00	3.00	3.00

Propiedad	Unidades	Zona Sur			Resto del país
		Hasta el 31 de diciembre de 2010	Del 1 de enero de 2011 al 31 de diciembre de 2012	A partir del 1 de enero de 2013	
Nitrógeno (N2)-Max.	% vol	9.00	8.00	6.00	4.00
Nitrógeno variación máxima diaria	% vol	±1.5	±1.5	±1.5	±1.5
Total, de inertes (CO2 y N2)- Max.	% vol	9.00	8	6.00	4.00
Etano- Max.	% vol	14.00	12	11.00	11.00
Temperatura de rocío de hidrocarburos-Max.	K (°C)	NA	271,15 (-2)	271.15 (-2)	271.15 (-2)
Humedad (H2O)-Max.	Mg/m³	110.00	110.00	110.00	10.00
Poder calorífico superior-Min.	Mg/m³	35.30	36.30	36.80	37.30

1.2.4 Servicios Auxiliares

Los servicios auxiliares que se necesitarán para la Estación de Descompresión serán los siguientes:

- Energía eléctrica
- Suministro de agua

El sitio donde se desarrollará la Estación de Descompresión es otorgado y se encuentra dentro de las instalaciones de COMERCIALIZADORA MAS HARINA, S.A. DE C.V., contando con las siguientes características y servicios:

- ❖ Plancha de concreto, donde será colocada la caseta de operaciones, el descompresor, los postes de descarga y el área de andenes
- ❖ Toma de agua que será utilizada principalmente para la limpieza del descompresor, ya que el equipo utiliza una pequeña cantidad de agua que se estará recirculando constantemente
- ❖ Toma eléctrica de 220 Volts para la instalación del tablero eléctrico de donde se conectarán los equipos

Asimismo, la empresa Consumidora permitirá el uso de sus instalaciones sanitarias para los trabajadores de la Estación de Descompresión.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD

La Estación de Descompresión de gas natural contará con los siguientes elementos de seguridad.

1.3.1 Señalización

Con la finalidad de prevenir accidentes y hacer de la “Estación de Descompresión MAS HARINA” un lugar más seguro de trabajo, se contará con señalética y pictogramas apegados con la norma oficial mexicana NOM-018-STPS-2015, para indicar ubicación de extintores, rutas de evacuación, EPP requerido y restricciones de uso de equipo de comunicación (Figura 1.4).

Además de la señalética en la Estación se encuentran instrucciones de operación impresas para cambios de Módulos, operación de la PRU y protocolos en caso de sismo o incendio.

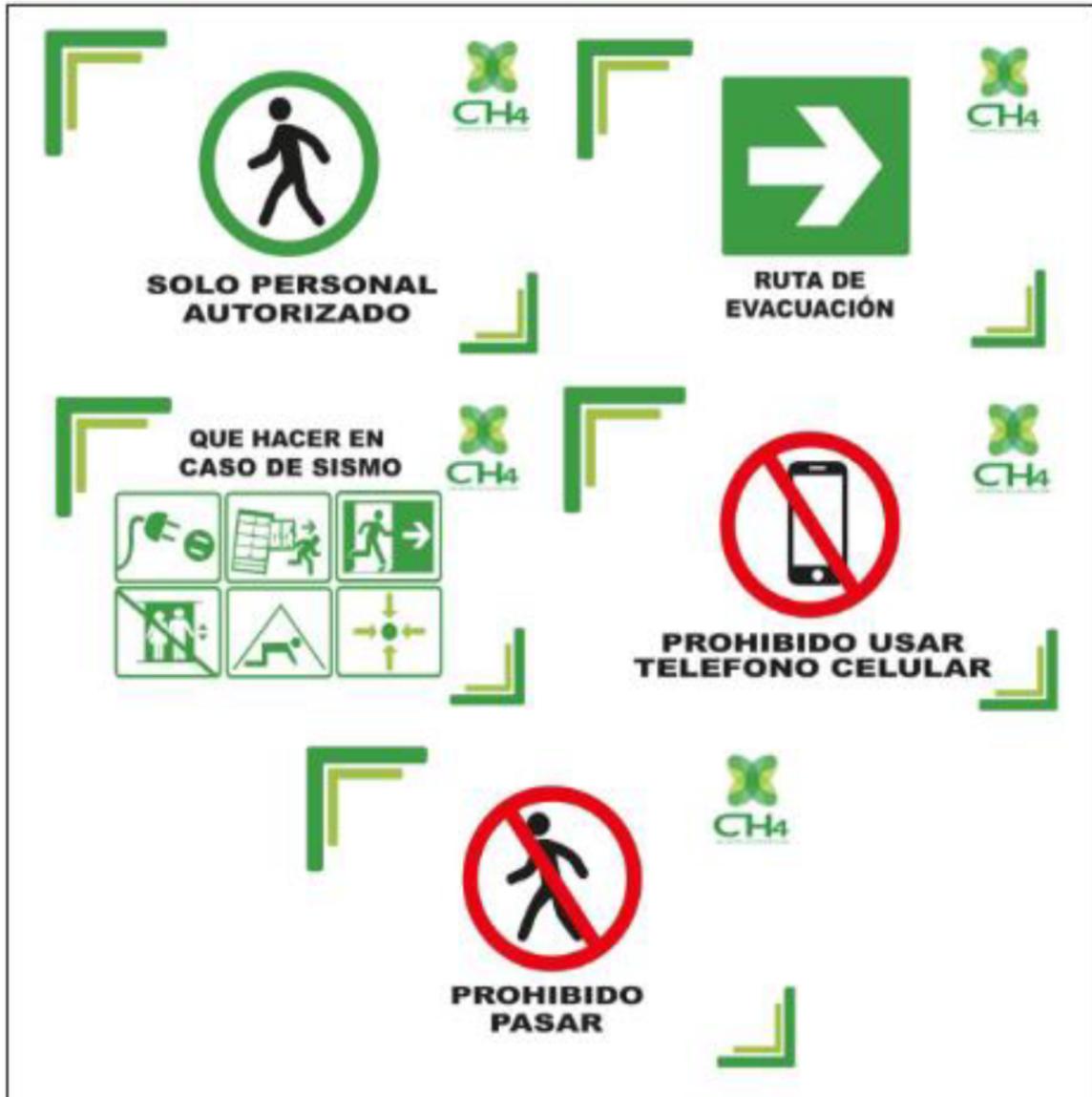


Figura 1.4 Señales a utilizar en la “Estación de Descompresión MAS HARINA”

1.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN

1.4.1 Condiciones de operación en equipos y accesorios

1.4.1.1 Postes de descarga

El diseño y fabricación de los Postes de descarga permite al operador intercambiar los Módulos de Gas Natural vacíos por los Módulos de Gas Natural Llenos sin interrumpir el suministro a la Estación. Además de realizar la tarea de operación y monitoreo de forma segura. En la Tabla 1.4 se muestran los elementos de los Postes de descarga.

Tabla 1.4 Elementos de los Postes de descarga

Postes de Descarga	Elementos
	Conector rápido de 1"
	Manguera de 4.5 m con extremos roscados de 1"
	Dispositivo de desprendimiento de manguera
	Válvula de bola manual de paso completo de 1"
	Manómetro de 4", con su válvula de servicio de 1/2"
	Válvula de bola manual de paso completo de 1/2"
	Válvula de seguridad calibrada a 280 psi

Unidad de Regulación de Presión (PRU)

La Unidad de Regulación de Presión es un skid pre ensamblado en fábrica y montado en una estructura de acero, que tiene como finalidad reducir la presión del Gas Natural que llega envasado en los módulos a una presión de 250 bar hasta reducirse a 4 bar, presión requerida para el suministro de la línea interna de alimentación del cliente.

La PRU consta de dos etapas de regulación, con capacidad hasta de 600 Nm³/h. La PRU cuenta con instrumentación y válvulas instaladas en una estructura de dimensiones de 2.43 m x 1.96 m x 2.20 m. En la Tabla 1.5 se muestran las características de la Unidad de Regulación de Presión (PRU), la cual se compone de diversos elementos para operar de forma segura y acondicionar el gas natural para el suministro de usuario final, tal y como se indican en la Tabla 2.4. Y el manual de la PRU se incluye en el Anexo 1-5, donde se puede encontrar con mayor detalle sus características, operación y mantenimiento.

Tabla 1.5 Datos y características de la Unidad de Regulación de Presión (PRU)

Características de la PRU	
Fabricante:	BonGas
Modelo:	BG-D-600
No. Serie:	582
Capacidad:	600 Nm ³ /h
Presión de entrada:	250 bar

Características de la PRU	
Presión de salida:	4 bar
Año de fabricación:	2016

La línea de entrada al PRU está conectada a una tubería, donde el gas que fluye hacia él pasa a través de una válvula de entrada, normalmente cerrada, a prueba de fallas, cuenta con un sistema de filtrado para elementos coalescentes y partículas con una eficiencia del 99.5% y superior al 99%, respectivamente. Las impurezas se acumulan en el elemento de filtrado, permitiendo que el gas limpio continúe su recorrido hacia las etapas de descompresión.

En la regulación de la primera etapa se encuentra un arreglo en paralelo de 7 reguladores de alta presión tipo BG3600 que garantiza un flujo de hasta 700 m³/h.

La PRU está provista de un calentador integrado el cual tendrá como función ceder energía al GN mediante la circulación de agua caliente a 85°C que proviene del Módulo de Calentamiento de Agua (MCA) instalado externamente a 3 m de distancia aproximadamente; esto con el propósito de evitar formaciones de hielo e hidratos.

La alimentación del MCA emplea el mismo gas de la Estación en su etapa de baja presión, lo que garantiza un mayor margen de seguridad de trabajo, autonomía e independencia de instalaciones eléctricas brindando seguridad y confianza en la operación.

El MCA consta de una caldera, un regulador de gas, un quemador, control con pantalla y una bomba. Calienta y bombea agua a través de un circuito continuo a la PRU. Este equipo quema una cantidad relativamente pequeña de GN suministrado por la PRU que se toma de un puerto ubicado en la segunda etapa de regulación previo al tren de medición.

1.4.1.2 Línea de Alta Presión

En la “Estación de Descompresión MÁS HARINA” se contará con un tendido de tuberías (Anexo 1-6) calculada y construida de acuerdo con la capacidad requerida y en cumplimiento con la norma vigente NOM-010-ASEA-2016.

Se contratará el servicio de una Unidad Verificadora acreditada ante la e.m.a. con registro vigente, para la certificación de la línea de alta presión, a la cual se le proveerá de la documentación necesaria por parte de CORPORACIÓN C H 4 S.A. de C.V., COMERCIALIZADORA MAS HARINA S.A. de C.V. y de la empresa contratista para formalizar el acta circunstanciada y posteriormente, el dictamen final.

1.5 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO

1.5.1 Delimitación del Sistema Ambiental

El Sistema Ambiental (SA) se define como el conjunto de interacciones entre el ecosistema (componentes abióticos y bióticos) y el subsistema socioeconómico (incluidos los aspectos

culturales) de la región donde se pretende establecer el proyecto. Su delimitación es importante, pues nos permite realizar un análisis general e integral de aspectos como la hidrología, cobertura vegetal, geología, geomorfología, así como las áreas de afectación antropogénica y el uso de suelo actual dentro del área de estudio.

Para la delimitación del SA, se tomó como base la presencia de barreras físicas existentes, tales como bardas, carreteras, o caminos, mismas que fragmentan el paisaje y a la vez delimitan la extensión de los posibles impactos ambientales.

Asimismo, cabe destacar que, para el desarrollo del inventario ambiental y análisis del SA, se utilizó la información cartográfica disponible para cada uno de los componentes que interactúan en el SA tales como la hidrología superficial y subterránea, tipo de vegetación y uso de suelo, geología, geomorfología, clima, así como los aspectos culturales y centros poblacionales presentes en las áreas colindantes.

Con base en lo anterior, se hace referencia a la siguiente cartografía:

- Hidrología: Carta de Cuencas Hidrológicas (CONABIO, 1998)
- Vegetación: Carta de Uso de Suelo y Vegetación serie VII (INEGI, 2021)
- Geología: Conjunto de datos Geológicos de México (Servicio Geológico Mexicano, 2005)
- Geomorfología: Conjunto de datos Fisiográficos. serie I. (INEGI, 2001)
- Suelo: Carta Edafológica de México (CONABIO, 1995)
- Clima: Conjunto de datos Climáticos de México (E. García y CONABIO, 1998)
- Centros Poblacionales: Carta Topográfica clave F13D75 con nombre Jocotepec (INEGI, 2014)

Con base en lo anteriormente descrito, considerando las dimensiones del proyecto, se estableció el límite físico del SA, cuya superficie resultante fue de 599,155 m² misma que se define como el área de estudio y de referencia (Figura 1.5).

UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

1.5.2 Área de Influencia

El Área de Influencia (AI) se define como el espacio geográfico sobre el que las actividades y componentes del proyecto ejercen algún tipo de impacto ambiental y social, ya sea directa o indirectamente (Gómez, 2013). En otras palabras, es la zona del proyecto donde inciden de una u otra manera, los factores bióticos, abióticos y socioculturales.

Un criterio importante para considerar la delimitación del AI fue la influencia potencial del proyecto sobre la superficie del terreno y las áreas colindantes. Lo anterior, con la premisa de que la ejecución de las actividades a desarrollar no generará impactos fuera de la superficie definida para la Construcción y Operación de la Estación de Descompresión. Así, se definió un polígono de 30,686 m² (Figura 1.5) correspondiente a las instalaciones de COMERCIALIZADORA MÁS HARINA, S.A. DE C.V.

Además, considerando que los principales efectos derivados del proyecto tienen un carácter puntual para la etapa de Operación de la Estación de Descompresión; el área de estudio (referida en adelante como Área del Proyecto o AP) se determinó con una superficie total máxima de 246 m² ubicados dentro del AI (Figura 1.5).

Derivado de lo anterior, en la Tabla 1.6 se muestran las áreas que fueron definidas y sus superficies, tal y como se identifican en la Figura 1.5.

Tabla 1.6 Áreas y superficies delimitadas para la construcción de la “Estación de Descompresión MAS HARINA”

No.	Áreas delimitadas	Superficie (m ²)
1	Sistema Ambiental (SA)	599,155
2	Área de Influencia (AI)	30,686
3	Área del Proyecto (AP)	246.00

1.5.3 Caracterización y análisis de Sistema Ambiental

Este apartado y sus secciones tienen como objetivo recopilar información que ayude a identificar a detalle las principales características de los elementos físicos (abióticos) y biológicos (bióticos) dentro del SA para de esta manera, obtener una caracterización de los recursos naturales que interactúan dentro del AI y AP.

Dicha caracterización se realizó conforme con la revisión de la bibliografía existente, recopilando la información de las características del medio abiótico y biótico que se encuentran dentro del SA, AI y AP delimitados para el proyecto.

1.5.4 Medio Abiótico

1.5.4.1 Clima

Con base en la clasificación propuesta por Köppen, modificada por García, E. (2004), dentro del Sistema Ambiental definido para el proyecto, así como en las zonas colindantes se registra un clima con la siguiente clasificación:

(A)C(wo): Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2, y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual (E. García, 2004).

La Figura 1.6 muestra el clima representativo del municipio de Acatlán de Juárez en el estado de Jalisco, localidad donde se desarrollará el proyecto.

UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

1.5.4.2 Temperatura promedio mensual y anual

Para el análisis de la temperatura dentro del SA, se hizo uso de los datos estadísticos proporcionados por las Estaciones Climatológicas monitoreadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (Tabla 1.7), ello considerando la estación activa más cercana al Sistema Ambiental.

Tabla 1.7 Estación climatológica más cercana al área del Sistema Ambiental definido para el proyecto

Clave de la estación	Nombre	Estado	Municipio	Coordenadas decimales	Periodo del análisis
16186	Acatlán de Juárez	Jalisco	Acatlán de Juárez	20.4205°, - 103.5911°	1951 - 2010

En promedio, los registros de esta estación para el periodo 1951-2010 se presentan en la Tabla 1.8 (SMN,2010), registrando los siguientes promedios anuales de temperatura:

- Temperatura media normal anual de 20.5 °C,
- Temperatura máxima promedio anual de 29.6 °C
- Temperatura mínima promedio anual de 11.3 °C

Tabla 1.8 Valores promedio de las “Normales Climatológicas” de la estación climatológica más cercana al área del Sistema Ambiental (SMN, 2010)

Temperatura (°C)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
Máxima	26.7	28.5	30.9	33	34	31.6	28.9	28.6	28.4	28.6	28.4	27.3	29.6
Normal	16.4	17.6	19.4	21.4	23.4	23.7	22.5	22.2	22.1	21.1	18.9	17.1	20.5
Mínima	6.1	6.6	7.9	9.8	12.7	15.8	16	15.7	15.7	13.6	9.4	6.8	11.3

1.5.4.3 Precipitación

En el SA la temporada de lluvias comienza en el mes de junio y se prolonga hasta finales de octubre. La precipitación promedio anual es de 805.1 mm (Tabla 1.9). El mes más húmedo del año es julio con una precipitación media de 197 mm, por el contrario, el mes más seco corresponde a marzo, con una precipitación media de 4.7 mm (SMN, 2010), lo cual confiere que haya lluvias de manera intermitente a lo largo del año.

Tabla 1.9 Valores promedio de Precipitación Pluvial Anual dentro del Sistema Ambiental

Precipitación normal (mm)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
18.4	9.5	4.7	5.7	22	170.5	197	163.1	141.3	51.1	11.3	10.5	805.1

1.5.4.4 Velocidad del viento y Radiación solar

El municipio de Acatlán de Juárez registra variaciones estacionales en el transcurso del año. La temporada con mayor viento corresponde al mes de marzo, con velocidades que oscilan entre los 12 y 19 km/h. Por el contrario, la temporada que presenta menor actividad eólica corresponde al mes de julio, con velocidades de viento menores a 5 km/h.

A continuación, en la Tabla 1.10 se muestran las condiciones climatológicas promedio de los últimos 90 días, mismas que fueron obtenidas a través de la estación meteorológica “Tlajomulco” (Tabla 1.11).

Tabla 1.10 Datos monitoreados durante los últimos 90 días a través de la estación climatológica más cercana al área de estudio (Sistema de Información y visualización de Estaciones Automáticas, 2022)

Estación Meteorológica	Dirección del Viento (°)	Dirección de ráfaga (°)	Rapidez de viento (km/h)	Rapidez de ráfaga (km/h)	Temp. del Aire (°C)	Humedad relativa (%)	Presión Atm. (hpa)	Radiación Solar (W/m ²)
Tlajomulco	196.38	197.82	6.09	12.18	16.96	49.77	846.94	213.81

Tabla 1.11 Datos generales de la Estación “Tlajomulco” (Sistema de Información y visualización de Estaciones Automáticas, 2022)

Estación Tlajomulco	
Red:	SMN
Estado:	Jalisco

Estación Tlajomulco	
Municipio:	Tlajomulco
Latitud:	20.00972
Longitud:	-103.4191
Altitud:	1566 msnm

UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

1.5.4.5 Fenómenos climatológicos

Huracanes y tormentas tropicales

De acuerdo con el Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México, publicado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), el estado de Jalisco debido a su localización geográfica es uno de los estados más vulnerable a huracanes y tormentas tropicales, específicamente en las zonas costeras colindantes al Océano Pacífico.

Dichos fenómenos meteorológicos son más latentes en los meses de mayo a noviembre; sin embargo, las probabilidades de riesgo disminuyen en los sitios tierra adentro de los ejes donde se ubican las principales cadenas montañosas que rodean al estado, mismas que están conformadas por la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Sur, y el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano o Eje Neovolcánico. Estas mismas funcionan como una barrera protectora, permitiendo disminuir los efectos adversos de los fenómenos meteorológicos.

Sequías

La sequía es un fenómeno climático indicador del déficit de precipitación pluvial; monitoreado por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) en conjunto con el SMN y evaluado según la Clasificación de Intensidad de la Sequía de acuerdo con el Monitor de Sequía de América del Norte (por sus siglas en inglés, NADM), el cual define grados de sequía (Figura 1.8).



Figura 1.8 Clasificación de la intensidad de sequía (CONAGUA, 2021)

De acuerdo con los reportes de intensidad de sequía que evalúa el SMN, el apoyo de la Clasificación de la Intensidad de Sequía según el NADM y los valores de mínima y máxima precipitación pluvial dentro del área del SA, se observa que el mes de marzo (Figura 1.9) es considerado el mes más seco del año, por el contrario, el mes de julio se considera como el mes más húmedo para la región.

Los valores promedio de precipitación pluvial reflejados para el mes de marzo en el municipio de Acatlán de Juárez, permite definir los niveles de intensidad de sequía, que van de sequía moderada (D1) a sequía severa (D2), lo cual corrobora la disminución en el porcentaje de precipitaciones pluviales registrados para esta región y puede significar un riesgo al incidir directamente en la ocurrencia de incendios forestales.

Por el contrario, el mes de julio es considerado el más húmedo para la región, con niveles de intensidad de sequía van de “anormalmente seco”, hasta sequía severa (D2), específicamente en la porción occidental colindante al municipio (Figura 1.10). Esto último refleja la susceptibilidad de la región ante este tipo de fenómenos climatológicos.

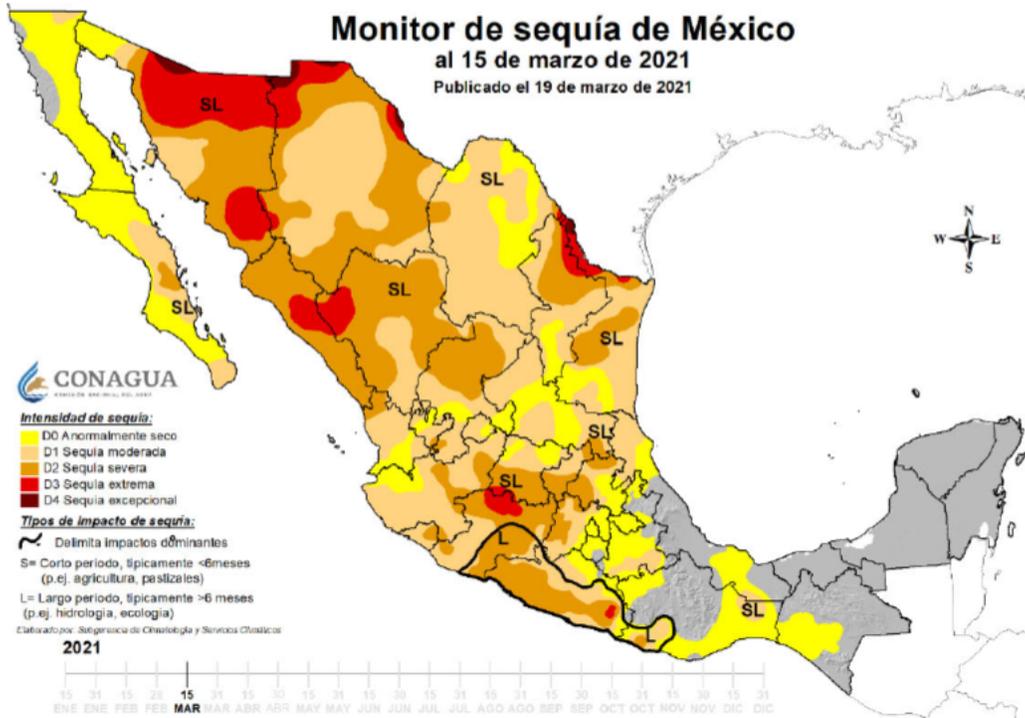


Figura 1.9 Monitoreo de sequía de México para el periodo comprendido entre el 01 y 15 de marzo de 2021

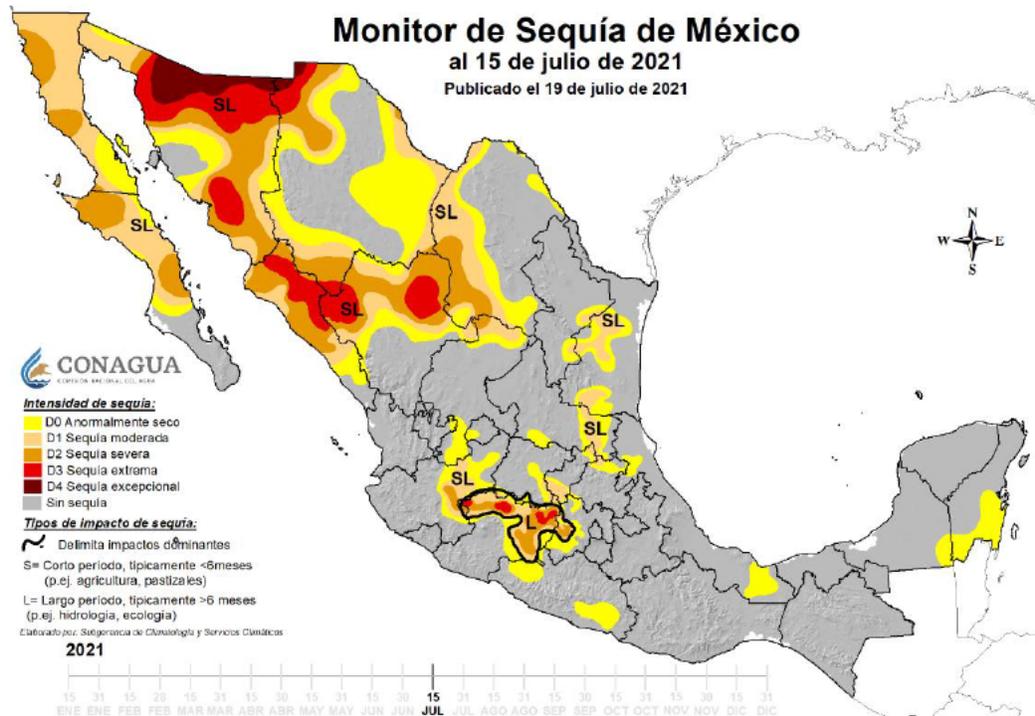


Figura 1.10 Monitoreo de sequía de México para el periodo comprendido entre el 01 y 15 de julio de 2021

1.5.4.6 Geología

Según la Carta Geológica F13-12 denominada "Guadalajara" publicada por el Servicio Geológico Mexicano (SGM), la geología regional comprende parcialmente las subprovincias Chapala, Sierras y Bajíos Michoacanos, Sierras de Jalisco, Guadalajara y Altos de Jalisco de las provincias fisiográficas del Eje Neovolcánico, así como, en la subprovincia Sierra y Valles Zacatecanos de la provincia fisiográfica de la Mesa Central.

La litología regional, está compuesta por secuencias sedimentarias, ígneas y volcano-sedimentarias constituidas principalmente por areniscas y conglomerados con intercalaciones eventuales de ignimbritas andesíticas y riolíticas, sobre las que descansa una unidad de roca caliza, cubierta por sucesiones piroclásticas de edad Cretácica. Cabe destacar que, todas las unidades anteriores, están parcialmente intrusionadas por el Batolito de Puerto Vallarta y por intrusiones del Eoceno.

Regionalmente, el área está constituida por una cadena de volcanes inactivos originados durante el Plioceno-Pleistoceno, la cual va desde la región de Tequila hasta El Salto, Jalisco. Asimismo, se tiene una serie de Campos y Complejos Volcánicos formados por domos de carácter dacítico y riolítico, así como conos y flujos de lava andesíticos, donde destaca la caldera La Primavera.

Estructuralmente hablando, el área está regida por actividad tectónica correspondiente a la subducción de la placa del pacífico debajo de la placa norteamericana. La región está controlada por un sistema de fallas que conforman los grabens de Tepic – Zoocalco, Plan de Barrancas – Santa Rosa, el semigraben de Ameca y el Graben de Chapala. Este último se ubica al suereste del área de estudio y es caracterizado por ser una de las depresiones más notables del occidente mexicano, su porción occidental está formado por las fallas Bola Viejo II, Chapala y Citala, mientras que la porción oriental está delimitada al sur por la falla Pajacuarán y al norte por la falla Ixtlán.

De acuerdo con el Plan Municipal de Desarrollo de Acatlán de Juárez (2015), a nivel local la geología del municipio está principalmente constituida por depósitos de suelos del tipo aluvial (36.6%). Asimismo, en la región afloran rocas ígneas de carácter extrusivo básico o basaltos (33.45) mientras que en algunas zonas se puede observar la presencia de toba ácida (0.3%). Como consecuencia al debilitamiento de las zonas corticales, a lo largo del municipio de Acatlán de Juárez se localizan una serie de fallas y fracturas paralelas, cuyas direcciones son N-S, NW-SE, NE-SW y E-W; además de que estructuralmente se tienen rasgos circulares (CONAGUA, 2020).

La geología en el SA (Figura 1.11) está integrada por rocas de edad Cuaternaria, siendo andesita basáltica la litología que cubre la superficie del SA, asimismo en la zona de pueden reconocer depósitos de tobas andesíticas y riolíticas, mismas que representan zonas utilizadas para actividades de cultivo.

De acuerdo con la información del SGM, en el SA definido para el Proyecto se pueden identificar un rasgo estructural o falla que atraviesa al mismo (Figura 1.11); sin embargo, este no influye directa o indirectamente con el AP razón por la cual, no se considera como un riesgo potencial.

UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

1.5.4.7 Características del relieve

La gran variedad de aspectos litológicos, geológicos y morfológicos, así como de los paisajes naturales en el estado de Jalisco, se debe en gran medida a su ubicación geográfica, pues es la zona donde convergen las provincias fisiográficas Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico (Hubp & Córdoba, 1992), siendo esta última la provincia donde incide el SA, específicamente dentro de la subprovincia Chapala. De acuerdo con el sistema de clasificación de topoformas, el SA se encuentra dentro de una sierra volcánica de laderas tendidas (Figura 1.12).

La provincia del Eje Neovolcánico es la provincia más alta del país, así como una de las de mayor variación de relieve y tipos de rocas. Su litología está conformada mayormente por rocas volcánicas, derrames de lava y otras manifestaciones ígneas de edad Cenozoica, asimismo, en esta provincia se encuentran los principales y más grandes volcanes del territorio.

Resultan características de esta provincia las amplias cuencas cerradas ocupadas por lagos como los de Pátzcuaro y Zirahuén, o los depósitos de lagos antiguos, como los de la cuenca endorreica del Valle de México, o bien la presencia de cuencas hundidas como la de Chapala convertida actualmente en un lago. En esta provincia nacen dos de los ríos más importantes de México: el Río Lerma y el Balsas, conocido también como Mezcala. Debido a su fisiografía, así como al conjunto de características geográficas, su flora se compone principalmente por

bosques templados, además de contar con bosques de coníferas y vegetación propia de glaciares de alta montaña (INEGI, 2012).

UBICACIÓN DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCIÓN I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCIÓN I DE LA LFTAIP

Por su parte, la subprovincia denominada Chapala, se caracteriza por la presencia predominante de rocas volcánicas de naturaleza basáltica-riolítica y las secuencias piroclásticas asociadas, por sedimentos lacustres y aluvión; a escala regional presenta diversas topoformas, desde relieves escarpados y cañadas a laderas tendidas, mesetas, llanos, valles y depresiones.

Esta subprovincia presenta una magnitud significativa en fallamiento asociado con manifestaciones volcánicas y grabens. Dentro de esta subprovincia se encuentra a 1,500 msnm el mayor lago del país, cuyas aguas ocupan un enorme graben ubicado entre sistemas de grandes fallas este-oeste y otras más pequeñas dirigidas burdamente de norte a sur. Por otro lado, el vulcanismo se desarrolló a lo largo de algunas líneas de fallas y levantó las sierras que bordean el lago. El resultado es un paisaje de origen unitario, pero de morfologías combinadas que aportan una notable singularidad a la provincia (CONAGUA, 2015).

En cuanto a topografía se refiere, el SA se encuentra a una altura que oscila entre los 1350 y 1360 m.s.n.m. (Figura 1.13). Por lo que se evidencian que el AP donde se pretende realizar el proyecto es una planicie o valle, mismos que son característicos del sistema de topoformas donde se ubica el proyecto.

UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

1.5.4.8 Susceptibilidad de riesgos

México es un país altamente vulnerable a la ocurrencia de fenómenos sísmicos, de acuerdo con el SGM, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima y Jalisco son los estados con mayor sismicidad en la República Mexicana, ello debido a la interacción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera que subducen debajo de las placas continentales de Norteamérica y del Caribe.

Por lo anterior, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) tomando como base los registros sísmicos obtenidos a través del monitoreo histórico de los diversos movimientos telúricos que se han suscitado en nuestro territorio, ha definido cuatro zonas sísmicas (Figura 1.14 y Tabla 1.12). Dicha zonificación permite categorizar a las entidades que conforman el país tomando en cuenta la frecuencia de generación de eventos sísmicos.

Tabla 1.12 Zonas sísmicas de México

Zona	Características
A	Zona donde no hay registros históricos de sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración a causa de temblores
B y C	Zonas intermedias, donde se reportan sismos no tan frecuentes o afectaciones por altas aceleraciones, pero no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo
D	Zonas donde se han reportado grandes sismos históricos, cuya ocurrencia del sismo es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad

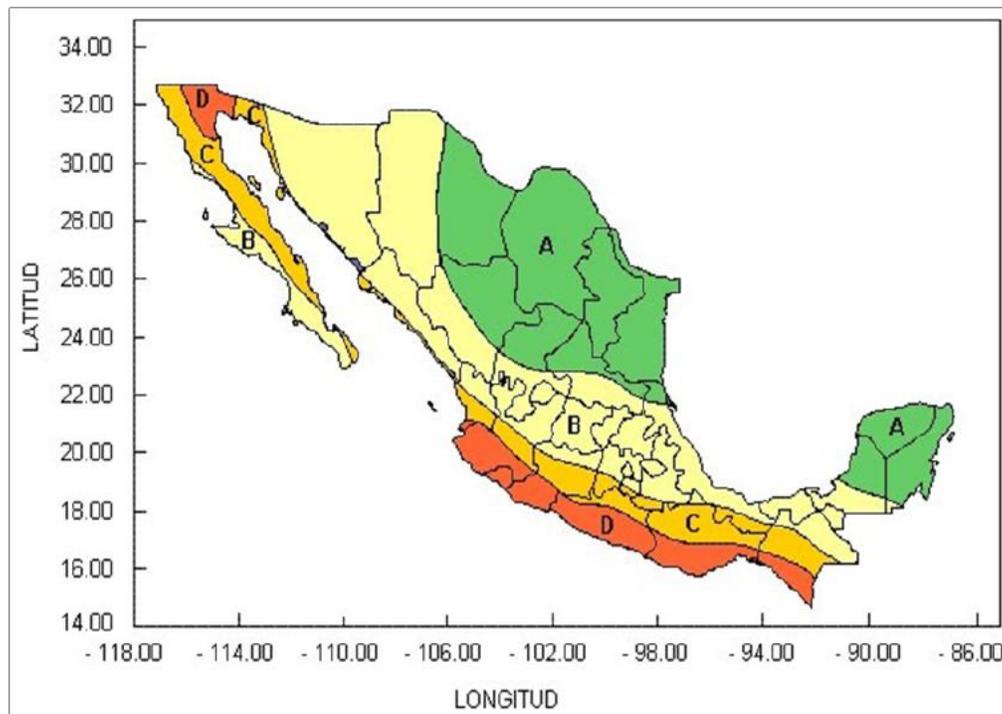


Figura 1.14 Regionalización sísmica de la República Mexicana (CFE, 2008)

De acuerdo con la regionalización sísmica de la República Mexicana el estado de Jalisco se clasifica dentro de las zonas B, C y D. Específicamente, el área donde se delimitó el SA se ubica dentro de la zona sísmica D es decir, corresponde a una zona donde se han reportado grandes sismos y cuya ocurrencia es muy frecuente, por lo que los sismos pueden ser considerados como un importante factor de riesgo dentro del SA.

De acuerdo con el Análisis de Riesgos municipales del estado de Jalisco (2012), debido a su geología y alta actividad tectónica, el municipio es susceptible a riesgos geológicos, principalmente agrietamiento por actividad tectónica. Asimismo, se señala como zonas con alto riesgo los asentamientos humanos construidos sobre las corrientes hidrológicas y en algunos sitios con topografía accidentada. Finalmente, también se considera como una zona vulnerable ante riesgos químicos y sanitarios.

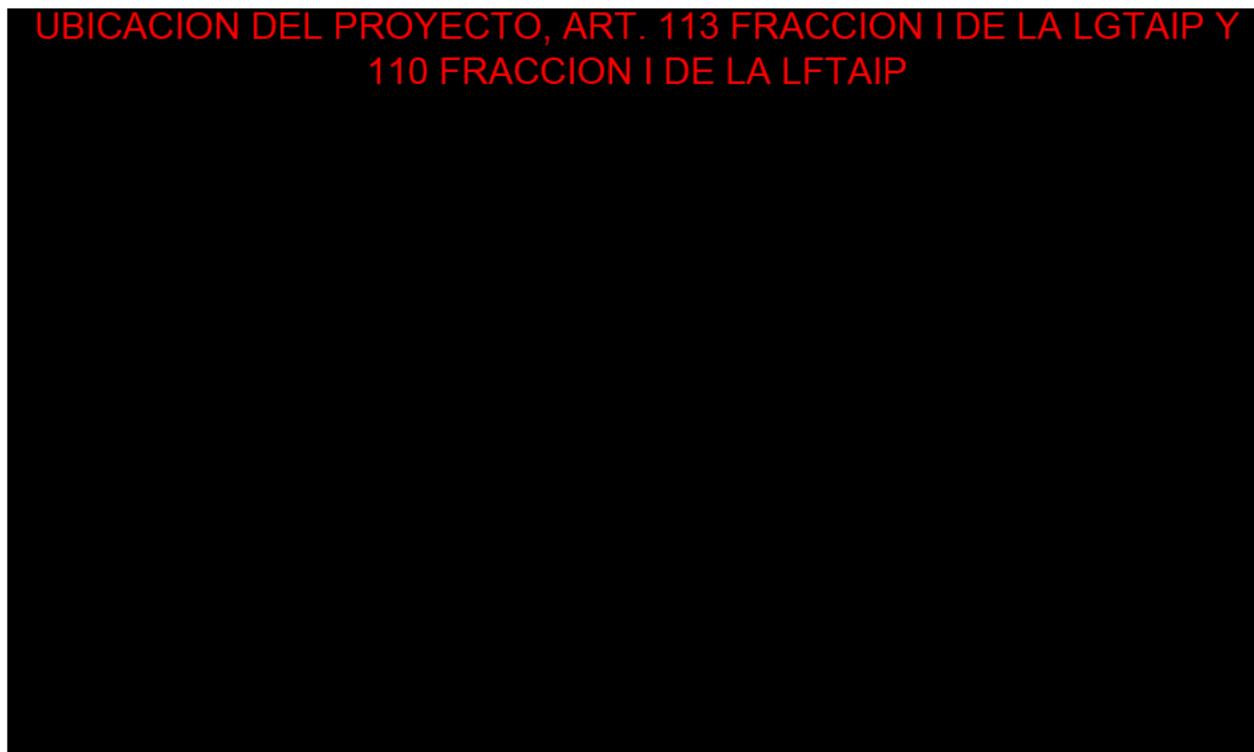
1.5.4.9 Suelo

De acuerdo con la carta edafológica de CONABIO, el suelo dominante en SA corresponde a Vertisol Pélico (Vr) (Figura 1.15). A continuación, para efectos de mejor análisis, se describe la unidad de suelo presente en el SA:

Phaozem (Hh): Los Phaeozems son suelos relacionados con pastizales relativamente húmedos y regiones forestales de clima semiseco y subhúmedo, de color superficial pardo a negro, fértiles en magnesio, potasio y sin carbonatos en el subsuelo. Debido a su contenido de humedad y lixiviación, suelen tener un horizonte superficial oscuro, rico en humus. Los Phaeozems pueden o no tener carbonatos secundarios, pero tienen alta saturación con bases en el metro superior del suelo. El relieve donde se desarrollan estos suelos es generalmente plano o ligeramente

ondulado. En México constituyen los suelos más importantes para la agricultura, por ejemplo, en los Altos de Jalisco, las llanuras de Querétaro y en numerosos valles del sur y sureste de México.

Por su parte, el estado háplico indica suelos sin desarrollo que no presentan rasgos de evolución o calificador de suelo notable.



En la Tabla 1.13 se muestra un resumen de las características principales presentes en los Phaeozems.

Tabla 1.13 Descripción de las características presentes de los Phaeozems (FAO, 2014)

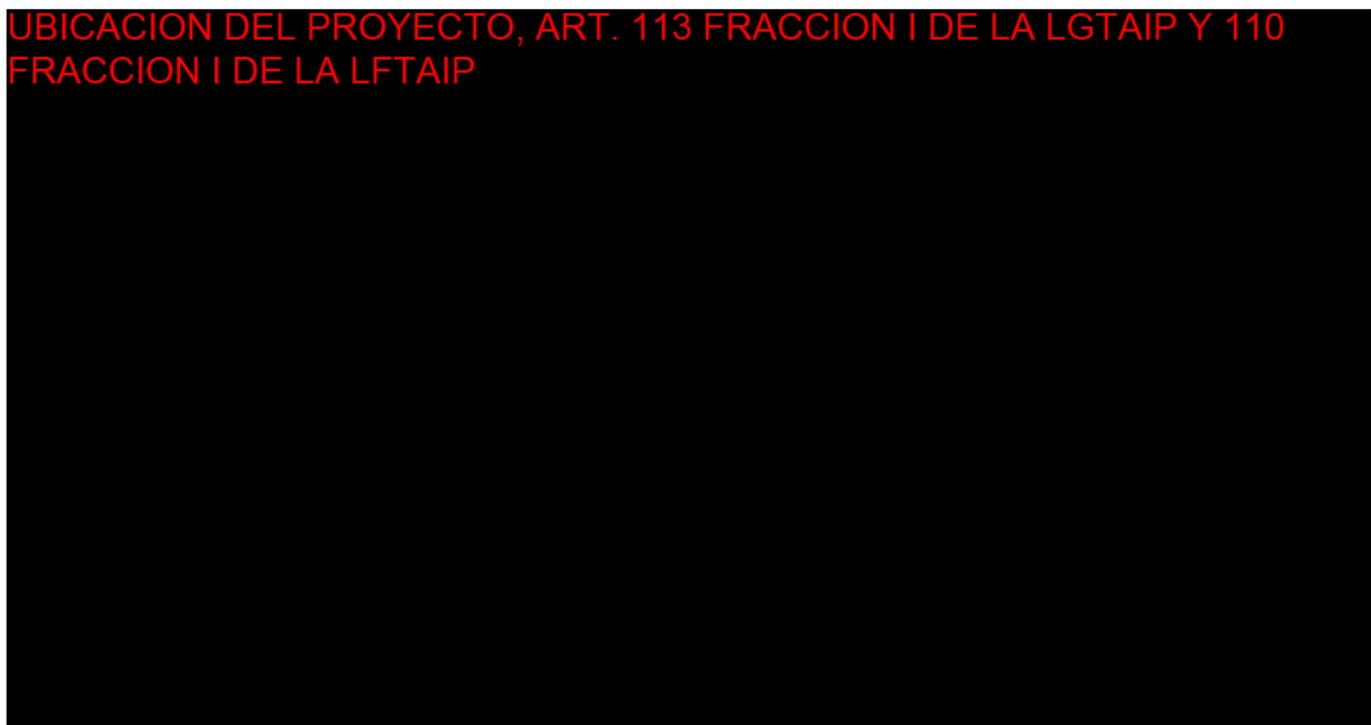
Características	Phaeozems
Connotación	Suelos oscuros ricos en materia orgánica; del griego phaios, oscuro y, ruso zemlja, tierra.
Material parental	Materiales no consolidados, predominantemente básicos, eólicos (loess), till glaciario y otros.
Ambiente	Cálido a frío (por ejemplo, las tierras altas tropicales) en regiones moderadamente continentales, suficientemente húmedas de modo que la mayoría de los años exista alguna percolación a través del suelo, pero también con períodos en los cuales el suelo se seca; tierras llanas a onduladas; la vegetación natural es pastizal como la estepa de pastos altos y/o bosque.

Desarrollo del perfil	Un horizonte mólico (más fino y en muchos suelos menos oscuro que en los Chernozems), principalmente sobre horizonte subsuperficial cámbico o árgico.
-----------------------	---

1.5.4.10 Hidrología

Hidrología superficial

Las cuencas son unidades naturales de terreno, definidas por la existencia de una división de las aguas debida a la conformación del relieve. Para propósitos de administración el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA, 2019) dirigido por la CONAGUA establece que las aguas nacionales se conforman en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA), mismas que se agrupan en 37 regiones que a su vez se dividen en 757 cuencas hidrológicas (Figura 1.16).



De acuerdo con el SINA, el SA delimitado para el proyecto incide dentro de la RHA Lerma – Santiago - Pacífico, la cual cubre la mayor parte del estado de Jalisco, con excepción de su porción suroccidental. A su vez, el área delimitada para el SA se encuentra dentro de la cuenca hidrológica Lago Chapala (Figura 1.17), esta última, es la unidad a partir de la cual se detallará, con el fin de brindar un mejor análisis, mismo que se resume en la Tabla 1.14.

Tabla 1.14 Resumen de la Hidrología superficial del Sistema Ambiental

Hidrología superficial en el SA	
Región Hidrológica	Lerma – Santiago - Pacífico
Cuenca	Lago Chapala
Subcuenca	San Marcos
Corrientes de agua	Corrientes de agua intermitentes

Cuerpos de agua cercanos	Sin cuerpos de agua representativos
--------------------------	-------------------------------------

El drenaje de la cuenca Lago Chapala es radial, con arroyos perennes e intermitentes que en épocas de lluvias descargan sus aguas a las partes bajas del valle, almacenándose finalmente de manera natural en las lagunas de Atotonilco, San Marcos, Zacoalco y Sayula. La parte más baja de los valles la ocupan las lagunas de referencia que tienen una extensión variable en cada ciclo anual, dependiendo del temporal de lluvias, en algunos años se llegan a quedar sin agua. Casi todos los años conservan alguna cantidad de agua hasta el mes de junio (CONAGUA, 2020).

UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

A nivel municipal, las principales corrientes son proporcionados por el río Acatlán y sus manantiales. El embalse más importante, es la Presa Hurtado (Presa de Valencia). A pesar de lo mencionado, el área del proyecto no incide sobre ningún cuerpo de agua, sin embargo, en las proximidades del SA es posible apreciar corrientes de carácter intermitente o escorrentías producto de las características geomorfológicas regionales (Figura 1.18).

UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

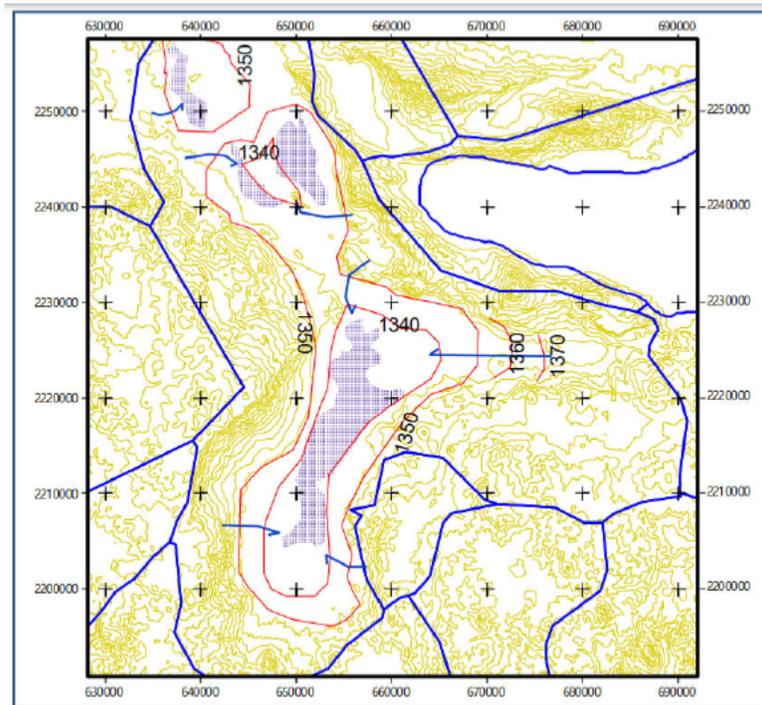
Hidrología subterránea

El Sistema Ambiental y Área del proyecto se encuentra dentro de los límites definidos por el acuífero Lagunas, cuya clave es 1449, de acuerdo con el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA. Dicho acuífero se ubica en la porción sureste del Estado de Jalisco entre los paralelos 20° 27' y 19° 4 6' y los meridianos 103° 42' y 103° 12', abarcando una extensión superficial de 2,136.77 km².

El acuífero está constituido por sedimentos lacustres del Cuaternario cuyos espesores llegan hasta mil metros, la dirección preferente del flujo subterráneo es hacia las lagunas o partes bajas y circula a través de los depósitos aluviales junto con arcillas y limos, todo esto en las partes bajas del acuífero (1350 msnm), mientras que en las partes altas el flujo subterráneo transita en boleos y estratos de basalto alterados. (CONAGUA, 2020).

De acuerdo con la configuración piezométrica del acuífero, los niveles del agua subterránea se encuentran a profundidades que van de 3.0 a 18.0 m, dependiendo de la época en que se hagan estas observaciones, así tenemos que en la época de estiaje los niveles estáticos corresponden con las mayores profundidades, del centro hacia la periferia y en temporada de lluvias, empiezan a recuperarse, incrementándose principalmente de la periferia hacia el centro del valle. Referente al flujo subterráneo, éste tiene una dirección que va de las partes altas a las bajas en dirección a las Lagunas que se encuentran en la zona.

Las elevaciones del nivel del agua subterránea van de los 1370 msnm en la parte oriente, hacia las partes altas topográficamente, hasta los 1340 msnm en las partes topográficamente más bajas (Figura 1.19).



Tomado de la actualización de Disponibilidad Media Anual de agua en el acuífero Lagunas (1449), Estado de Jalisco (CONAGUA, 2020)

Figura 1.19 Profundidad al nivel estático (m) correspondiente al acuífero Lagunas

1.5.5 Medio Biótico

1.5.5.1 Vegetación

De acuerdo con la revisión bibliográfica documental y digital, en el municipio de Acatlán de Juárez, Jalisco se albergan 298 especies de plantas, y se cuenta con 454 registros proporcionados por el Sistema Nacional de Biodiversidad de México (SNIB). Los cuales se clasifican en relación con sus distintos tipos de usos, destacando las siguientes: Ambiental (12), Consumo Humano (20), Recursos maderables (25) y Ornamentales (53).

A continuación, en la Tabla 1.15 se enlistan las especies más representativas del área correspondiente a Acatlán de Juárez, Jalisco.

Tabla 1.15 Vegetación representativa del Acatlán de Juárez, Jalisco

Nombre Científico	Nombre Común	Estrato
<i>Zea mays</i>	Maíz	Herbácea
<i>Eichhornia crassipes</i>	Lirio acuático sudamericano	----
<i>Stenocereus queretaroensis</i>	Cardón pitayo	----

Nombre Científico	Nombre Común	Estrato
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guásima	Arbóreo
<i>Argemone ochroleuca</i>	Cardo santo	Herbácea
<i>Sprekelia formosissima</i>	Lirio azteca	Herbácea
<i>Castilleja tenuiflora</i>	Garañona	Herbácea
<i>Cassia fistula</i>	Lluvia de oro asiática	Arbustiva
<i>Lantana camara</i>	Cinco negritos	Herbácea
<i>Tecoma stans</i>	Timboco	Arbustiva
<i>Cascabela ovata</i>	Torito	Arbustiva
<i>Acacia farnesiana</i>	Acacia	Herbácea
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol	Herbácea
<i>Cyperus articulatus</i>	Carricillo	Herbácea
<i>Podranea ricasoliana</i>	Campana rey sudafricana	Herbácea
<i>Chiococca alba</i>	Perilla	Herbácea
<i>Paspalidium geminatum</i>	Egiptiano	Herbácea
<i>Desmodium tortuosum</i>	Cadillo	Herbácea
<i>Heteropogon contortus</i>	Barba negra	Herbácea
<i>Solanum umbellatum</i>	Barba de chivo	Arbustiva
<i>Chloris virgata</i>	Barbas de indio	Herbácea
<i>Dioscorea remotiflora</i>	Bejuco de biznaga	Herbácea
<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa berdiana	Herbácea
<i>Phaseolus coccineus</i>	Ayocote	Herbácea
<i>Commelina erecta</i>	Cantillo	Herbácea
<i>Bidens squarrosa</i>	Anisillo	Herbácea
<i>Milleria quinqueflora</i>	Escobilla	Herbácea
<i>Neurolaena lobata</i>	Lengua de vaca	Herbácea

Fuente: CONABIO, 2022.

Cabe mencionar que, considerando la revisión bibliográfica dentro del municipio de Acatlán de Juárez, se reporta una (1) especie vegetal enlistada conforme con la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (Tabla 1.16), cuyo objetivo es identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en estatus de riesgo o protección dentro de la República Mexicana. Además, se realizó la consulta de la plataforma digital ENCICLOVIDA (CONABIO, 2022) con el objetivo de verificar la distribución e información de las especies.

Tabla 1.16 Vegetación ubicada en el municipio de Acatlán de Juárez y enlistada dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010

Especie	Nombre común	Categoría de Riesgo
<i>Dieffenbachia seguine</i>	Hoja de coche	Amenazada (A)

Fuente: CONABIO, 2022.

Debido a la ubicación del área de estudio y considerando que es una zona agrícola e industrial, no se reporta presencia de vegetación nativa, sino grandes extensiones de terreno dedicadas al cultivo agrícola e instalaciones de actividad industrial. Por lo anterior, dentro del Sistema

Estación de Descompresión MAS HARINA

Ambiental no se reconocen especies de vegetación consideradas como de valor económico o maderables, ni especies enlistadas dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Adicionalmente, es importante indicar que el predio destinado para la instalación de la Estación de Descompresión carece de vegetación nativa (únicamente se preservan áreas verdes) tal como se evidencia en el Anexo 4.1.

1.5.5.2 Uso de suelo

Tomando como referencia la carta de Uso de Suelo y Vegetación serie VII (INEGI, 2021) el Sistema Ambiental se encuentra dentro de una zona con uso de suelo definido como Agrícola de Riesgo Semipermanente. Por su parte las áreas próximas al SA corresponden únicamente a zonas con usos de suelo considerados como Agrícola de Temporal Anual y Asentamientos Humanos correspondientes al poblado y cabecera municipal de Acatlán de Juárez (Figura 1.20)

UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

Mencionado lo anterior se tiene que, para el desarrollo del proyecto no se requiere del cambio de uso de suelo para terrenos forestales en términos de lo señalado en el artículo 28 fracción VII de la LGEEPA y 5, inciso O) del Reglamento de la LGEEPA.

Adicionalmente, es importante indicar que el predio destinado para la instalación de la Estación de Descompresión carece de vegetación tal como se ha evidenciado previamente.

1.5.5.3 Muestreo

Fauna

De acuerdo con la revisión bibliográfica y digital realizada, el municipio de Acatlán de Juárez cuenta con 280 de especies animales, integradas principalmente por mamíferos, anfibios, reptiles y aves. A continuación, se enlistan las especies más representativas y/o amenazadas para la región (Tabla 1.17), así como su categoría de riesgo de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Tabla 1.17 Especies de fauna reportadas en el municipio de Acatlán de Juárez

Mamíferos			
No.	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo
1	<i>Peromyscus spicilegus</i>	Ratón de la Sierra Madre Occidental	----
2	<i>Sturnira parvidens</i>	Murciélago de charreteras menor	----
3	<i>Reithrodontomys fulvescens</i>	Ratón cosechero leonado	----
4	<i>Heteromys pictus</i>	Ratón espinoso pintado	----
5	<i>Baiomys taylori</i>	Ratón-pigmeo norteño	----
6	<i>Peromyscus maniculatus</i>	Ratón norteamericano	----
7	<i>Heteromys irroratus</i>	Ratón espinoso mexicano	----
8	<i>Sciurus aureogaster</i>	Ardilla vientre rojo	----
9	<i>Leptonycteris yerbabuena</i>	Murciélago magueyero menor	Sujeta a protección especial
Anfibios			
No.	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo
10	<i>Leptodactylus melanonotus</i>	Ranita hojarasca	----
11	<i>Hypopaa variolosus</i>	Rana termitera	----
12	<i>Lithobates megapoda</i>	Rana leopardo patas grandes	----
13	<i>Smilisca fodiens</i>	Rana de árbol de tierras bajas	----
14	<i>Anaxyrus compactilis</i>	Sapo de la meseta	----
15	<i>Dryophytes arenicolor</i>	Ranita de cañón	----
16	<i>Eleutherodactylus nitidus</i>	Rana fisgona deslumbrante	----
17	<i>Dryophytes eximius</i>	Rana arborícola de montaña	----
18	<i>Lithobates megapoda</i>	Rana leopardo patas grandes	Sujeta a protección especial
19	<i>Lithobates berlandieri</i>	Rana leopardo	Sujeta a protección especial
20	<i>Ambystoma flavipiperatum</i>	Ajolote de Chapala	Sujeta a protección especial

Reptiles			
No.	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo
21	<i>Thamnophis eques</i>	Culebra de agua nómada mexicana	Amenazada
22	<i>Thamnophis melanogaster</i>	Culebra de agua de panza negra	Amenazada
23	<i>Kinosternon integrum</i>	Tortuga pecho quebrado mexicana	Sujeta a protección especial
24	<i>Aspidoscelis costatus</i>	Huico llanero	Sujeta a protección especial
25	<i>Sceloporus dugesii</i>	Lagartija espinosa de Duges	----
26	<i>Sceloporus albiventris</i>	Lagartija espinosa vientre blanco	----
27	<i>Trimorphodon tau</i>	Falsa nauyaca mexicana	----
28	<i>Rhadinaea hesperia</i>	Culebra rayada occidental	Sujeta a protección especial
29	<i>Lampropeltis triangulum</i>	Falsa coralillo real oriental estadounidense	Amenazada
Aves			
No.	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo
30	<i>Toxostoma curvirostre</i>	Cuicacoche Pico Curvo	----
31	<i>Lanius ludovicianus</i>	Verdugo Americano	----
32	<i>Tyrannus vociferans</i>	Tirano Chibiú	----
Aves			
No.	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo
33	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Mosquero cardenal	----
34	<i>Zanate mexicano</i>	Zanate mexicano	----
35	<i>Ardea alba</i>	Garza blanca	----
36	<i>Haemorhous mexicanus</i>	Pinzón mexicano	----
37	<i>Aechmophorus clarkii</i>	Achichilique pico naranja	----
38	<i>Calidris mauri</i>	Playero Occidental	Amenazada
39	<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	Aguillita cola blanca	Sujeta a protección especial
40	<i>Forpus cyanopygius</i>	Periquito Catarino	Sujeta a protección especial
41	<i>Tachybaptus dominicus</i>	Zambullidor menor	Sujeta a protección especial
42	<i>Falco peregrinus</i>	Halcón Peregrino	Sujeta a protección especial
43	<i>Mycteria americana</i>	Cigüeña americana	Sujeta a protección especial
44	<i>Buteo swainsoni</i>	Aguillita de Swainson	Sujeta a protección especial

Fuente: CONABIO, 2022.

Considerando que el área definida como Sistema Ambiental es una zona agrícola e industrial previamente perturbada, no se evidencia la presencia de fauna silvestre y por consecuente dentro del mismo no se determinaron especies con algún estatus de conservación de acuerdo con la norma NOM-059-SEMARNAT-2010.

En congruencia con lo expuesto en el párrafo anterior, es importante indicar que el ecosistema natural se encuentra totalmente impactado, por lo que actualmente, el área presenta deforestación y está destinada a actividades con uso de suelo agrícola, lo que ha provocado que la fauna nativa disminuya radicalmente. Dentro del SA no se aprecian especies que representen algún valor comercial, que sean de importancia por su rareza o se encuentren amenazadas o en peligro de extinción.

Actualmente, la fauna que se encuentra en el área es considerada como doméstica o de ganado, ya que son especies introducidas directamente por el hombre para el desarrollo de actividades agropecuarias o de compañía.

1.6 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

1.6.1 Población

De acuerdo con el censo poblacional de INEGI (2020) la población del municipio de Acatlán de Juárez, Jalisco está conformada por 25,250 personas (Tabla 1.18). De los cuales, 13,256 son hombres (52.5 %) mientras las mujeres son 11,994 (47.5 %). Los rangos de edad que concentraron mayor población fueron de 10 a 14 años (3,197 habitantes), 15 a 19 años (2,613 habitantes) y 5 a 9 años (2190 habitantes), concentrando el 31.7% de la población total.

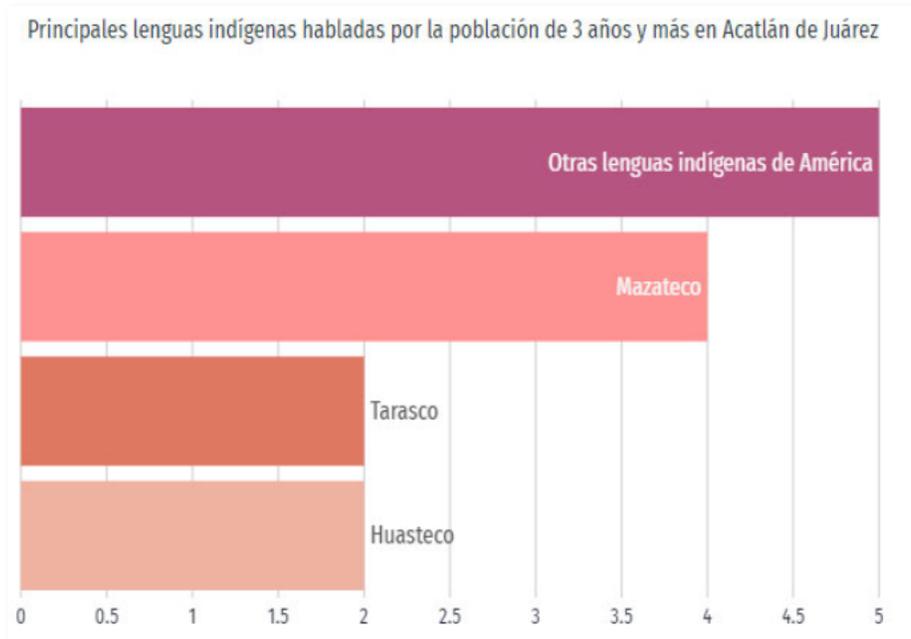
Tabla 1.18 Población total Acatlán de Juárez

Sexo	Total	Porcentaje %
Hombres	13,256	52.5
Mujeres	11,994	47.5
Total	25,250	100

1.6.2 Lenguas indígenas

De acuerdo con el último censo poblacional del INEGI, la población de 3 años o más que habla al menos una lengua indígena fue de 13 personas, lo que corresponde a 0.051% del total de la población de Acatlán de Juárez, (Figura 1.21).

Las lenguas indígenas más habladas fueron: Mazateco (4 habitantes), Tarasco (2 habitantes) y Otras lenguas indígenas de América (5 habitantes).



Fuente: Data México, 2020

Figura 1.21 Lenguas maternas habladas en Acatlán de Juárez

1.6.3 Educación

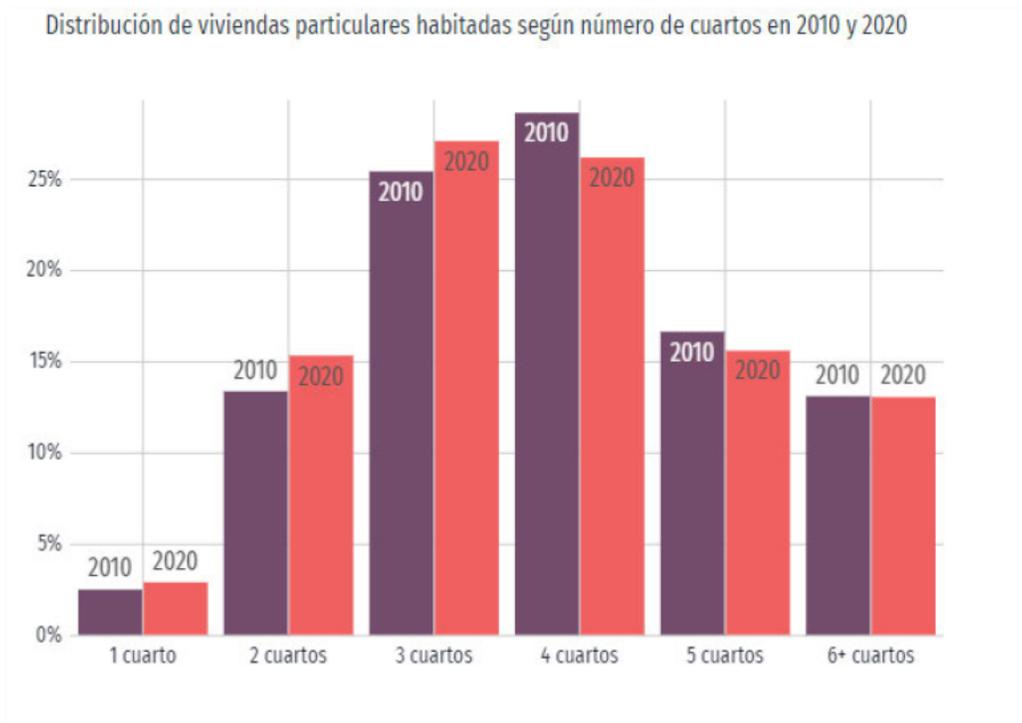
Para el año 2020, correspondiente al último censo reportado por INEGI, los principales grados académicos de la población de Acatlán de Juárez fueron: Preparatoria o bachillerato 5,858 personas (23.2% del total), preparatoria 3,662 personas (14.5% del total) y 51 personas (0.2% del total) con educación no especificada. La Figura 1.22 muestra la distribución de la población según el grado académico aprobado.



Figura 1.22 Niveles de escolaridad en Acatlán de Juárez

1.6.4 Calidad de vida

De acuerdo con el censo elaborado por el INEGI (2020), la mayoría de las viviendas particulares contaba con 3 y 4 cuartos, 27.1% y 26.2%, respectivamente (Figura 1.23). Para el mismo periodo, destacan las viviendas particulares habitadas con 2 y 1 dormitorios, 39.2% y 28.4%, respectivamente (Data México, 2020).



Fuente: Data México, 2020.

Figura 1.23 Distribución de viviendas particulares en 2020

1.6.5 Servicios y conectividad en la vivienda

La Figura 1.24 representa el porcentaje de hogares que disponen de seres menores, la Figura 1.25 representa el porcentaje de hogares que tiene acceso a un servicio de tecnología mientras que la Figura 1.26 muestra el porcentaje de la población del municipio de Villamar que cuenta con disponibilidad de transporte (INEGI, 2020).



Figura 1.24 Porcentaje de población con enseres menores



Figura 1.25 Porcentaje de población con acceso a servicios tecnológicos



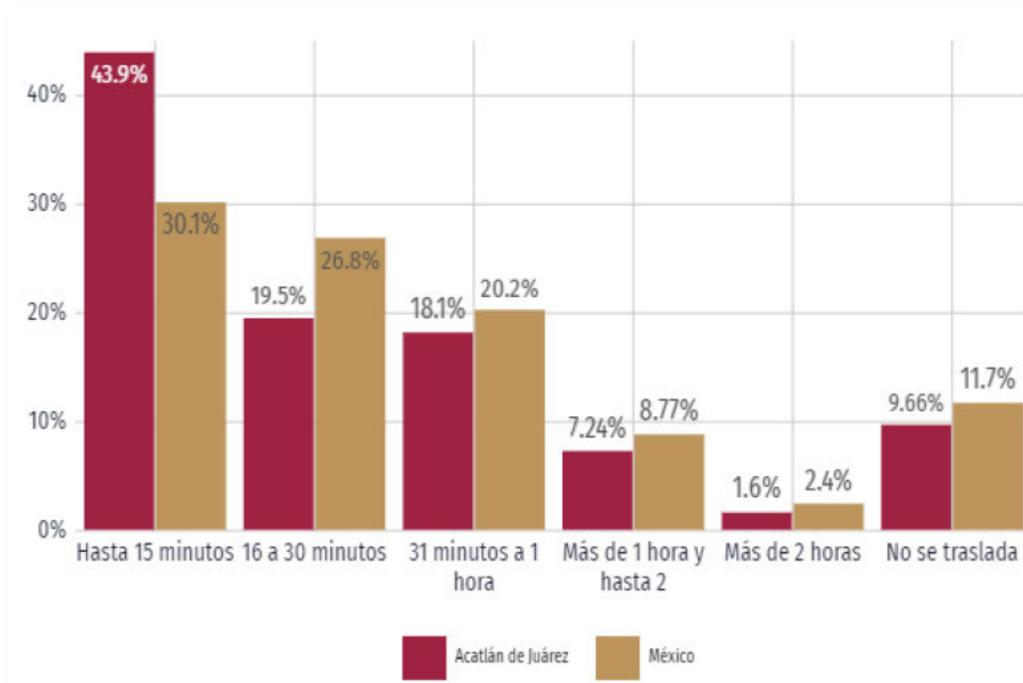
Figura 1.26 Porcentaje de población con acceso a transporte

1.6.6 Tiempo de traslado

En el municipio de Acatlán de Juárez, el tiempo promedio de traslado del hogar al trabajo en el año 2020 fue de 27.2 minutos, 81.5% de la población tarda menos de una hora en el traslado, mientras que 8.84% tarda más de una hora en llegar a su trabajo. Por otro lado, el tiempo

promedio de traslado del hogar al lugar de estudios fue de 18.9 minutos, 91.2% de la población tarda menos de una hora en el traslado, mientras que 7.66% tarda más de 1 hora (INEGI, 2020).

La Figura 1.27 muestra la distribución de población según tiempos de traslado hasta su trabajo en 2020 comparado con los tiempos de traslado a nivel nacional.



Fuente: Data México, 2020

Figura 1.27 Distribución de la población según el tiempo de traslado al trabajo

1.6.7 Medio de transporte al trabajo y colegio

En el año 2020, el 41.9% de la población acostumbró a utilizar camión, taxi, combi o colectivo como principal medio de transporte para dirigirse a su trabajo. En relación con los medios de transporte para ir al lugar de estudios, el 70.8% de la población acostumbró camión, taxi, combi o colectivo como principal medio de transporte.

La Figura 1.28 muestra la distribución de los medios de transporte hacia el trabajo y el lugar de estudios utilizados por la población de Acatlán de Juárez, de acuerdo con los tiempos de desplazamiento.

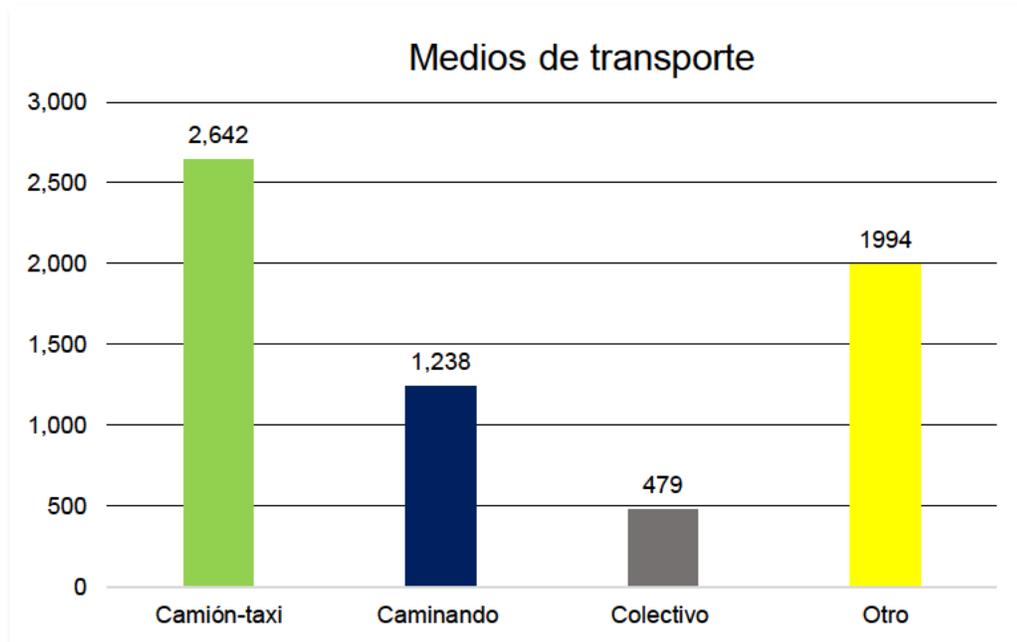


Figura 1.28 Medios de transporte utilizados en Acatlán de Juárez

1.6.8 Población económicamente activa

Para el año 2020, INEGI reportó que para el municipio de Acatlán de Juárez la población económicamente activa, tomando en cuenta población con edad de 12 años en adelante mantiene los siguientes porcentajes: el 61.8% (13,711 personas) de la población se encuentra activa laboralmente, el 61.5% corresponde a los hombres, mientras que las mujeres representan el 38.5% (Figura 1.29).

Población económicamente activa en el municipio de Acatlán de Juárez

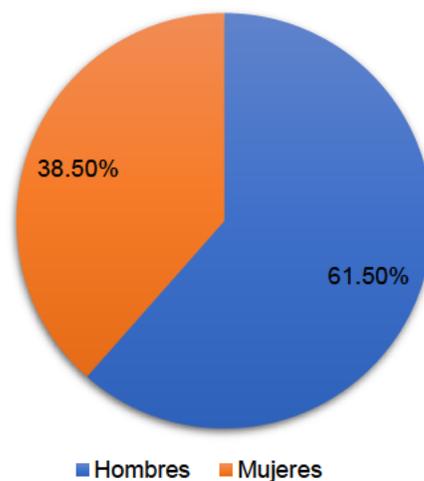


Figura 1.29 Población económicamente activa dentro de Acatlán de Juárez de acuerdo con el género

1.6.9 Salud

En el municipio de Acatlán de Juárez, las opciones de atención de salud más utilizadas en 2020 (Figura 1.30) fueron IMSS con 13,900 usuarios, consultorio de farmacia con 3,490 usuarios y centro de salud con 2,740 usuarios. En el mismo año, los seguros sociales que agruparon mayor número de personas fueron Seguro popular o Nueva generación 15,200 usuarios y no especificado con 4,880 usuarios (INEGI,2020).



Fuente: Data México, 2020

Figura 1.30 Afiliación a los servicios de salud en el municipio de Acatlán de Juárez

1.7 PAISAJE

La percepción del paisaje no sólo interesa por ser el origen de los fenómenos culturales o la interpretación del entorno, sino que además es necesaria para comprender y gestionar de mejor manera los recursos naturales mediante el proceso de percepción, el cual funciona mediante la selección de información, reconocimiento e interpretación visual de un área específica.

Un adecuado análisis del paisaje permite alcanzar objetivos deseables tales como la conservación de la integridad funcional de los ecosistemas, la permanencia de la funcionalidad ecológica, el control de tasas de erosión y la continuidad en la aportación de bienes y servicios ecosistémicos. Esto se fundamenta en el hecho de comprender a cualquier acción directa sobre el medio como una acción espacio-dependiente. Por lo que, a pesar de las diferencias de percepción, existen patrones comunes a identificar y valorar en los paisajes, mismos que ayudan a clasificarlo a partir de la evaluación de sus componentes naturales, antrópicos y las interrelaciones entre ellos.

1.7.1 Unidades del Paisaje

Dentro del SA se delimitaron las unidades de paisaje con base en aspectos como la homogeneidad del territorio y las acciones antrópicas como elemento principal de división para la clasificación de las mismas.

Tomando en cuenta lo anterior, en el SA se define una unidad de paisaje:

- Unidad de Paisaje N.º 1: Llanuras y Sierras de Acatlán de Juárez, Jalisco (Figura 1.31).



Figura 1.31 Unidad del paisaje definida como “Llanuras y Sierras de Acatlán de Juárez, Jalisco”

Esta unidad se considera como la parte baja o llanura de la cuenca delimitada por las Sierras ubicadas en el municipio de Acatlán de Juárez, mismas que forman parte de la actividad volcánica del Eje Neovolcánico. Dicha unidad está compuesta principalmente por grandes extensiones de terrenos destinados a la actividad agrícola y de uso industrial, asimismo, destaca como fondo escénico la presencia de sierras, mismas que conforman el paisaje.

1.7.2 Calidad Visual

La unidad de paisaje definida como “Llanuras y Sierras de Acatlán de Juárez, Jalisco” posee una calidad visual media, ello debido a la dominancia del plano horizontal de visualización, la nula evidencia de presencia de fauna, así como las intensas modificaciones de carácter antrópico, mismas que anulan la calidad visual del paisaje, sin embargo, destaca la presencia de vegetación agrícola, especialmente los contrastes entre tonos verdes y pardos producto de las zonas destinadas para la agricultura. Asimismo, como parte del fondo escénico destaca la presencia por pronunciadas elevaciones topográficas.

Por lo anterior, se concluye que a pesar de que el paisaje circundante ejerce cierta influencia visual dentro del área evaluada, se considera como un paisaje común en la región, con nula existencia de elementos únicos o singulares a los circundantes y con poca variación en color o contrastes, es decir, de carácter homogéneo y marcado por la presencia de actividades antropogénicas como el desarrollo de cultivos y de la industria. Por tanto, se infiere que el desarrollo del proyecto no afectará la calidad visual del paisaje, al desarrollarse dentro de un predio y un área industrial previamente impactada.

1.7.3 Fragilidad Visual

La determinación de la fragilidad visual permite evaluar la capacidad de absorción y respuesta de las unidades de paisaje ante las obras y actividades del proyecto. Dicha característica se basa en el análisis y clasificación de las mismas, en función de sus principales componentes divididos en 4 factores (biofísicos, visualización, singularidad y accesibilidad).

La unidad considerada para el proyecto presenta fragilidad visual media o moderada, pues las pendientes no son mayores al 30%, siendo una superficie con relieve suave a moderado. A pesar de ello, la cubierta de la vegetación es relativamente densa debido a la presencia de cultivos, sin embargo, la diversidad de especies es baja. De igual forma, se ubican áreas moderadamente erosionadas, dominio de los planos medios de visualización (visión no mayor a los 4,000 m), el paisaje que se presenta es de importancia visual media y considerado habitual, y sin presencia de elementos singulares a lo largo de la región. Por lo anterior, se considera que, dentro de esta unidad, la capacidad de absorción y respuesta del paisaje ante cualquier actividad proyectada es moderada.

1.8 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Para la presente sección se consideró integrar una síntesis objetiva y congruente del área de estudio, considerando los grados de conservación y/o deterioro de acuerdo con el inventario ambiental descrito previamente.

Para la delimitación del Área del Proyecto (AP) se consideró la definición del espacio físico que será ocupado para realizar las actividades del proyecto, durante todas sus etapas de desarrollo (etapa de Preparación, Construcción, Operación y Mantenimiento del proyecto). Para ello, se consideraron las obras que integran el proyecto, mismas que comprenderán únicamente el proceso de construcción y obra civil, así como pruebas de verificación, monitoreo y operación de las instalaciones.

Por su parte, para la delimitación del Área de Influencia (AI) del proyecto, se consideró la definición del espacio físico donde los efectos directos del mismo influyen sobre un determinado componente ambiental. Por tanto, se considera como aquellas zonas alrededor del Área del Proyecto donde se podrían evidenciar impactos de tipo indirecto por las actividades de este.

Considerando lo anterior, el Sistema Ambiental (SA) se delimitó tomando como referencia la colindancia entre predios, así como limitaciones o barreras físicas existentes, mismas que fungen como delimitadoras de la extensión de posibles impactos ambientales. Asimismo, se destaca el uso de la cartografía existente, principalmente la información hidrológica, geológica, fisiográfica, edafológica, climatológica, socioeconómica y de vegetación y uso de suelo, ello con la finalidad de realizar un mejor análisis espacial e interpretación del inventario ambiental.

1.8.1 Integración e interpretación del inventario ambiental

1.8.1.1 Factores Abióticos

De acuerdo con la información proporcionada por el SMN y con la clasificación de Köppen modificada por E. García (2004), el SA se ubica dentro de un área cuyo clima es considerado semicálido subhúmedo del grupo C, las cuales son condiciones climáticas típicas de la región geográfica, mismas que propician el desarrollo de vegetación y cultivos de temporal característicos de la zona.

Por su parte, a través de la información proporcionada por el Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en la República Mexicana, publicado por el CENAPRED, el estado de Jalisco es una de las regiones más susceptible a huracanes y tormentas tropicales dentro del territorio mexicano, específicamente en las zonas costeras colindantes al océano Pacífico. Sin embargo, el Sistema Ambiental es poco susceptible al impacto de estos fenómenos, ello debido a su ubicación rodeada por las cadenas montañosas que conforman al Eje Neovolcánico. Por tanto, la vulnerabilidad a este tipo de fenómenos naturales dentro del AP es baja.

Debido al clima presente dentro del SA y a su temporalidad estacional, el mes de marzo es considerado como la época más seca de la región, alcanzando una precipitación media de 4.7 mm, como resultado se presentan niveles de intensidad de sequía que van de sequía moderada (D1) a sequía extrema (D3), lo cual puede propiciar a otros fenómenos de importancia como incendios forestales. Por el contrario, el mes con mayor humedad es julio con una precipitación media de 197 mm, misma que se considerada como moderada. Por otro lado, en cuanto a riesgos hidrometeorológicos, se ha registrado un potencial de peligro de moderado a alto por tormentas eléctricas, mientras que las nevadas son consideradas de bajo riesgo.

Los aspectos litológicos, geológicos y morfológicos característicos de la región se deben a su ubicación dentro de la porción occidental del Eje Neovolcánico. En el caso del SA, este incide específicamente entre los límites de la subprovincia Chapala. De acuerdo con la información proporcionada por el SGM, la geología regional está compuesta por secuencias sedimentarias, ígneas y volcano-sedimentarias constituidas por areniscas y conglomerados con intercalaciones eventuales de ignimbritas andesíticas y riolíticas, sobre las que descansa una unidad de roca caliza cubierta por sucesiones piroclásticas de edad Cretácica. Dentro de SA se identifican depósitos de toba de carácter andesítica, así como depósitos de carácter aluvial. En cuanto a rasgos estructurales se refiere, dentro del SA no se aprecian fallas o fracturas, por lo que se considera un riesgo moderado a bajo para el desarrollo del proyecto.

Con lo anterior y considerando el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (2008), el SA se ubica dentro de la zona sísmica clasificada como D, es decir zonas donde se han reportado grandes sismos históricos y cuya ocurrencia es frecuente, razón por la cual el peligro sísmico es considerado alto. Por tanto, se considerarán las medidas y recomendaciones establecidas para la construcción de proyectos en zonas sísmicas.

De acuerdo con el mapa de peligros geológicos del municipio de Acatlán de Juárez, consecuente a su topografía, el municipio es susceptible a deslizamientos y derrumbes,

específicamente en las zonas donde las pendientes son abruptas debido a la propia morfología del terreno. Por tanto, se señala como zonas con alto riesgo los asentamientos humanos construidos sobre los sitios con topografía accidentada. Finalmente, también se consideran vulnerables ante inundaciones las zonas con baja pendiente. Por el contrario, el peligro por tsunamis o volcanes activos es bajo. Tomando a consideración lo anterior, si bien de forma general el municipio de Acatlán de Juárez puede ser considerado como un área con riesgo alto, el AP se considera como una zona de moderada susceptibilidad y vulnerabilidad para la ocurrencia y afectación de desastres naturales, asimismo es importante destacar que para el desarrollo del proyecto se considerarán los estudios y recomendaciones pertinentes para la mitigación de los riesgos más destacados,

El suelo dominante en el SA corresponde a Vertisol Pélico (Vr), suelos característicos de zonas subhúmedas compuestos por arcillas, mismas que se expande al contacto con la humedad y se contraen con las sequías, lo cual suele causar agrietamiento en esta última temporada. Asimismo, dentro del SA se observa un grado moderado de erosión, siendo la actividad agrícola e industrial la principal razón.

En cuanto a hidrología se refiere, el área delimitada para SA se encuentra en la parte oriental de la Región Hidrológica 12 Lerma Santiago Pacífico, dentro de la cuenca hidrológica Lago Chapala y la subcuenca San Marcos. Debido a que el Sistema Ambiental se delimita dentro de un área cuya topografía y pendientes son moderadas, se puede llegar a apreciar escorrentías de agua de carácter estacional o intermitente, ello principalmente en las temporadas del año con mayor precipitación. Cabe señalar que en las cercanías del proyecto no se localizan afluentes principales, por tal razón no se consideran impactos ambientales a los cuerpos de agua cercanos al SA. Por su parte, la hidrología subterránea está conformada por el acuífero Lagunas cuyo nivel de agua no se encuentra comprometido y se clasifica como zona de disponibilidad 2.

1.8.1.2 Factores Bióticos

Debido a la ubicación del área de estudio y considerando que es una zona industrial altamente impactada y con presencia de centros de población en las proximidades, no se advierten vestigios de vegetación nativa, sino grandes extensiones de terreno dedicadas al cultivo agrícola y a la actividad industrial.

Es importante señalar que la superficie propuesta para el desarrollo del proyecto tiene un uso de suelo definido como agrícola de temporal anual los cuales se caracterizan por estar dominados por plantas de porte herbáceo, por lo que no existe una alteración a la vegetación primaria producto del desarrollo del proyecto.

De igual forma, dentro del SA, únicamente se reportan especies de carácter doméstico, principalmente perros, gatos, y ganado equino y bovino. Ello debido a que el área correspondiente al SA misma donde se pretende realizar el proyecto se encuentra previamente impactada por actividades antropogénicas (principalmente actividad industrial y zonas de cultivos), mismas que han propiciado la fragmentación del hábitat, afectando la biodiversidad

terrestre, y provocando una restricción en la diversidad de especies y, por ende, del tamaño de su población.

Para los factores demográficos se realizó una investigación y análisis bibliográfico, tomando en consideración que en el año 2005 la población ascendía a 22,540 habitantes, mientras que, de acuerdo con las cifras del último censo nacional, actualmente la población del municipio asciende a los 25,250, por lo tanto, se evidencia un ligero aumento en la tasa del crecimiento poblacional.

Asimismo, cabe destacar que, dentro de las proximidades del SA, AI y AP no se encontraron núcleos o poblados indígenas ni zonas con algún valor cultural, no obstante, existen pequeñas zonas de asentamientos humanos, principalmente de carácter ejidal, mismas que se utilizan como zonas de carácter comercial, residencial y mayoritariamente como zonas de cultivo, por tanto, se consideran como zonas susceptibles a bajo impacto ambiental.

Finalmente, se determinó una unidad de paisaje misma que se definió como “Sierras de Acatlán de Juárez, Jalisco”. Dicha unidad posee una calidad y fragilidad visual media o moderada ello debido a, la nula evidencia de presencia de fauna y vegetación nativa, la ausencia de cuerpos de agua, así como las intensas modificaciones de carácter antrópico.

1.9 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS

1.9.1 Objetivo

El principal objetivo determinar el riesgo intrínseco de la Estación para la cual se definirá el estudio de Análisis de Riesgo Sector Hidrocarburos del proyecto denominado “**Estación de descompresión MAS HARINA**” donde los objetivos de este proyecto serán los siguientes:

1. Identificar los riesgos de proceso referentes al recibo y distribución de gas natural para las instalaciones del proyecto denominado “**Estación de Descompresión MAS HARINA S.A. DE C.V.**” mediante el uso de las metodologías de identificación de peligros como son el HazOp, What if...? (Qué pasa sí...?) y Análisis de consecuencias.
2. Jerarquizar los riesgos identificados mediante el uso de una matriz de riesgos, clasificando los riesgos como riesgo alto, medio y bajo, pero con controles adicionales (ALARP) o Riesgo No tolerable.
3. Plantear escenarios de riesgo o postulados de las desviaciones clasificadas como riesgo no aceptable y no tolerable que involucren pérdida de contención de gas natural.
4. Evaluar cuantitativamente los efectos físicos (consecuencias) asociados a los postulados de los accidentes identificados, mediante el software Phast® (Process Hazard Analysis Software Tool) versión 6.7.
5. Elaborar una lista de recomendaciones encaminadas a disminuir el nivel de riesgo del proyecto “**Estación de descompresión MAS HARINA**”.

1.9.2 Alcance

El presente estudio de Análisis de Riesgo de Proceso tomará como referencia para su desarrollo la Guía Para Elaboración de Análisis de Riesgo del Sector Hidrocarburos, la normatividad mexicana aplicable y en estándares internacionales.

La identificación de riesgos del presente estudio de Análisis de Riesgo de Proceso tomó como referencia lo establecido en la Norma IEC-61882 “Guía de Aplicación para Estudios de Peligro y Operabilidad”.

La Evaluación de Consecuencias de los eventos de mayor riesgo, será por medio del software Phast® (Process Hazard Analysis Software Tool) en su versión 6.7.

1.9.3 Definiciones

Administración del Riesgo: Proceso de toma de decisiones que parte del estudio de riesgos y del análisis de opciones técnicas de control, considerando aspectos legales, sociales y económicos; establece un programa de medidas de eliminación, prevención y control, hasta la preparación de planes de respuesta a emergencias.

Accidente: Evento que ocasiona afectaciones al personal, a la población, a los bienes propiedad de la Nación, a los equipos e instalaciones, a los sistemas y/o procesos operativos y al medio ambiente.

Accidente Mayor: Acontecimiento agudo de eventos tales como una gran fuga, derrame, emisión, fuego o explosión, que de manera inmediata o retrasada llevan a serias consecuencias para la salud humana y/o fatalidades y/o daños ambientales y/o grandes pérdidas económicas.

Ambiente: Entorno dentro del cual una organización opera, incluyendo aire, agua, suelo, recursos naturales, flora, fauna, personas y sus interrelaciones.

Amenaza: Es el acto que por sí mismo o encadenado a otros, puede generar un daño o afectación al bienestar o salvaguarda al personal, población, medio ambiente, instalación, producción, otro.

Análisis Cualitativo de Riesgo: Es el desarrollo de técnicas que consisten en identificar los peligros en los procesos y examinar de qué manera se pueden reducir o eliminar los riesgos que presentan estos peligros, a los trabajadores, a la población aledaña o al medio ambiente. Ejemplo: lista de verificación, HazOp, Qué pasa si...?.

Análisis de Consecuencias: Estudio y predicción cualitativa o cuantitativa de los efectos que pueden causar eventos o accidentes que involucran fugas de tóxicos, incendios o explosiones entre otros, sobre la población, el medio ambiente y las instalaciones.

Análisis de Riesgo de Procesos (ARP): Aplicación sistemática de una o más metodologías específicas para identificar peligros y evaluar riesgos de un proceso o sistema, con el fin de

determinar metodológicamente los escenarios de riesgo y verificar la existencia de dispositivos, sistemas de seguridad, salvaguardas y barreras suficientes ante las posibles amenazas que propiciarían la materialización de algún escenario de Riesgo identificado.

Análisis Preliminar de Peligros: Es el resultado de realizar un primer intento para identificar en forma general los posibles riesgos que pueden originar los peligros en un diseño o instalaciones en operación, para ubicar la situación actual que se tiene respecto de la administración de los riesgos.

Consecuencias: Posibles efectos causados por eventos o accidentes que involucran fugas y derrames de sustancias peligrosas, tóxicas, inflamables y/o explosivas.

Criterios de Aceptación del Riesgo: Criterios que son utilizados para expresar un nivel de riesgo que es considerado como límite superior para que la actividad en cuestión sea tolerable.

Desviación: Condición que se aparta de la intención de diseño del sistema o proceso.

Disponibilidad: Es la proporción del tiempo durante la cual un componente o sistema se desempeña tal cual y como se pretende según su diseño.

Determinación de Riesgo: Proceso general de realizar la valoración de riesgo incluyendo el establecer el contexto, desempeño del análisis de riesgo, evaluación del riesgo y asegurar que la comunicación y consultas, las actividades de revisión y supervisión, realizadas antes, durante y después del análisis han sido ejecutadas, resultan adecuadas y apropiadas con respecto a lograr las metas de la determinación.

Efecto Dominó: También conocido como encadenamiento de eventos, evento asociado a un incendio o explosión en una instalación, que multiplica sus consecuencias por efecto de la sobrepresión, proyectiles o la radiación térmica que se generan sobre elementos próximos y vulnerables, tales como otros recipientes, tuberías o equipos de la misma Instalación o Instalaciones próximas, de tal forma que puedan ocurrir nuevas fugas, derrames, incendios o explosiones que a su vez, pueden nuevamente provocar efectos similares.

Escenario de Riesgo: Determinación de un evento hipotético derivado de la aplicación de la metodología de Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos, en el cual se considera la probabilidad de ocurrencia y severidad de las consecuencias y, posteriormente, determinar las zonas potencialmente afectadas mediante la aplicación de modelos matemáticos para la simulación de consecuencias.

Evacuación: Método planeado para abandonar la instalación en caso de emergencia.

Evaluación: Acción y resultado de atribuir un valor o una importancia determinada a una cosa.

Evaluación de Riesgo: Determinar si un riesgo resulta o no tolerable sobre la base del análisis de riesgo y la relación entre la frecuencia y consecuencia de los eventos.

Evento: Suceso relacionado con las acciones del ser humano, con el desempeño del equipo o con sucesos externos al sistema, que pueden causar interrupciones y/o problemas en el sistema. En este documento, evento es causa o contribuyente de un incidente o accidente o es también una respuesta a la ocurrencia de un evento iniciador.

Explosión: Liberación súbita y violenta de energía que causa un cambio transitorio en la densidad, presión y velocidad del aire circundante a la fuente de energía. Esta liberación de energía puede generar una onda de presión con el potencial de causar daño en su entorno.

Exposición: Contacto de las personas, población o elementos que constituyen el medio ambiente con sustancias peligrosas o contaminantes químicos, biológicos o físicos o la posibilidad de una situación peligrosa derivado de la materialización de un Escenario de Riesgo.

Fallo: La interrupción en la capacidad de una unidad funcional para realizar su función requerida.

Fuga: Liberación repentina o escape accidental por pérdida de contención, de una sustancia en estado líquido o gaseoso.

Fuego: Consecuencia visible de la combustión.

Función de Seguridad: Funciones de seguridad que requieren permanecer intactas con el fin de garantizar la seguridad del personal y/o limitar la frecuencia o consecuencia de un evento.

Función Instrumentada de Seguridad (FIS): Una combinación de sensores, controlador lógico y elemento final de control con un determinado Nivel de Integridad de Seguridad (SIL) que detecta una condición fuera de límite (anormal) y lleva al proceso a un estado seguro funcionalmente sin intervención humana, o iniciado por un operador entrenado en respuesta a una alarma.

Grupo Multidisciplinario de Análisis y Evaluación de Riesgos (GMAER): Grupo compuesto por personal del mismo centro de trabajo, o de otros que apoyen en el desarrollo de un análisis de riesgos de procesos, especialistas en disciplinas tales como análisis de riesgos, seguridad, operación, mantenimiento, ingeniería de diseño de proceso, salud, higiene industrial, protección ambiental, ergonomía y contra incendio, así como cualquier otra disciplina que se considere como necesaria dependiendo del caso que se trate.

Identificación de Peligros: Determinación de las características de los materiales y sustancias y las condiciones peligrosas de los procesos e instalaciones, que pueden provocar daños en caso de presentarse un fallo o accidente.

IDLH (“Immediately Dangerous to Life or Health”, por sus siglas en inglés). Inmediatamente Peligroso para la vida o la salud: Concentración máxima de una Sustancia Peligrosa, expresada en partes por millón (ppm) o en miligramos sobre metro cúbico (mg/m³), que se podría liberar al ambiente en un plazo de treinta minutos sin experimentar síntomas graves ni efectos irreversibles para la salud.

Impacto Ambiental: Cualquier cambio al ambiente, sea adverso o benéfico, resultado en parte o en su totalidad a consecuencia de las actividades, productos o servicios de la organización.

Incendio: Combustión no controlada.

Incidente: Evento o combinación de eventos inesperados no deseados que alteran el funcionamiento normal de las instalaciones, del proceso o de la industria; acompañado o no de afectación al ambiente, a las instalaciones, a la población y/o al personal del regulado, así como al personal de contratistas, subcontratistas, proveedores y prestadores de servicios.

Instalación: Es el conjunto de estructuras, equipos de proceso y servicios auxiliares, sistemas instrumentados, dispuestos para un proceso productivo específico. Las instalaciones forman parte de los Centros de Trabajo.

Inflamabilidad: Mayor o menor facilidad con la que una sustancia puede arder en aire o en algún otro comburente.

Jerarquización (Ponderación, Categorización): Ordenamiento realizado con base en criterios de prioridad, valor, riesgo y relevancia el cual se realiza con el propósito de identificar aquellas actividades de mayor importancia que pueden afectar la operación de la instalación.

Mantenimiento Preventivo: Se refiere a la realización de actividades programadas para la limpieza, lubricación, ajuste y sustitución de piezas para mantener los equipos e instalaciones en óptimas condiciones de uso.

Mantenimiento Correctivo: Se refiere a la realización de actividades no programadas para reparar o sustituir equipos o instalaciones dañadas o que no funcionan, para operar en condiciones seguras las estaciones de descompresión.

Metodología Qué pasa sí?: Método que analiza los peligros a partir de la realización de preguntas orientadas a saber qué pasa si sucede un evento determinado, la calificación de los riesgos se lleva a cabo por medio de matrices de riesgos.

Nivel de Integridad de Seguridad (SIL, Safety Integrity Level, por sus siglas en inglés): Es el nivel discreto (uno de cuatro) para especificar los requisitos de integridad de las funciones instrumentadas de seguridad que se asignarán a los sistemas instrumentados de seguridad.

Nivel de Riesgo Tolerable: Es la relación de accidentes o eventos riesgosos que PEP está dispuesto a aceptar al año.

Nube Tóxica o Inflamable: Porción de la atmósfera con una concentración de material tóxico o inflamable que tiene el potencial de causar daño o entrar en combustión. Su formación se debe a la liberación de una sustancia peligrosa.

Nodo: Sección del proceso o instalación sujeta a estudio que se aísla del resto para propósitos analíticos.

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

Peor Caso: Escenario derivado del Análisis de Riesgos, el cual corresponde al mayor volumen estimado del material, energía o sustancia peligrosa producto de una liberación accidental, y el cual pudiese resultar en la afectación a las personas, al medio ambiente o a las instalaciones.

Personal Competente: Personal capacitado y entrenado en los procedimientos operativos, de mantenimiento y de seguridad para el arranque, la operación y el mantenimiento de la estación de descompresión.

Preparación ante Emergencia: Medidas técnicas, operativas y organizativas, incluyendo los equipos necesarios que están planeados para ser usados bajo la administración de la organización de emergencia en caso de ocurrir situaciones accidentales o peligrosas, con el fin de proteger los recursos humanos y ambientales, así como los bienes.

Probabilidad de un Suceso: Es un número, comprendido entre 0 y 1, que indica la posibilidad de ocurrencia de ese suceso, correspondiendo la probabilidad 0 a un suceso imposible y la probabilidad 1 a un suceso cierto.

Programa de Mantenimiento: Actividades o tareas de mantenimiento asociadas a los elementos constructivos (edificaciones), equipos e instalaciones, con indicaciones sobre las acciones, plazos y recambios a realizar.

Recomendaciones: Son propuestas derivadas de la identificación de riesgos con la intención de evitar el riesgo y/o disminuir las consecuencias del mismo, cuando se considera que el nivel de protección existente no es el adecuado.

Relación Anual de Fatalidades: Es el número promedio de fatalidades al año.

Respuesta ante Emergencia: Acciones tomadas por el personal, arriba o fuera de las instalaciones, para controlar o mitigar un evento peligroso o iniciar y ejecutar la evacuación.

Responsables del Análisis de Riesgos de Procesos: Personal encargado de realizar el análisis de riesgos de procesos.

Riesgo: Combinación de la probabilidad o la frecuencia de un evento y las consecuencias de este sobre el personal, población, medio ambiente e instalaciones.

Salvaguardas: Son dispositivos, equipos y sistemas físicos orientados a proteger la integridad de las instalaciones. Son procedimientos operativos, acciones manuales de los operadores, procedimientos de ingeniería, diseño y cálculos, manuales, guías, normas y estándares orientados a la seguridad, procedimientos de mantenimiento que tienen el fin de proteger las instalaciones.

Seguridad Funcional: Parte de la seguridad relacionada con el proceso y cada uno de los sistemas básicos del control de proceso y su funcionamiento correcto de los sistemas instrumentados de seguridad y otras capas de protección.

Sistemas de Seguridad: Conjunto de equipos y componentes que se interrelacionan y responden a las alteraciones del desarrollo normal de los procesos o actividades en la instalación o centro de trabajo y previenen situaciones que normalmente dan origen a accidentes o emergencias.

Sistema Instrumentado de Seguridad (SIS): Es un sistema instrumentado para implementar una o más funciones instrumentadas de cualquier combinación de sensores, controlador lógico y elementos finales de control.

Simulación: Representación de un escenario de riesgo o fenómeno mediante la utilización de sistemas o herramientas de cómputo, modelos físicos o matemáticos u otros medios, que permite estimar las consecuencias de dichos escenarios a partir de las propiedades físicas y químicas de las sustancias o componentes de las mezclas de interés, en presencia de determinadas condiciones y variables atmosféricas.

Situaciones Definidas de Peligro y Accidente: Selección de eventos peligrosos y accidentales que será usado para dimensionar la preparación ante una actividad de emergencia.

Sustancia Explosiva: La que en forma espontánea o por acción de alguna forma de energía genera una gran cantidad de calor y ondas de sobrepresión en forma casi instantánea.

Sustancia Inflamable: Aquella capaz de formar una mezcla con el aire en concentraciones tales para prenderse espontáneamente o por la acción de una fuente de ignición.

Sustancia Peligrosa: Cualquier sustancia que, al ser emitida, puesta en ignición o cuando su energía es liberada (fuego, explosión, fuga tóxica) puede causar daños al ambiente, a las personas y a las instalaciones debido a sus características de toxicidad, inflamabilidad, explosividad, corrosión, inestabilidad térmica, calor latente o compresión.

Sustancia Tóxica: Aquella que puede producir alteraciones en organismos vivos, lesiones, enfermedades, al material genético o muerte.

Tan Bajo Como Sea Razonablemente Factible (As Low As Reasonably Practicable "ALARP"): Para que un riesgo sea considerado ALARP debe ser posible demostrar que el costo de continuar reduciendo ese riesgo es mayor en comparación con el beneficio económico que se obtendría.

Tolerabilidad: Se refiere a la voluntad de operar con cierto margen de riesgo con el fin de obtener algún beneficio y la confianza de que dicho riesgo es controlado de forma apropiada.

TLV (15 min, STEL): ("Threshold Limit Value-Short Term Exposure Limit", por sus siglas en inglés) (Valor umbral límite-Límite de Exposición a corto plazo). Exposición para un periodo de

15 minutos, que no puede repetirse más de 4 veces al día con al menos 60 minutos entre periodos de Exposición.

TLV (8 h. TWA): (“Threshold Limit Value-Time Weighted Average”, por sus siglas en inglés). Valor umbral límite-Promedio ponderada en el tiempo. Concentración ponderada para una jornada normal de trabajo de ocho horas y una semana laboral de cuarenta horas, a la que pueden estar expuestos casi todos los trabajadores repetidamente día tras día, sin que se evidencien efectos adversos.

Vulnerabilidad: Es la mayor o menor facilidad de la ocurrencia de una amenaza en virtud de las condiciones que imperan; puede decirse que son los puntos o momentos de debilidad que se tienen y pueden favorecer la ocurrencia de un acto negativo o el aumento de las consecuencias de este.

Zona de Amortiguamiento para el Análisis de Riesgo: Área donde pueden permitirse determinadas actividades productivas que sean compatibles, con la finalidad de salvaguardar a la población y al ambiente.

Zona de Alto Riesgo para el Análisis de Riesgo: Área de restricción total en la que no se deben permitir actividades distintas a las del sector hidrocarburos e industrial.

1.9.4 Análisis preliminar de riesgos

El análisis preliminar de riesgos se considera como una herramienta eficaz para identificar desviaciones de las buenas prácticas de seguridad recomendadas para el diseño y análisis de riesgo de instalaciones de producción o manejo de hidrocarburos, como parte de las metodologías denominadas como preliminar, este estudio contempla el desarrollo de un Análisis Histórico, el cual se comenta más a detalle.

El análisis histórico de accidentes (AHA), es una buena técnica preliminar o inicial, que da la pauta de los principales registros históricos de accidentes, y particularmente da la base para el desarrollo de otras técnicas más detalladas. De lo anterior esta metodología se utilizó como base para la identificación preliminar de accidentes e incidentes ocurridos en instalaciones semejantes a la estación de descompresión.

1.9.5 Antecedentes de incidentes y accidentes de proyectos y/o instalaciones similares

La tecnología relacionada con el manejo de Gas Natural tiene un récord excelente de seguridad operacional y de rendimiento en los últimos 20 años. No obstante, durante la construcción y puesta en marcha de este tipo de instalaciones se han registrado algunos incidentes, principalmente relacionados con el uso de gas natural para limpieza o purga de las líneas de gas previo al inicio de operaciones.

Por lo anterior, durante la etapa de construcción el contratista deberá estar obligado a implementar y desarrollar un plan de seguridad detallado, revisado y aprobado por el dueño de la instalación, previo al inicio de la etapa de operación.

Accidentes por el manejo de gas natural en los Estados Unidos de América

A continuación, se presenta la descripción de accidentes de manejo de gas natural más relevantes tomados de la base de datos de la Agencia de Seguridad Química e Investigación de Peligros de los Estados Unidos de Norteamérica (CSB, por sus siglas en inglés) ocurridos en los últimos 10 años.

× Kleen Energy en Middletown, Connecticut (2010)

Seis trabajadores perdieron la vida durante una actividad de trabajo prevista para limpiar los residuos de las tuberías de gas natural en Kleen Energy en Middletown, en el Estado de Connecticut. Para remover los residuos de la tubería, los trabajadores utilizaron gas natural a alta presión, aproximadamente a 650 psig. Durante este proceso el gas natural encontró una fuente de ignición y explotó.

× Con Agra Slim Jim en Garner, Carolina del Norte (junio, 2009)

La CSB realizó una investigación de una explosión de gas natural catastrófico que ocurrió en las instalaciones de la planta de Con Agra Slim Jim en Garner, en el estado de Carolina del Norte, el 9 de junio de 2009. Ese accidente originó la pérdida de cuatro vidas humanas y causó heridas a otras 67 personas. El accidente se produjo durante la operación de purga al aire libre de una tubería de acero de abastecimiento de gas que estaba conectada a un calentador de agua. Debido a las dificultades para encender el calentador de agua, la operación de purga se continuó durante un tiempo inusualmente largo, causando finalmente la nube de gas en el interior del edificio acumulando gas a una concentración por encima de su límite inferior de explosividad.

La nube de gas causó una explosión al ponerse en contacto con una fuente de ignición, causando daños en los edificios de la planta. La explosión también causó daño a la tubería del sistema de la planta de enfriamiento a base de amoníaco, liberando aproximadamente 18,000 libras de amoníaco anhidro al medio ambiente.

× Accidentes en México por el manejo de derivados de petróleo

- El 11 de febrero del año 2013, se provocó accidentalmente una explosión de gas natural por trabajadores de la empresa OHL, quienes golpearon un ducto, de 10 in de diámetro de la empresa Gas Natural de México S.A. (Diganamex), al realizar trabajos de perforación para la construcción de un puente vehicular del Circuito Exterior Mexiquense, tercera etapa, resultando dos personas lesionadas y el desalojo de poco más de cinco mil habitantes.

- El siete de abril del año 2013 PEMEX precisó que el incendio se presentó en el gasoducto de 16 in Cinco Presidentes - Complejo Procesador de Gas La Venta, el cual fue ocasionado por el gas L.P. de una retroexcavadora de una empresa privada, a la altura de la carretera vecinal a Villa La Venta, en el municipio de Huimanguillo, resultando tres personas afectadas por ese accidente, a quienes no reporta con mayores problemas tras ser atendidas por servicios médicos comunitarios.
- El día 8 de Julio del año 2005 a las 10:45 PM a la altura del km 22 de la nueva autopista Reforma-Dos Bocas, personal de una compañía particular bajo cargo del gobierno estatal realizaba reparaciones en el puente "Dren Dos" debido a que presentaba con una capa aislante de 12 cm, el cual fue golpeado por una retroexcavadora provocando una fractura y fuga que se observa como burbujeo. Al no poder corregirla optan por suspender actividades y el personal de la empresa contratista abandonan el lugar.
- En el año 2001 se presentó una fuga en el gasoducto de 10 in de diámetro del cabezal Muspac-Batería Chiapas, la causa se relaciona con una falla de poro por corrosión exterior, se desfogó el ducto para despresurizarlo y efectuar reparación provisional.
- En el año 2000, fuga en gasoducto de 36 in de diámetro, A.P. Acometida Chiapas, la causa fue falla por rotura causando explosión, se realizó operativo de cierre de pozo e instalaciones y paro del envío de gas.
- Accidente en gasoducto de gas amargo de PEMEX, el 21 de septiembre de 1991 en Cunduacán, Tabasco al estallar un ducto de 16 in de diámetro, fallecieron 6 obreros de PEMEX. Este percance sucedió cuando los trabajadores realizaban actividades de corte en la línea que transportaba gas amargo, debido a que las líneas no fueron desfogadas antes de los trabajos de corte.
- Fuga en gaseoducto de gas natural de PEMEX, fecha 15 de junio de 1992 en Xalostoc, debido a la ruptura de una válvula de alivio. No se reportaron daños ni víctimas.
- Diciembre de 1986, se presentó una fuga de gas natural en el gasoducto cercano al Municipio de Cárdenas, dicho incidente provocó dos personas intoxicadas y más de 20,000 personas evacuadas, la causa no fue reportada.

× **Estadísticas de accidentes en México**

El Instituto Nacional de Ecología (INE), a través del Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales (COATEA) supervisado por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) clasificó las sustancias involucradas con mayor número de accidentes en distintos de procesos que se realizan en México.

Tabla 1.19 Sustancias de mayor índice de accidentes (1996-2002)

Nombre de la Sustancia	% de Accidentes
Petróleo Crudo	42.08
Gasolina	7.83
Diésel	6.80
Combustóleo	5.39
Amoniaco	4.05
Gas L.P.	3.19
Gas Natural	2.30
Aceites	2.27
Ácido Sulfúrico	2.26
Solventes Orgánicos	1.09
Otras Sustancias	27.21

De igual forma en los siguientes párrafos se indican algunos accidentes derivados del manejo de Gas Natural por ducto en México.

A continuación, se describen los accidentes e incidentes ocurridos (nacionales e internacionales), en la operación de proyectos y/o instalaciones similares y en su caso, aquellos ocurridos en sus propias Instalaciones. Resulta pertinente que se cubran los aspectos mínimos a verificar, donde se hayan aplicado las mejores prácticas nacionales e internacionales, así como haber implementado las lecciones aprendidas derivadas de los accidentes e incidentes relacionados con este tipo de proyectos y/o Instalación. Para lo anterior, a continuación se describen el histórico de accidentes, considerando: Evento, las causas, las sustancias involucradas, los daños materiales, pérdidas humanas, radios de afectación y las acciones realizadas para su atención.

El gas natural se transporta generalmente a través de gasoducto, siendo uno de los medios más utilizados, pero para llegar a las estaciones de descompresión se utiliza camiones de autotransporte denominados Modulo de Almacenamiento Móvil (MAM) la experiencia que se tiene en antecedentes de accidentes es la siguiente:

- En maniobras de cambio de módulos, en alguna ocasión un conductor no realizo el desacoplamiento del módulo al descompresor y engancho al tractor, sin darse cuenta de que aún estaba conectado dio marcha, lo que provocó la pérdida de contención en las mangueras de conexión. Por lo que ahora ya se instalaron las válvulas tipo Break-Away
- Igualmente, en maniobras de acoplamiento, anteriormente no se tenían las herraduras de protección, por lo que muchas veces el módulo llegaba a golpear el descompresor. Por lo que se implementaron en todos los sistemas las herraduras de protección

- En maniobras de transporte del módulo, un par de ocasiones se dio volcadura por exceso de velocidad, se da pláticas y capacitación a conductores

No se cuenta en México con un centro de información que concentre los datos de accidentes ocurridos en los gasoductos, así como en instalaciones de compresión y/o descompresión la investigación realizada a los mismos se realiza para determinar las causas.

Como resultado de este análisis se observa que, en términos generales, la frecuencia de ocurrencia de incidentes y/o accidentes en este tipo de instalaciones, es baja a pesar de que el gas natural es una sustancia altamente inflamable, esto puede deberse al incremento de las medidas, equipos y sistemas de seguridad, así como a la creación y mejora de leyes y reglamentos y la toma de conciencia por parte de la población.

Las causas más frecuentes de este tipo de eventos se deben a fallas técnicas y errores humanos, por otro lado, las consecuencias más frecuentes son paro de proceso, emisiones, incendios y explosiones.

1.9.6 Identificación de peligros, evaluación y análisis de riesgo

1.9.6.1 Fase de identificación y análisis de riesgo cualitativo

1.9.6.1.1 Criterios de selección de las metodologías utilizadas para el análisis y evaluación de riesgos

Actualmente existe una serie de variables que influyen en la selección de las metodologías de evaluación de riesgos, todas estas variables giran en relación con:

- Motivación del estudio
- Tipo de resultados requeridos
- Tipo de información disponible para realizar el estudio
- Riesgo percibido asociado con el proceso o actividad objeto del estudio
- Disponibilidad de recursos y preferencia del analista/dirección

De acuerdo con el ciclo de vida de las instalaciones, a las características operativas del proceso, a la naturaleza de las sustancias manejadas en las instalaciones referidas y a las características de su entorno, se establece que las técnicas más adecuadas para la identificación de riesgos asociados con la operación de la instalación, para fines del presente estudio son:

- Análisis de Peligro y Operatividad (HazOp, *por sus siglas en inglés*) para las operaciones unitarias de la Estación de Descompresión
- ¿Qué pasa si...? (What if...?), factores internos y externos de la Estación de Descompresión
- Análisis de consecuencias para la elaboración de los Diagramas de pétalos de la Estación de Descompresión.

1.9.6.2 Identificación de peligros y evaluación de riesgos

La identificación de riesgos se llevó a cabo mediante las metodologías **HazOp** complementada con la de “¿Qué pasa sí...?” y análisis de consecuencias, las sesiones para el análisis de estas metodologías se llevaron a cabo en el periodo del 10 al 11 de marzo de 2022, en las oficinas de CORPORACIÓN C H 4, S.A. DE C.V., ubicadas en calle Luna, número 2495, Colonia Jardines del Bosque Centro, Código Postal 44520, Guadalajara, Jalisco, con la participación del Grupo Multidisciplinario de Análisis de Riesgos los cuales son especialistas en Operación, Mantenimiento y Seguridad Industrial, además de que parte del personal es especialista en la conducción de las técnicas de identificación de riesgos. En el Anexo 1-7 se indican los integrantes del Grupo Multidisciplinario del presente estudio y en el Anexo 1-8, la lista de asistencia.

El Análisis de Riesgo se dirigió hacia la identificación y evaluación de las causas y consecuencias de eventos no deseados, que potencialmente puedan afectar la seguridad del proceso y derivado de ello al personal (Per), población (Pob), ambiente (Amb) e instalación (Inst); considerando de manera importante la identificación de las protecciones existentes, que permite determinar la aplicación de medidas adicionales, que conlleven a la operación segura de la Estación de Descompresión.

1.9.6.3 Descripción y desarrollo de la metodología para la identificación de riesgos

El Estudio de Riesgo y Operabilidad (HazOp) del proyecto denominado: “**Estación de Descompresión MAS HARINA**”, está integrado por una serie de metodologías cuyo objeto es el identificar las principales desviaciones durante el proceso, los cuales son:

- ✓ Metodología HazOp.
- ✓ Metodología: What if...?
- ✓ Jerarquización de Riesgos

La descripción de la metodología se da a continuación:

a) Análisis de riesgo y operatividad (HazOp)

La técnica de identificación de riesgos HazOp (Hazard and Operability Analysis, *por sus siglas en inglés*) es una metodología sistematizada de identificación de las situaciones que pueden desencadenar un evento no deseado, ocasionado por el descontrol del proceso.

El riesgo se define como el “producto” de la frecuencia y las consecuencias asociadas a la manifestación de un peligro de un proceso productivo; al aplicar la técnica HazOp, se pretende identificar aquellas circunstancias que no cuentan con medidas de seguridad, protección o emergencia suficientes, y que ponen en riesgo la operación segura de la instalación, derivando en posibles afectaciones al personal, ambiente, población, instalación.

Su aplicación en la identificación de riesgos dentro del presente Análisis de Riesgo está fundamentada en el seguimiento de cada una de las variables operativas dentro de los procesos

llevados en la Estación de Descompresión, con la finalidad de determinar las posibles desviaciones no deseadas. Siendo una metodología cualitativa para la identificación de riesgos, requiriéndose adicionalmente la cuantificación de las consecuencias mediante el uso de tecnología diseñada para tal fin.

Nodos analizados

La selección de nodos para la identificación de riesgos se definió utilizando como base la información proporcionada por la Estación de Descompresión.

Para el llenado de la información solicitada en el formato para HazOp, se consideraron las siguientes definiciones:

Causa: Indican los eventos más probables o razones que pueden originar una desviación del proceso o sistema.

Consecuencia: Los resultados o afectaciones, por la presencia de una desviación al proceso.
Salvaguardas: Representan las bondades y flexibilidad del proceso con fundamento en sistemas de ingeniería o controles administrativos, que previenen las causas o reducen las consecuencias de la desviación.

Desviación: Indica la combinación de la palabra guía y variable del proceso, es decir, la presentación de una situación no normal dentro de un proceso o sistema, aplicando sistemáticamente las palabras guía.

Diagramas de Referencia: Se listan los dibujos considerados de acuerdo al alcance del nodo.
Condiciones de operación: Estos se obtuvieron de los datos presentados en la descripción del proceso.

Intención de diseño: Representa las características o función para la cual fue diseñado el proceso o sistema.

Nodo: Sección o partes funcionales, claramente localizados, en los cuales se divide un proceso para ser analizado, a efecto de determinar e identificar los riesgos a los procesos de forma metódica y sencilla.

Palabra Guía: Palabra o frase que combina con una variable o parámetro, expresa y define una desviación a partir de la intención de diseño.

Recomendaciones: Representan las adecuaciones en materia de ingeniería, cambios en la filosofía del proceso, derivadas del consenso multidisciplinario del personal que participó en las sesiones del HazOp; pudiendo requerirse estudios posteriores para su implementación.

Variable o parámetro: Propiedad física o química asociada con el proceso. Incluye aspectos generales como reacción, mezcla, concentración, pH, y aspectos específicos como temperatura, presión, flujo, etc.

El formato de trabajo también incluye las columnas de frecuencia y severidad de las consecuencias antes de la Reducción de Riesgo (Per, Amb, Pob, Ins/Prod) que se utilizarán para establecer la región de riesgo en cada uno de los escenarios de interés, a partir de la categorización de riesgos establecida en las Guías técnicas para realizar análisis de riesgos de Procesos 800-16400-DCO-GT-75. Lo anterior permite la aplicación de la técnica de revisión de riesgo de la Instalación (Facility Risk Review –FRR- por sus siglas en inglés). El significado de las letras utilizadas en los encabezados de cada columna es el siguiente: F: Frecuencia; Per: Afectaciones a la seguridad del personal; Pob: Afectación a la población; Amb: Afectación al medio ambiente; Ins/Prod: Daños a la instalación; RR: Región de Aceptación de riesgo.

El desarrollo de las sesiones de identificación de riesgos se realizó bajo las siguientes consideraciones:

- La aplicación de las técnicas de identificación de riesgos se enfocó en la identificación de peligros potenciales que comprometieran la seguridad del proceso; por lo que aquellas desviaciones que como consecuencia inciden en aspectos de calidad u operación del proceso se clasificaron como consecuencias “No relevantes para la seguridad”. Aunado a lo anterior, en aquellas desviaciones donde no se determinó la posibilidad de ocurrencia, se indicó con la frase “No Aplica” (N. A.).
- Se documentaron causas que no dependen directamente de la acción de ser humano, dada la complejidad de cuantificar este factor (por ejemplo: errores humanos ocasionados por la falta de capacitación, inexperiencia, agotamiento, rutina, distracción, indolencia; u otros motivos); salvo la consideración específica de aquellas actividades durante el mantenimiento de ductos submarinos a través de corridas de elementos de limpieza.
- Se hizo la consideración de llamar “lazo de control” al conjunto de elementos tales como elemento primario de medición, transmisor, controlador y válvula; con el fin de evaluar la causa posible como un todo y no hacer omisión de los componentes del arreglo de control.
- La documentación de las salvaguardas se realizó mediante una tipificación cualitativa basada en la efectividad de las mismas; la cual debe ser precisada cuantitativamente mediante la aplicación de técnicas cuantitativas completas, como por ejemplo el análisis de capas de protección.

La secuencia para la documentación de los resultados del HazOp se realizó de acuerdo con la Figura 1.32.

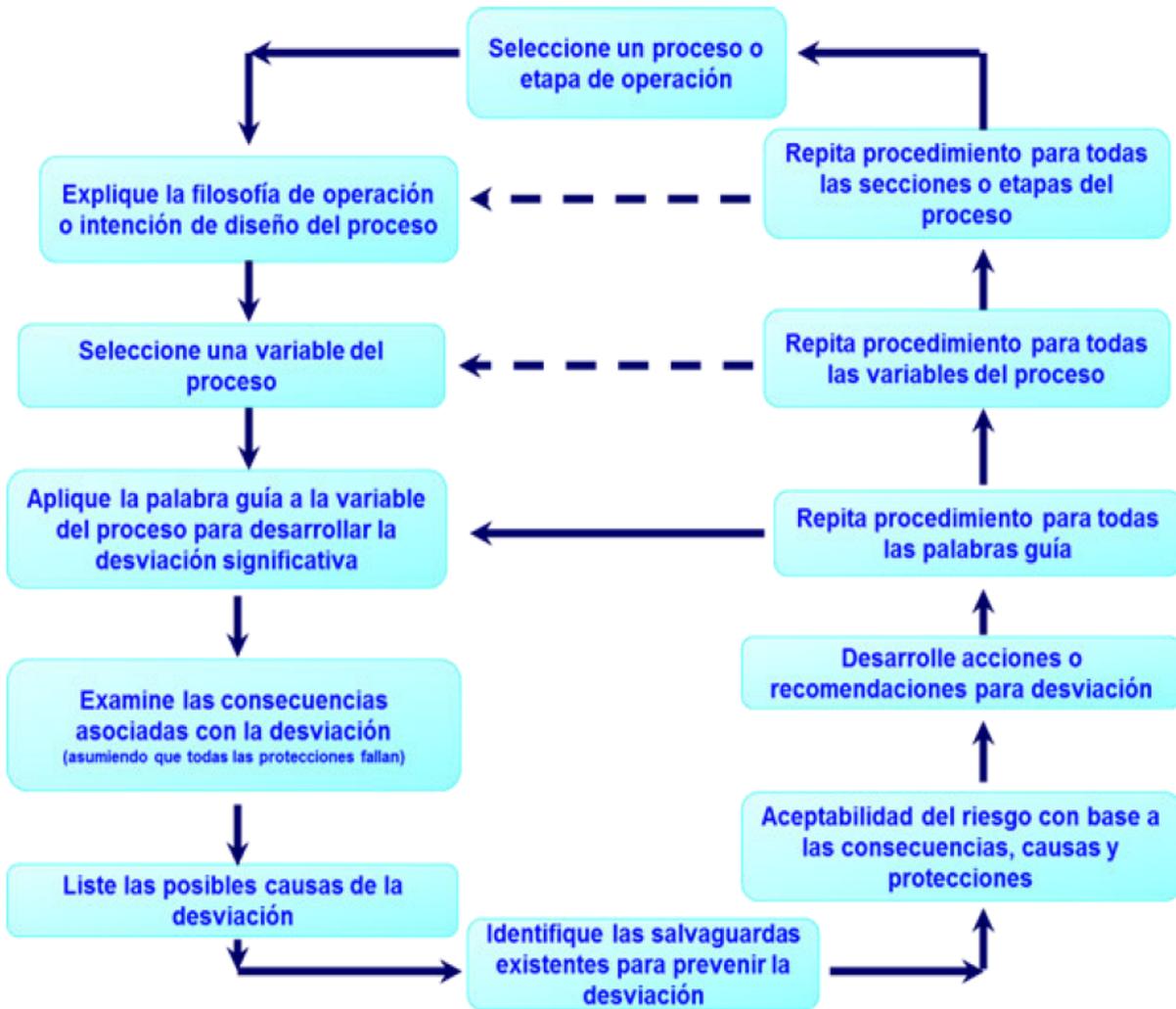


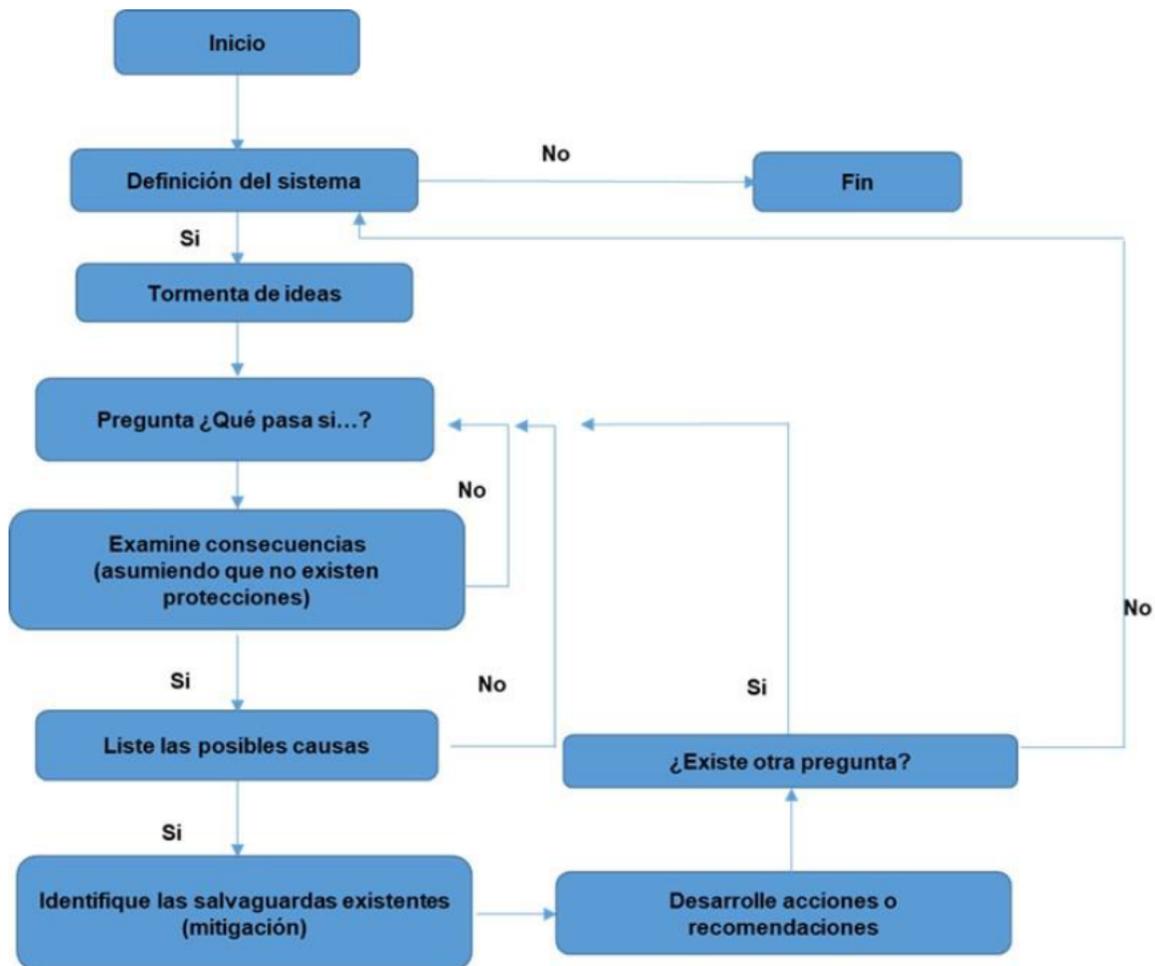
Figura 1.32 Secuencia de elaboración de la metodología HazOp

b) Metodología ¿Qué pasa sí? (What if...?, por sus siglas en inglés)

La metodología ¿Qué pasa sí...?, tiene el enfoque de lluvia de ideas en la que el grupo multidisciplinario familiarizado con el proceso formula preguntas acerca de posibles eventos no deseados, el análisis no es un proceso estructurado como algunas otras metodologías, en su lugar requiere que el analista adapte el concepto básico a la aplicación específica para actividades rutinarias, como el servicio de combustible y sus actividades operativas que puedes ser intermitentes.

El propósito de la metodología es identificar situaciones de riesgo o eventos de accidentes específicos que pueden producir una consecuencia indeseable, el grupo multidisciplinario debe identificar las posibles situaciones de accidente, sus consecuencias y las medidas de seguridad existentes para sugerir alternativas de reducción de riesgos, el método puede involucrar la revisión de posibles desviaciones de diseño, construcción o de operaciones, requiere de un entendimiento básico de la intención del proceso, junto con la habilidad de combinar mentalmente las posibles desviaciones del diseño que podrían resultar en un accidente, es una

metodología aceptable si el personal es experimentado; de otra manera, los resultados serán probablemente incompletos.



Fuente: AIChE, 2002.

Figura 1.33 Secuencia para el desarrollo de la metodología ¿Qué pasa si...?

Durante las sesiones del Grupo Multidisciplinario y para el desarrollo de la metodología ¿Qué pasa si...?, se consideraron las siguientes definiciones:

Causa: Indican los eventos más probables o razones que pueden originar una desviación del proceso o sistema.

Condiciones de operación: Estos se obtuvieron de los datos presentados en la descripción del proceso.

Consecuencia: Los resultados o afectaciones, por la presencia de una desviación al proceso.
Salvaguardas: Representan las bondades y flexibilidad del proceso con fundamento en sistemas de ingeniería o controles administrativos, que previenen las causas o reducen las consecuencias de la desviación.

Equipo o sistema: Considera la división del proceso en equipos típicos o sistemas funcionales de acuerdo con la filosofía del proceso.

Intención de diseño: Representa las características o función para la cual fue diseñado el proceso o sistema.

Recomendaciones: Representan las adecuaciones en materia de ingeniería, cambios en la filosofía del proceso, derivadas del consenso multidisciplinario del personal que participó en las sesiones; pudiendo requerirse estudios posteriores para su implementación.

1.9.6.4 Evaluación de riesgos

La ponderación de riesgos consiste en asignar valores estimados de frecuencia y severidad de consecuencias a los escenarios de riesgo identificados con base en la experiencia del personal y la ocurrencia de eventos similares que se hubiesen presentado durante los años de operación en una estación similar, lo anterior sin considerar la acción de las salvaguardas, se emplean las categorías de frecuencia y consecuencias, evaluando cuatro rubros de afectación: Al personal, población, ambiente y daños a la instalación.

En el caso de la Estación de Descompresión, las categorías de frecuencia y consecuencia se presentan en las Tablas 1.20 y 1.21, donde se verifica la fila de categorías de frecuencia o probabilidad y se estima la ocurrencia del evento identificado, posteriormente, se cruza con la columna de consecuencia o severidad y se obtiene el nivel de riesgo del escenario evaluado o identificado previamente por las metodologías de identificación de riesgos HazOp y ¿Qué pasa sí...?. Esta actividad se realiza para cada uno de los escenarios de riesgo identificados para la Estación de Descompresión durante el desarrollo de ambas metodologías.

Tabla 1.20 Tabla de clasificación de frecuencias para escenarios de riesgo

Clasificación	Categoría	Descripción	Frecuencia / año
F6	Muy frecuente	Puede ocurrir una o más veces en un año	$F \geq 1.0$ ($F \geq 1 \times 10^0$)
F5	Frecuente	Puede ocurrir una o más veces en un periodo mayor a 1 año y hasta 5 años.	$0.2 \leq F < 1.0$ ($2 \times 10^{-1} \leq F < 1 \times 10^0$)
F4	Poco frecuente	Puede ocurrir una o más veces en un periodo mayor a 5 años y hasta 10 años.	$0.1 \leq F < 0.2$ ($1 \times 10^{-1} \leq F < 2 \times 10^{-1}$)
F3	Raro	Puede ocurrir una o más veces en un periodo entre 10 y 20 años.	$0.05 \leq F < 0.1$ ($5 \times 10^{-2} \leq F < 1 \times 10^{-1}$)
F2	Muy raro	Puede ocurrir solamente una vez en la vida útil de la instalación	$0.03 \leq F < 0.05$ ($3 \times 10^{-2} \leq F < 5 \times 10^{-2}$)
F1	Extremadamente raro	Es posible que ocurra, pero a la fecha no existe ningún registro	$0.01 \leq F < 0.03$ ($1 \times 10^{-2} \leq F < 3 \times 10^{-2}$)

Análisis: GRUPO INGENII, S. DE R.L. DE C.V., 2021.

Tabla 1.21 Descripción de las consecuencias

Categoría	Daños al personal	Daños a la población	Daños al medio ambiente	Daños a la producción / Instalación (USD)
C6 Catastrófico	Lesiones o daños físicos que pueden generar más de una fatalidad	Lesiones o daños físicos que pueden generar más de 30 fatalidades	Se presentan fugas y/o derrames con efectos fuera de los límites de la instalación. El control implica acciones mayores a una semana	Pérdida total de la instalación. Daños a la instalación superiores a 500,000,000
C5 Mayor	Lesiones o daños físicos que pueden generar incapacidad permanente o una fatalidad	Lesiones o daños físicos que pueden generar de 6 a 30 fatalidades con impacto a comunidades cercanas	Se presentan fugas y/o derrames con efectos fuera de los límites de la instalación. El control implica acciones entre 1 día y una semana	Entre 100 días y un año de tiempo perdido. Daño a las instalaciones con costo \geq 50,000,000 a 500,000,000
C4 Grave	Lesiones o daños físicos que pueden generar incapacidad permanente o una fatalidad	Lesiones o daños físicos que pueden generar de 1 a 5 fatalidades. Evento que requiere hospitalización	Se presentan fugas y/o derrames con efectos fuera de los límites de la instalación. El control implica acciones entre 1 hora y un día	Entre 10 y 100 días de tiempo perdido. Daño a las áreas de proceso (equipos y productos) con costo \geq 5,000,000 a 50,000,000
C3 Moderado	Lesiones o daños físicos que requieren primeros auxilios y/o atención médica pero que no generan incapacidad	Ruidos, olores e impacto que se detectan fuera de los límites de la instalación y/o derecho de vía. Se requieren acciones de evacuación y existe la posibilidad de lesiones o daños físicos	Se presentan fugas y/o derrames evidentes al interior de la instalación. El control implica acciones de hasta 1 hora	Pérdida de entre 1 y 10 días de producción y/o daño a equipos con costo: \geq 500,000 a 5,000,000
C2 Menor	Daños leves que no requieren atención médica	Ruidos, olores e impacto visual que se pueden detectar fuera de los límites de la instalación y/o derecho de vía	Fugas y/o derrames solamente perceptibles al interior de la instalación. El control es inmediato	Pérdida de hasta entre 1 día de producción y/o producto. Daño mínimo a los equipos. (<500,000 USD) 5,000,000

Categoría	Daños al personal	Daños a la población	Daños al medio ambiente	Daños a la producción / Instalación (USD)
		con posibilidad de evacuación.		
C1 Despreciable	No se esperan lesiones o daños físicos	No se esperan impactos con lesiones o daños físicos	No se esperan fugas, derrames y/o emisiones por arriba de los límites establecidos	No interrupciones ni al proceso ni a la producción

Análisis: GRUPO INGENII, S. DE R.L. DE C.V., 2021.

1.9.6.5 Matriz de riesgos

Las matrices de riesgos normalmente se emplean para calificar inicialmente el nivel de riesgo y podría ser la primera etapa dentro de un análisis cuantitativo de riesgos. Esa matriz aplica única y exclusivamente para la “**Estación de Descompresión MAS HARINA**”.

Las matrices de riesgos son gráficas en dos dimensiones en cuyos ejes se presenta la categoría de frecuencia de ocurrencia y la categoría de severidad de las consecuencias sobre él personal (Per), la población (Pob), el ambiente (Amb) y la instalación (Inst). Esas matrices están clasificadas en regiones que representan el riesgo alto (color rojo), riesgo medio (color amarillo) y riesgo bajo (color verde).

Una escala de valores de riesgo se diseña para contar con una medida de comparación entre diversos riesgos. Aunque un sistema de este tipo puede ser relativamente simple, la escala debe representar valores que tengan un significado para la organización y que puedan apoyar la toma de decisiones.

Esa escala debe de cumplir con las siguientes características:

- Ser simple de entender y fácil de usar por toda la organización
- Incluir todo el rango de frecuencia de ocurrencia de escenarios de riesgo potenciales a los que las instalaciones pueden estar expuestos
- Describir detalladamente las consecuencias en cada categoría (personal, población, ambiente e instalación), cada categoría es importante sin embargo población y el ambiente son temas sensibles y por lo tanto deben valorarse adecuadamente
- Definir claramente los niveles de riesgo resultantes de la aplicación de la matriz

La aplicación de las matrices de evaluación de riesgos como método para calificar los riesgos dentro de una instalación tiene ventajas y desventajas:

La ventaja del uso de una matriz de riesgo es:

- Ser simple de entender y fácil de usar.
- Bajo costo de aplicación.

Algunas de sus desventajas son:

- La evaluación de la frecuencia de ocurrencia es subjetiva, de “Probable” a “Improbable”
- Las categorías de frecuencias y de consecuencias son cualitativas y generan un grado de incertidumbre para personas ajenas al negocio o actividad; muchas veces también por parte de las autoridades los rangos utilizados para la calificación de frecuencia y consecuencias son sujetos de revisión pero estas fueron elaboradas como ya se mencionó anteriormente con base en la experiencia del personal y la ocurrencia de eventos similares que se hubiesen presentado durante los años de operación en una instalación similar.

Cada matriz es única y se ajusta a los criterios y normativas de cada empresa, ya que existen diversas matrices; el uso de una u otra dependen del tipo de operación que realiza la instalación y está regida por la complejidad de los riesgos identificados y las acciones a considerar para su administración.

En el caso de la Estación de Descompresión, se empleó una matriz de evaluación de riesgos como se muestra más adelante, que se considera adecuada para calificar los riesgos de la misma Estación.

La matriz empleada, funciona seleccionando las consecuencias o severidad apropiadas en la parte inferior y a continuación, haciendo referencia cruzada contra la fila que contiene la frecuencia o probabilidad, para obtener el nivel de riesgo, tal y como se indica en la Tabla 1.22.

Tabla 1.22 Matriz de riesgo

Frecuencia		Consecuencia					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
		Despreciable	Menor	Moderado	Grave	Mayor	Catastrófico
F6	Muy frecuente	B	B	A	A	A	A
F5	Frecuente	C	B	B	A	A	A
F4	Poco frecuente	C	C	B	B	A	A
F3	Raro	C	C	C	B	B	A
F2	Muy raro	C	C	C	C	B	A
F1	Extremadamente raro	C	C	C	C	C	B

Análisis: GRUPO INGENII, S. DE R.L. DE C.V., 2021.

1.9.6.6 Clasificación de los niveles de riesgo

Las clasificaciones de los niveles de riesgo identificados para la Estación de Descompresión se interpretan como se muestran en la Tabla 1.23.

Tabla 1.23 Niveles de riesgo

Tipo de riesgo	Descripción
A	Riesgo Alto: Riesgo intolerable que requiere medidas inmediatas. No se puede continuar operando hasta reducir el nivel de riesgo
B	Riesgo Medio: Riesgo que puede ser aceptado atendiendo las recomendaciones para su gestión
C	Riesgo Bajo: No requiere la implementación de medidas y se gestiona mediante el programa de mejora continua

Análisis: GRUPO INGENII, S. DE R.L. DE C.V., 2021.

1.9.6.7 Fase de análisis de riesgo

Para el desarrollo de la evaluación de riesgos se tomó como base la memoria descriptiva de la obra: “**Estación de Descompresión MAS HARINA**” y los criterios establecidos por el Grupo Multidisciplinario integrado por personal de CORPORACIÓN C H 4, S.A. DE C.V. y de GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

El Grupo Multidisciplinario se integró con la finalidad de identificar y evaluar los posibles peligros y riesgos correspondientes a la operación de la Estación de Descompresión.

1.9.6.8 Nodos analizados del HazOp

La selección de los sistemas para la identificación de riesgos se definió de acuerdo con lo establecido por el Grupo Multidisciplinario, los cuales son desarrollados conforme con las actividades para la operación rutinaria de la Estación de Descompresión; quedando de la siguiente manera una vez ajustados para el análisis durante la identificación de riesgos.

En la Tabla 1.24 se presenta cada uno de los nodos analizados en la identificación y ponderación de los riesgos mediante la técnica HazOp y en el Anexo 1.9 se muestran los nodos marcados en el DTI.

Tabla 1.24 Nodos analizados en la identificación de riesgos mediante la Metodología HazOp

Nodo	Descripción	Diagramas	
		DFP	DTI
1	De contenedor MAM a poste de descarga, pasando por el sistema de descompresión hasta entrega final de gas natural a cliente y línea de alimentación a calentador	---	DTI BonGas 600B
2	Salida de agua para calentamiento de gas natural	---	DTI BonGas 600B
3	Retorno de agua del intercambiador de calor	---	DTI BonGas 600B

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

1.9.6.9 Determinación de escenarios de riesgo (Jerarquización)

Como resultado de la metodología utilizada HazOp se obtuvieron 30 escenarios de riesgo, los cuales quedaron distribuidos de acuerdo con los sistemas analizados con el Grupo Multidisciplinario, quedando como se muestra en la Tabla 1.25.

Tabla 1.25 Resumen de resultados de la identificación de riesgos

Nodo	Escenarios
1	14
2	9
3	7

Análisis: GRUPO INGENII S. de R.L. de C.V.

Una vez identificados estos escenarios se inicia con la caracterización y jerarquización de riesgos, donde las consecuencias y probabilidades estimadas correspondientes a los escenarios, se posicionan en las zonas de riesgo de la matriz, lo cual será la base para la toma de decisiones y acciones con la finalidad de llevar los riesgos a un nivel de riesgo bajo, previniendo y/o mitigando sus posibles consecuencias.

En las Tablas siguientes se presentan las matrices para los escenarios de riesgos asociados a la frecuencia y consecuencias evaluados para daños a personal, a la población, al medioambiente y a la instalación.

Tabla 1.26 Matriz de daños al personal

Descripción	Consecuencia					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
F6	0	0	0	0	0	0
F5	0	0	0	0	0	0
F4	0	1	4	0	0	0
F3	1	2	4	0	0	0
F2	2	4	0	0	0	0
F1	0	0	0	0	0	0

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

Tabla 1.27 Matriz de daños a la población

Descripción	Consecuencia					
Frecuencia	C1	C2	C3	C4	C5	C6
F6	0	0	0	0	0	0
F5	0	0	0	0	0	0
F4	5	0	0	0	0	0
F3	6	1	0	0	0	0
F2	6	0	0	0	0	0
F1	0	0	0	0	0	0

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

Tabla 1.28 Matriz de daños al medioambiente

Descripción	Consecuencia					
Frecuencia	C1	C2	C3	C4	C5	C6
F6	0	0	0	0	0	0
F5	0	0	0	0	0	0
F4	0	1	4	0	0	0
F3	0	3	4	0	0	0
F2	2	2	2	0	0	0
F1	0	0	0	0	0	0

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

Tabla 1.29 Matriz de daños a la instalación

Descripción	Consecuencia					
Frecuencia	C1	C2	C3	C4	C5	C6
F6	0	0	0	0	0	0
F5	0	0	0	0	0	0
F4	0	1	4	0	0	0
F3	0	4	3	0	0	0

Descripción	Consecuencia					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
F2	0	6	0	0	0	0
F1	0	0	0	0	0	0

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

Tabla 1.30 Total de escenarios inherentes

Daño	Escenarios			Total de escenarios
	A	B	C	
Al personal	0	4	14	18
A la población	0	0	18	18
Al medioambiente	0	4	14	18
A la instalación	0	4	14	18

El total es de 30 escenarios de riesgo, ya que se tienen 12 escenarios sin causa de interés.

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

1.9.6.10 Sistemas analizados (metodología ¿Qué pasa sí...?)

La selección de los sistemas para la identificación de riesgos se definió de acuerdo con lo establecido por el Grupo Multidisciplinario, los cuales son desarrollados conforme con las actividades para la operación rutinaria de la Estación de Descompresión; quedando de la siguiente manera una vez ajustados para el análisis durante la identificación de riesgos.

En la Tabla 1.31 se presenta cada uno de los sistemas analizados en la identificación y ponderación de los riesgos mediante la técnica ¿Qué pasa sí...?

Tabla 1.31 Sistemas analizados en la identificación de riesgos mediante la Metodología ¿Qué pasa sí...?

Sistemas	Subsistemas
2. Factores internos	1. Ambiente laboral
	2. Factores ergonómicos
3. Factores externos	1. Vandalismo / Sabotaje
	2. Bloqueo
	3. Colisión de Módulo de Almacenamiento Móvil (MAM)
	4. Climáticos

Sistemas	Subsistemas
	5. Actividades agrícolas

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

1.9.6.11 Determinación de escenarios de riesgo (Jerarquización)

Como resultado de la metodología utilizada Qué pasa sí...? se obtuvieron 124 escenarios de riesgo 12 tipo B 111 tipo C y uno sin causa de interés, los cuales quedaron distribuidos de acuerdo a los sistemas analizados con el grupo multidisciplinario, quedando como se muestra en la Tabla 1.32.

Tabla 1.32 Resumen de resultados de la identificación de riesgos

Sistema	Escenarios
Factores internos	80
Factores externos	43

El total es de 124 escenarios de riesgo, ya que se tiene un escenario sin causa de interés.

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

Una vez identificados estos escenarios se inicia con la caracterización y jerarquización de riesgos, donde las consecuencias y probabilidades estimadas correspondientes a los escenarios, se posicionan en las zonas de riesgo de la matriz, lo cual será la base para la toma de decisiones y acciones con la finalidad de llevar los riesgos a un nivel de riesgo bajo, previniendo y/o mitigando sus posibles consecuencias.

En las Tablas siguientes se presentan las matrices para los escenarios de riesgos asociados a la frecuencia y consecuencias evaluados para daños a personal, a la población, al medioambiente y a la instalación.

Tabla 1.33 Matriz de daños al personal

Descripción	Consecuencia					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
F6	0	0	0	0	0	0
F5	0	0	0	0	0	0
F4	17	8	12	0	0	0
F3	27	16	3	0	0	0
F2	31	4	5	0	0	0
F1	0	0	0	0	0	0

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

Tabla 1.34 Matriz de daños a la población

Descripción	Consecuencia					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
F6	0	0	0	0	0	0
F5	0	0	0	0	0	0
F4	24	6	12	0	0	0
F3	21	17	3	0	0	0
F2	28	4	8	0	0	0
F1	0	0	0	0	0	0

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

Tabla 1.35 Matriz de daños al medioambiente

Descripción	Consecuencia					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
F6	0	0	0	0	0	0
F5	0	0	0	0	0	0
F4	19	17	0	0	0	0
F3	24	19	4	0	0	0
F2	27	10	3	0	0	0
F1	0	0	0	0	0	0

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

Tabla 1.36 Matriz de daños a la instalación

Descripción	Consecuencia					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
F6	0	0	0	0	0	0
F5	0	0	0	0	0	0
F4	14	22	0	0	0	0

Descripción	Consecuencia					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
F3	25	20	2	0	0	0
F2	30	10	0	0	0	0
F1	0	0	0	0	0	0

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

Tabla 1.37 Total de escenarios inherentes

Daño	Escenarios			Total de escenarios
	A	B	C	
Al personal	111	12	0	123
A la población	111	12	0	123
Al medioambiente	123	0	0	123
A la instalación	123	0	0	123

El total es de 124 escenarios de riesgo, ya que se tiene un escenario sin causa de interés.

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

Tomando en cuenta la clasificación de escenarios en las distintas zonas de riesgo, de los cuatro rubros evaluados con la matriz y los escenarios procedentes de la revisión y jerarquización de riesgo empleando la metodología HazOp se obtuvieron 4 escenarios con riesgo de tipo "B", mientras que de la metodología ¿Qué pasa sí...? se obtuvo 12 escenarios con riesgo de tipo "B", por lo que de ellos se evaluarán los escenarios de consecuencias de ambas metodologías, en los Anexos 1-10 y 1-11, se muestran las Hojas de Trabajo del HazOp y del ¿Qué pasa sí...?, respectivamente.

De acuerdo con el listado de los Escenarios de Riesgo, se establece la tipificación de escenarios en peores casos (liberación masiva de toda la sustancia manejada o ruptura total del ducto y/o recipiente), casos más probables y de ser aplicable, los casos alternos, los escenarios desarrollados corresponden a eventos de fugas o pérdidas de contención de gas natural mostrados en la Tabla 1.38.

Tabla 1.38 Escenarios de riesgos identificados

Número	Clave del Escenario	Descripción	Tipo de Caso
1	E-01-PC	Ruptura en línea de entrada de 1.0" a la estación de descompresión, producida por colisión de MAM, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población, medio ambiente.	Peor caso

Número	Clave del Escenario	Descripción	Tipo de Caso
2	E-02-CMP	Fuga de gas natural en tuberías y/o accesorios por represionamiento en línea de 3/8" debido a taponamiento del filtro, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población y medio ambiente. 20%	Caso más probable
3	E-03-CA	Fuga de gas natural en bridas por represionamiento en línea de 3" debido a falla en la segunda etapa de regulación, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población y medio ambiente. 20%	Caso alternativo

Análisis: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.



ANÁLISIS DE RIESGO

SECTOR HIDROCARBUROS

Actividades Altamente Riesgosas

Estación de Descompresión MAS HARINA

CAPÍTULO 2

Descripción de las zonas de protección
entorno a las instalaciones



CAPÍTULO 2

Descripción de las zonas de protección entorno a las instalaciones

Contenido

2.1	ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGO	85
2.1.1	Análisis detallado de consecuencias	85
2.1.1.1	Modelo de emisión	87
2.1.1.2	Modelo de dispersión	87
2.1.1.3	Modelo de fuego.....	88
2.1.1.4	Modelo de explosión.....	89
2.1.2	Efectos por radiación térmica	90
2.1.3	Efectos por onda expansiva	91
2.2	MODELACIÓN DE LOS RADIOS DE AFECTACIÓN	92
2.2.1	Condiciones climáticas del sitio de estudio.....	92
	Tlajomulco	93
2.2.2	Criterios, premisas y consideraciones aplicadas	94
2.2.2.1	Normatividad aplicable	94
2.2.2.2	Tamaño de fuga.....	95
2.2.2.3	Estabilidades atmosféricas	96
2.2.3	Cálculo de inventarios de fuga.....	96
2.2.4	Dirección de la fuga	99
2.2.5	Tipo de área de localización de la instalación.....	99
2.2.6	Selección de escenarios	100
2.2.7	Escenarios simulados	100
2.2.8	Resultados de las simulaciones	108
2.2.9	Representación de los radios de afectación en planos.....	109

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Recomendaciones derivadas del estudio HazOp y Qué pasa si...? Para escenarios de tipo “B”	85
Tabla 2.2 Efectos por radiación térmica	91
Tabla 2.3 Efectos estimados debido a la sobrepresión	91
Tabla 2.4 Datos disponibles a través de las estaciones climatológicas más cercanas al área de estudio durante los últimos 90 días (Sistema de información y visualización de estaciones automáticas, 2021)	93
Tabla 2.5 Datos generales de la Estación “Tlajomulco” (Sistema de Información y visualización de Estaciones Automáticas, 2021)	93
Tabla 2.6 Estabilidad atmosférica de Pasquill	94
Tabla 2.7 Parámetros para la determinación de las zonas de alto riesgo y amortiguamiento para el Análisis de Riesgo	94
Tabla 2.8. Diámetros equivalentes de fuga (DEF) para simulación de escenarios de riesgo por fuga de gas natural en la estación de descompresión	95
Tabla 2.9 Diámetros equivalentes de fuga DEF	96
Tabla 2.10 Criterios ambientales para la simulación de escenarios de riesgos de la estación de descompresión	96
Tabla 2.11 Especificaciones del Gas Natural	97
Tabla 2.12 Criterio para asignar tiempos de fuga	98
Tabla 2.13 Direcciones de fuga en el simulador	99
Tabla 2.14 Criterios de localización de los eventos	99
Tabla 2.15 Datos del inventario de tasa de descarga	107

Índice de Figuras

Figura 2.1 Ejemplo gráfico de los modelos de emisión y dispersión	88
Figura 2.2 Ejemplo de una explosión de nube de vapor (VCE)	90
Figura 2.3 Evolución de una BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)	90

CAPÍTULO 2

Descripción de las zonas de protección entorno a las instalaciones

2.1 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGO

Los escenarios de riesgo clasificados como altos y/o medios, derivados de la identificación de peligros y jerarquización de escenarios (análisis cualitativo de Riesgo) pertenecen o son generados por actividades no rutinarias, todos ellos se encuentran en función del error humano, debido a ello la mejor practica para reducir la frecuencia de ocurrencia de los mismos es aplicar programas continuos de capacitación de personal, certificar que el personal calificado cuente con las habilidades requeridas para las funciones que desempeña y el total cumplimiento y apego a los procedimientos operativos, Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Recomendaciones derivadas del estudio HazOp y Qué pasa si...? Para escenarios de tipo "B"

Escenario	Recomendaciones
HazOp	
2	Dar mantenimiento preventivo a los equipos de acuerdo a las recomendaciones del fabricante
4	
12	
13	
Qué pasa si...?	
2.3.1	Dar capacitación al personal en planes de respuesta a emergencia
	Dar capacitación continua a conductores para manejo y mantenimiento de MAM

Fuente: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

2.1.1 Análisis detallado de consecuencias

Las sustancias peligrosas, son aquellos compuestos químicos, que en cualquier estado provocan daños de manera directa o indirecta.

El propósito del Análisis de Consecuencias (AC) es la evaluación cuantitativa de la evolución espacial y temporal de las variables físicas representativas de los fenómenos peligrosos en los que intervienen sustancias peligrosas, con el claro objetivo de estimar la naturaleza y magnitud

del daño, contribuyendo a la identificación de las medidas necesarias para evitar daños al personal, población, medio ambiente y las instalaciones (AIChE/CCPS, 1994).

La evaluación de consecuencias para la Estación de Descompresión se realizó para los escenarios prioritarios, ubicados en la región de riesgo A (Alto) y B (Medio) mostrados en la jerarquización de riesgos, empleando el software de simulación PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) en su versión 6.7.

Por otra parte, los errores humanos, las fallas en los sistemas de seguridad, así como la corrosión y el desgaste en líneas y equipos de proceso, son algunas de las causas de accidentes, que no siempre son evidentes desde la experiencia operativa. En general, los accidentes son ocasionados por la pérdida de control o la pérdida de contención de materia o energía. Esta pérdida de contención es debida:

- Fugas de materiales tóxicos o inflamables
- Derrames de líquidos inflamables

Cuando el material es liberado, dependiendo de la composición del material, se genera una nube tóxica, inflamable o explosiva, la cual presenta diversas formas de evolución del accidente, por ejemplo:

- El material liberado forma una nube de vapor tóxica que se disperse sin ninguna consecuencia
- La nube de vapor no confinada puede alcanzar un punto de ignición y provocar un incendio con consecuencias menores
- La radiación térmica provocada por el incendio puede debilitar la estructura de otros recipientes y ocasionar una explosión con consecuencias mayores

Esta nube puede generar pérdidas económicas relacionadas con daños a equipos, estructuras de proceso, salud e integridad del personal, por lo tanto, es muy importante determinar la magnitud de las consecuencias.

La duración del accidente depende en gran medida de los medios disponibles para mitigar el evento, la capacidad del personal de operación y seguridad, que en esos momentos se encuentre disponible para atender la emergencia (Guidelines for Selection Process Safety).

Para determinar la magnitud de las consecuencias de un evento no deseado de forma anticipada, es necesario simular y cuantificar el comportamiento del material liberado a través de modelos teóricos-empíricos. Estos modelos se aplican en el siguiente orden:

- ✓ Modelo de emisión
- ✓ Modelo de dispersión
- ✓ Modelo de fuego
- ✓ Modelo de explosión

2.1.1.1 Modelo de emisión

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

Las emisiones accidentales de materiales peligrosos pueden ser instantáneas o continuas, incluyendo flujo en una o dos fases, siendo éstas de tanques de almacenamiento o tuberías, los cuales pueden ser refrigerados, a presión, sobre la tierra, sumergidos, confinados o no confinados. Algunos de estos escenarios con diferentes mecanismos de emisión pueden ocurrir en tanques presurizados con líquidos refrigerados.

Es conveniente mencionar que existe una gran diferencia en el comportamiento de la concentración de un gas con respecto al tiempo para una falla catastrófica (emisión instantánea) en un tanque de almacenamiento en comparación con una pequeña falla puntual (emisión continua) en el mismo tanque.

2.1.1.2 Modelo de dispersión

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

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

- Estabilidad atmosférica: Se refiere a las condiciones meteorológicas relevantes respecto al nivel de mezclado vertical entre las capas de aire, provocada en gran medida por los efectos de gradientes de temperatura. El modelo relaciona el mezclado vertical del aire al considerar la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar en el medio.
- Velocidad de viento: Se refiere a la dirección horizontal. Conforme la velocidad del viento se incrementa, la pluma se vuelve más larga y puntiaguda incrementándose al mismo tiempo la dilución de la misma y las sustancias se transportan más rápido corriente abajo.
- Condiciones del terreno: Las condiciones del terreno afectan el mezclado mecánico en la superficie y el perfil de la velocidad del viento con la altura. Los árboles y las

construcciones incrementan el mezclado, mientras que los lagos y áreas abiertas lo decremantan.

- **Altura de emisión:** La altura de la emisión afecta significativamente la concentración al nivel de piso. Conforme la altura se incrementa, las concentraciones al nivel del piso se reducen ya que la pluma debe dispersarse a una distancia mayor sobre la vertical.
- **Momentum y flotación del material liberado:** el momentum y flotación inicial del material liberado cambian la altura efectiva de la emisión. Después de que el momentum y la flotación inicial se han disipado, el mezclado turbulento de la atmósfera será el efecto dominante.

Los resultados de la estimación de los modelos de dispersión también se pueden utilizar para:

- Desarrollar planes de emergencia con los alrededores de la comunidad.
- Desarrollar modificaciones a la ingeniería para eliminar fuentes de emisión.
- Aislar emisiones potenciales e instalar venteos apropiados u otros equipos de remoción e vapores.
- Reducir el inventario de materiales peligrosos.

En la Figura 2.1 se muestran los modelos antes descritos, modelo de emisión y modelo de dispersión.

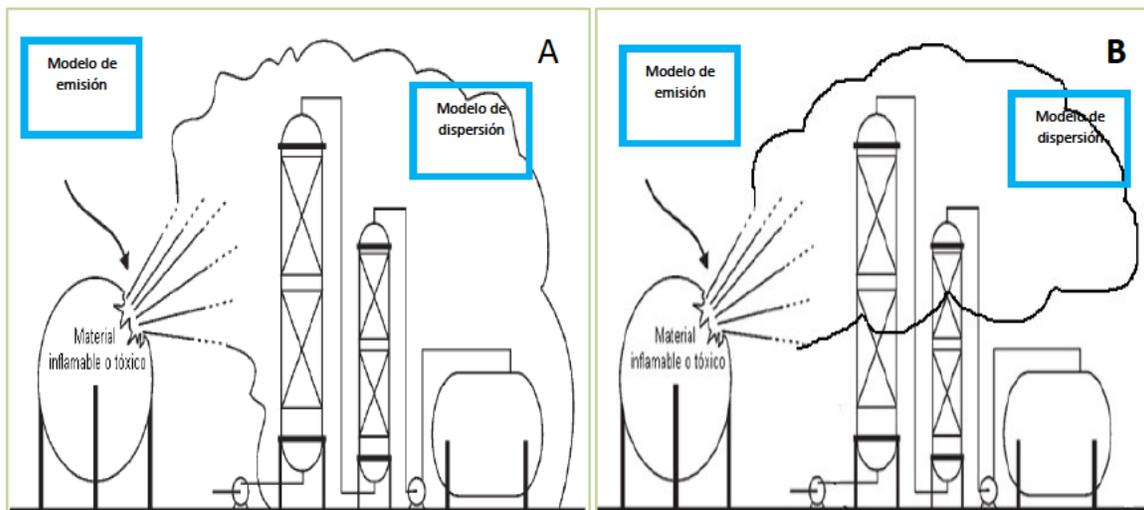


Figura 2.1 Ejemplo gráfico de los modelos de emisión y dispersión
A. Sustancias pesadas (Diesel etc.) B. Sustancias ligeras (H₂, etc.)

2.1.1.3 Modelo de fuego

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

Algunos de los modelos empleados son:

➤ **Fuego por vaporización súbita (Flash Fire)**

Una forma de reacción química del gas LP que escapa es la formación de un evento denominado flash fire. Cuya modelación matemática depende de factores como el volumen de la nube de gas, área que cubre y la emisión de calor producida. El tamaño de la nube depende parcialmente de las condiciones del escape del material y de la dispersión, los efectos de la radiación térmica dependen de la distancia de la flama, su altura, el poder emisor, las condiciones de transmisividad atmosférica y el tamaño de la nube.

➤ **Fuego en un charco o alberca (Pool Fire)**

Es una combustión estacionaria con flama de difusión del líquido de un charco de dimensiones conocidas, que se produce en un recinto descubierto. El principal efecto del fuego es un charco o alberca es la radiación térmica. Los efectos térmicos dependen del tipo de combustible, de la geometría del charco, de la duración de la flama y de la localización del receptor con respecto a la radiación de la flama.

➤ **Fuego en forma de chorro (Jet Fire)**

El fuego en forma de chorro resulta de la combustión de un material cuando empieza la liberación de dicho material desde una unidad presurizada.

2.1.1.4 Modelo de explosión

Las explosiones de gas son caracterizadas por la rápida combustión, en la cual la alta temperatura de los productos de combustión se expande y afecta a los alrededores.

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

➤ **Explosión de una nube de vapor (Vapor Cloud Explosion VCE)**

Si una gran cantidad de material volátil inflamable se libera rápidamente a la atmósfera y si la nube se incendia antes de que se diluya hasta por debajo de su límite inferior de explosividad, entonces ocurre una explosión de nube de vapor VCE, en la Figura 2.2 se muestra un ejemplo de generación de una explosión por nube de vapor.



Figura 2.2 Ejemplo de una explosión de nube de vapor (VCE)

Cualquier fluido inflamable que se libere en una planta petroquímica tiene la capacidad de generar una nube de vapor inflamable, que si se prende puede producir una explosión por nube de vapor (VCE). Las explosiones de nube de vapor (VCE) causan daños considerables en la industria química y petroquímica. Los niveles de daño generados por sobrepresión llegan a ser tan riesgosos que ocasionan daños e incluso la muerte.

➤ **Explosión de vapores en expansión de un líquido en ebullición (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion BLEVE)**

Una BLEVE ocurre debido a cualquier mecanismo que resulte de la falla repentina del contenedor, incluyendo impacto con un objeto, corrosión, defectos de manufactura, sobrecalentamiento interno, etc. La repentina falla del contenedor permite que el líquido sobrecalentado provoque un “flash o vaporización súbita” e incremente su volumen. Esto es suficiente para generar ondas de presión y fragmentos. En el cálculo de la BLEVE se determina la sobrepresión y los fragmentos de materiales inflamables, se predice la intensidad térmica de las bolas de fuego, diámetro y duración. En la Figura 2.3 se muestra la evolución temporal de una BLEVE.

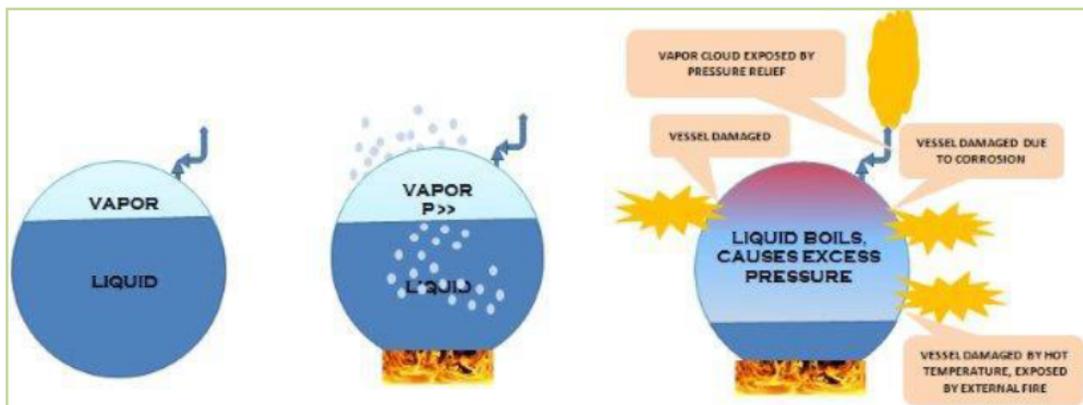


Figura 2.3 Evolución de una BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)

2.1.2 Efectos por radiación térmica

Los efectos por fuego son evaluados en función de la radiación térmica a la que está expuesto un individuo o equipo durante un determinado tiempo.

El efecto de la radiación térmica en un individuo se manifiesta en quemaduras de primer, segundo y tercer grado. Por otra parte, la radiación térmica en equipos provoca daños estructurales a una exposición de temperatura en un intervalo de 500 a 600 °C.

En la Tabla 2.2 se muestran valores de los efectos por radiación térmica.

Tabla 2.2 Efectos por radiación térmica

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

Fuente: Anexo 3 DCO-GDOESSSPA-CT-001 Rev. 1 (PEMEX, 2007).

2.1.3 Efectos por onda expansiva

Los efectos por explosión predicen los impactos de la onda expansiva y los proyectiles en personas y objetos.

Para producir fatalidades (debido a hemorragias internas) se requieren sobrepresiones > 15 psig, pero se ha observado que los mayores daños son los producidos por proyectiles.

En la Tabla 2.3 se muestran valores de daños y efectos observados por eventos de sobrepresión.

Tabla 2.3 Efectos estimados debido a la sobrepresión

Presión (Psig)	Efecto observado
0.02	Ruido molesto (137 decibeles de frecuencia 10-15 hertz)
0.03	Ruptura ocasional de grandes ventanales bajo tensión
0.04	Ruido fuerte (143 decibeles), falla de cristales por ondas sónicas
0.1	Ruptura de ventanas pequeñas bajo tensión
0.15	Presión típica para ruptura de cristales

0.3	“Distancia segura” (probabilidad 0.95 sin daño serio más allá de este valor) límite de proyectiles; algún daño a techos de casas; 10 % de ventanas rotas
0.4	Daño estructural de casas
0.5-1.0	Generalmente se estrellan grandes y pequeñas ventanas, daño ocasional a marcos de ventanas
0.7	Daño menor a estructuras de casas
1.0	Láminas de asbesto corrugado, se hacen añicos; daño en paneles de aluminio o acero corrugado y accesorios de sujeción con pandeo, daños en paneles de madera y accesorios de sujeción. Demolición parcial de la casa habitación, quedan inhabitables. Provoca el 1 % de ruptura de tímpanos y el 1 % de heridas seria por proyectiles
2	Colapso parcial de paredes y techos de casas
2-3	Muros de block y concreto, no reforzadas, destruidas
2.3	Límite inferior de daño estructural serio
2.5	50 % de destrucción de casas de ladrillo
3	Máquinas pesadas (1.5 toneladas) en edificios industriales sufren daños pequeños, estructuras de acero distorsionados y desprendidos de sus cimientos
3-4	Edificios de paneles de acero sin estructuras o de autoformación demolidos; ruptura de tanques de almacenamiento de petróleo
4	Estructura metálica de edificios distorsionados o arrancadas de sus cimientos; demolición de paneles de acero para edificios sin arco de refuerzo y ruptura de tanques metálicos de almacenamiento
5	Postes de teléfono de madera se rompen; prensa hidráulica (18.2 toneladas) dentro de edificios ligeramente dañada
5-7	Destrucción casi completa de casas
7	Vagones de ferrocarril de carga pesada volcados
7-8	Paneles de ladrillo de 8.12 pulgadas de espesor, no reforzados, ceden por deslizamiento o curvatura
9	Furgones con carga totalmente destruidos
10	Probable destrucción de edificios, maquinaria pesada (7,000 lb) desplazada y muy dañada maquinaria muy pesada (12,000 lb) sobrevive, máxima velocidad de viento de 294 km/h
300	Límite de orilla de cráter

Fuente: Anexo 3 DCO-GDOESSSPA-CT-001 Rev. 1 (PEMEX, 2007).

2.2 MODELACIÓN DE LOS RADIOS DE AFECTACIÓN

2.2.1 Condiciones climáticas del sitio de estudio

El municipio de Acatlán de Juárez registra variaciones estacionales en el transcurso del año. La temporada con mayor viento corresponde al mes de marzo, con velocidades que oscilan entre

los 12 y 19 km/h. Por el contrario, la temporada que presenta menor actividad eólica corresponde al mes de julio, con velocidades de viento menores a 5 km/h.

A continuación, en la Tabla 2.4 se muestran las condiciones climatológicas promedio de los últimos 90 días, mismas que fueron obtenidas a través de la estación meteorológica “Tlajomulco”.

Tabla 2.4 Datos disponibles a través de las estaciones climatológicas más cercanas al área de estudio durante los últimos 90 días (Sistema de información y visualización de estaciones automáticas, 2021)

Estación Meteorológica	Dirección del Viento (grados)	Dirección de ráfaga (grados)	Rapidez de viento (km/h)	Rapidez de ráfaga (km/h)	Temperatura del Aire (°C)	Humedad relativa (%)	Presión Atmosférica (hpa)	Radiación Solar (W/m ²)
Tlajomulco	196.38	197.82	6.09	12.18	16.96	49.77	846.94	213.81

Los datos que complementan la Tabla 2.5 fueron adquiridos a través de la estación climatológica la cual se encuentra registrada con los siguientes datos.

Tabla 2.5 Datos generales de la Estación “Tlajomulco” (Sistema de Información y visualización de Estaciones Automáticas, 2021)

Estación Presa Tlajomulco	
Red:	SMN
Estado:	Jalisco
Municipio:	Tlajomulco
Latitud:	20.00972
Longitud:	-103.4191
Altitud:	1566 msnm

La información de condiciones climáticas es necesaria para alimentar los datos en el software PHAST y hacer las simulaciones lo más cercanas a la realidad, recuerden que este proceso es de manera hipotética.

Para poder hacer uso de estos datos se deben considerar datos históricos de los mismos de al menos 10 años, en caso de no contar con esta información se deben hacer las simulaciones con una velocidad de 1.5 m/s y estabilidad ambiental B para el día y F para la noche, por ser consideradas condiciones ambientales muy desfavorables para la dispersión de nubes tóxicas o inflamables, para la dirección del viento utilizar la dirección promedio (como una media aritmética) del viento en el sitio, con base en registros de los últimos tres años.

Por lo tanto, analizando la información de condiciones climáticas y con ayuda de la Tabla 2.6 se determinó la velocidad de viento promedio del sitio donde se encuentra la estación de descompresión, así como la estabilidad Pasquill, la cual se presenta en la sección de criterios, premisas y consideraciones aplicados.

Tabla 2.6 Estabilidad atmosférica de Pasquill

Velocidad del viento U_{10} (m/s)	Radiación solar			Horas de noche Fracción cubierta de nubes	
	Fuerte	Moderado	Débil	$\geq 1/2$	$\leq 1/2$
< 2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Fuente: "Guía para la elaboración del análisis de riesgo para el sector hidrocarburos".

Para definir y justificar las zonas de alto riesgo y amortiguamiento del Análisis de Riesgo a determinar, se consideraron los parámetros que se indican en la Tabla 2.7, para los casos de nube tóxica, incendio y explosión de los escenarios planteados.

Tabla 2.7 Parámetros para la determinación de las zonas de alto riesgo y amortiguamiento para el Análisis de Riesgo

Parámetros	Zona de alto riesgo por daño a equipos	Zona de alto riesgo	Zona de amortiguamiento
Toxicidad (concentración)	--	IDHL (ppm)	TLV (8 h., TWA) o TLV (15 min., STEL) (ppm)
Inflamabilidad (radiación térmica)	Rango de 12.5 kW/m ² a 37.5 kW/m ²	5 kW/m ²	1.4 kW/m ²
Explosividad (sobrepresión)	Rango de 3 lb/in ² a 10 lb/in ²	1 psig (0.07 kg/cm ²)	0.5 psig (0.035 kg/cm ²)

Fuente: "Guía para la elaboración del análisis de riesgo para el sector hidrocarburos".

2.2.2 Criterios, premisas y consideraciones aplicadas

2.2.2.1 Normatividad aplicable

Para desarrollar las simulaciones se utilizará como referencia la siguiente normatividad:

- COMERI 144 "Lineamientos para realizar Análisis de Riesgos de Proceso, Análisis de Riesgos de Ductos y Análisis de Riesgos de Seguridad Física, en Instalaciones de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios" revisión 2 del 10 de agosto de 2010.
- DG-SASIPA-SI-02741 "Guía para Realizar Análisis de Riesgos" revisión 3 de marzo de 2011.
- 800-16400-DCO-GT-75 "Guía Técnica para Realizar Análisis de Riesgos de Proceso" revisión 1 del 10 de agosto de 2012.

- DCO-GDOESSSPA-CT-001 “Criterios Técnicos para Simular Escenarios de Riesgos por Fugas y Derrames de Sustancias Peligrosas, en Instalaciones de Petróleos Mexicanos” revisión 1 del 30 de septiembre de 2011.
- NFR-018-PEMEX-2007 “Estudios de Riesgos” revisión 0 del 05 de enero de 2008.
- Guía para la elaboración del análisis de riesgo para el sector hidrocarburos, Julio 2020.

2.2.2.2 Tamaño de fuga

Existen diferentes criterios para definir el tamaño de la fuga conforme la Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Diámetros equivalentes de fuga (DEF) para simulación de escenarios de riesgo por fuga de gas natural en la estación de descompresión

DEF	Causa	Tipo de caso para ARSH	Referencia / criterio
100% del DN de la línea o tubería	Golpe externo	PC ²	GUÍA ASEA
0.75” para DN de 6” a 14” 1.25” para DN de 16” a 24” 2.0” para DN mayor a 30” 0.6” para DN > 2” y ≤ 4”	Corrosión, pérdida de material o falla en soldadura	CMP ³	DCO-GDOESSSPA-CT-001
20% del DN de la línea o tubería	Golpe externo (más probable que la ruptura del 100%)	CA ⁴	DCO-GDOESSSPA-CT-001 WTP55
0.5” para cualquier DN	Por corrosión localizada	CA ⁴	WTP55
30% del Ø para líneas de 2” < DN ≤ 4” 20% del Ø para líneas de 6” ≤ DN	Fugas en bridas / sobrepresión	CA ⁴	DCO-GDOESSSPA-CT-001
¹ DEF: Diámetro Equivalente de Fuga ² PC: Peor Caso ³ CMP: Caso Más Probable ⁴ CA: Caso Alterno DN: Diámetro Nominal de la línea o tubería		GUÍA ASEA: Guía para la elaboración de Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos DCO-GDOESSSPA-CT-001: Criterios técnicos para simular escenarios de riesgo por fugas y derrames de sustancias peligrosas, en instalaciones de PEMEX WTP55: Techniques for Assesing Industrial Hazards. World Bank Technical Paper Number 55	

Para el caso de este estudio se consideraron con base en a la “Guía para la elaboración del análisis de riesgo para el sector hidrocarburos”, que se muestran en la Tabla 2.9, los diámetros equivalentes de fuga para realizar las simulaciones de la estación de descompresión.

Tabla 2.9 Diámetros equivalentes de fuga DEF

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

Fuente: "Guía para la elaboración del análisis de riesgo para el sector hidrocarburos".

2.2.2.3 Estabilidades atmosféricas

De acuerdo con la revisión de los datos históricos del reporte de clima, durante un periodo de 1 año, se determinó que la velocidad del viento en la región donde se encontrará la Estación de Descompresión de la región es de 4.30 m/s.

Acorde con la revisión de las condiciones climatológicas de la región, para este proyecto en particular, se emplearán las condiciones atmosféricas de la Tabla 2.10, para dar cumplimiento con lo establecido en la "Guía para la elaboración del análisis de riesgo para el sector hidrocarburos" y DCO-GDOESSSPA-CT-001 Rev. 1.

Tabla 2.10 Criterios ambientales para la simulación de escenarios de riesgos de la estación de descompresión

Tipo de escenario	Velocidad de viento (m/s)	Estabilidad Pasquill	Temperatura ambiente (°C)	Humedad relativa (%)	Presión atmosférica (Psi)
Peor caso (PC)	1.5*	F	16.96	49.77	12.28
	4.30**	B			
Caso más probable (CMP)	1.5*	F	16.96	49.77	12.28
	4.30**	B			
Caso alternativo (CA)	1.5*	F	16.96	49.77	12.28
	4.30**	B			

* Valor tomado con base de la guía debido a que la velocidad mínima promedio de la región es casi igual al valor que emplea la guía.

** Velocidad de viento promedio en la región.

2.2.3 Cálculo de inventarios de fuga

Al determinar el inventario de la sustancia peligrosa que se puede fugar o derramar, en proceso o almacenamiento. En el caso de líneas de proceso y ductos, es la suma del inventario que se fuga hasta el momento en el que se cierran las válvulas de seccionamiento, más el inventario

que se queda atrapado entre estas válvulas. Para ello se emplea la ecuación que a continuación se presenta.

$$IF = (Fm * t) + \left\{ \left(\frac{\pi * d^2}{4} \right) * D * \rho \right\} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- IF= Inventario de fuga (kg)
- Fm= Flujo másico
- t= tiempo que transcurre desde que se presenta la fuga, hasta que es aislada cerrando las válvulas de seccionamiento (s)
- d= diámetro de tubería (m)
- D= Distancia que existe entre las válvulas de seccionamiento que aíslan la fuga en el ducto (m)
- ρ= Densidad de la sustancia (kg/m³)

De acuerdo con el departamento de transporte (1980) LNG Estándares Federales de Seguridad (**Federal Safety Standards**) especificaron un tiempo que transcurre desde que se presenta la fuga hasta que es aislada de **10 minutos**; otros estudios (**Rijnmond Public Authority**, 1982) han usado **2 minutos** considerando una combinación entre el tiempo de detección de fuga y que un operador capacitado y con instrucciones bien documentadas llevará a cabo la activación de las válvulas remotas de aislamiento (AIChE/CCPS, 2000).

De la Ecuación 1, el segundo término de la ecuación se simplifica para los casos en los que no existan válvulas de aislamiento, por lo tanto, la ecuación 1 se reduce a:

$$IF = (Fm * t) \quad \text{Ecuación 2}$$

Para este estudio en particular se tomará como tiempo igual a cero ($t=0$) el momento en que comienza la liberación o descarga de material al ambiente.

La composición del gas natural se considera para el Resto del País, a partir de la Tabla siguiente, conforme con la norma NOM-001-SECRE-2010.

Tabla 2.11 Especificaciones del Gas Natural

Propiedad	Unidades	Zona Sur			Resto del país
		Hasta el 31 de diciembre de 20101	Del 1 de enero de 2011 al 31 de diciembre de 2012	A partir del 1 de enero de 2013	
Metano (CH4)-Min.	% vol	NA	NA	83.00	84.00
Oxígeno (O2)-Max.	% vol	0.20	0.20	0.20	0.20

Propiedad	Unidades	Zona Sur			Resto del país
		Hasta el 31 de diciembre de 2010	Del 1 de enero de 2011 al 31 de diciembre de 2012	A partir del 1 de enero de 2013	
Bióxido de Carbono (CO2)-Max.	% vol	3.00	3.00	3.00	3.00
Nitrógeno (N2)-Max.	% vol	9.00	8.00	6.00	4.00
Nitrógeno variación máxima diaria	% vol	±1.5	±1.5	±1.5	±1.5
Total de inertes (CO2 y N2)- Max.	% vol	9.00	8	6.00	4.00
Etano- Max.	% vol	14.00	12	11.00	11.00
Temperatura de rocío de hidrocarburos-Max.	K (°C)	NA	271,15 (-2) ¹	271.15 (-2)	271.15 (-2)
Humedad (H2O)-Max.	Mg/m ³	110.00	110.00	110.00	10.00
Poder calorífico superior-Min.	Mg/m ³	35.30	36.30	36.80	37.30

Fuente: "NOM-001-SECRE-2010".

Para el Peor Caso (PC), casos más probables (CMP) y Casos Alternos (CA) se tomará en el paro por emergencia en la estación de descompresión, desde la instalación o caseta de vigilancia, para los escenarios propuestos se considerará un tiempo de fuga de **2 minutos** de acuerdo con la Tabla 2.12, por lo que el inventario de simulación será de 20 m³.

Tabla 2.12 Criterio para asignar tiempos de fuga

Sistemas automáticos	Tiempo de control	Tiempo de fuga (minutos)	Fuente
Detección de fuga con sistema automático de bloqueo (totalmente automático)	El tiempo de cierre de válvulas de bloqueo es de 2 minutos	2	Guideline for quantitative risk assessment, Purple book, CPR 18E, 2004, pág. 4.5.
Sistema de bloqueo a control remoto y detección de fuga automático. Detección directa a cuarto de control. El operador validó la señal y el cierre se realiza por un switch en el cuarto de control.	El tiempo de cierre de válvulas de bloqueo es de 10 minutos.	10	

Sistemas automáticos	Tiempo de control	Tiempo de fuga (minutos)	Fuente
Sistema de bloqueo operado manualmente con detección automática de fuga. El operador valida la señal y realiza el cierre de válvulas de bloqueo de manera local y manual.	El tiempo de cierre de válvulas de bloqueo es de 30 minutos.	30	

Para el caso de la Estación de Descompresión el tiempo de fuga considerado será de 2 minutos.

2.2.4 Dirección de la fuga

Para determinar la dirección de la fuga en el escenario planteado, se hará con base en el tipo de sustancia que se esté liberando. Las opciones para emplear se presentan en la Tabla 2.13

Tabla 2.13 Direcciones de fuga en el simulador

Dirección de la fuga
Horizontal
Ángulo desde la horizontal
Vertical
Incidencia en el suelo

Referencia: Software PHAST

Para los escenarios propuestos se está tomando una dirección horizontal ya que es la más representativa. En los casos de ruptura total no se necesita especificar una dirección.

2.2.5 Tipo de área de localización de la instalación

Este factor, en función de los obstáculos (árboles, edificios, densidad de instalaciones industriales), influye en cuanto a la probabilidad de confinamiento de nubes tóxicas o nubes inflamables o explosivas. Los criterios se pueden observar en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Criterios de localización de los eventos

Costa adentro	Costa afuera
Área rural: No hay construcciones en el área inmediata y el terreno generalmente es plano y con pocos árboles	Área marítima
Área urbana: Implica muchos obstáculos en el área inmediata, incluidas las construcciones y los árboles	--
Área industrial	--
Otro	--

Como criterio general se toma el de área rural, como se indica en el apartado anterior, ya que la instalación colinda con diferentes áreas de cultivo y la carretera a Barra de Navidad.

2.2.6 Selección de escenarios

De acuerdo con lo descrito en la sección criterios, premisas y consideraciones aplicadas, en donde se exponen las condiciones bajo las cuales se desarrollarán las simulaciones, dicha información acerca de los escenarios se llenará en los siguientes formatos.

Con base en la revisión de los estudios de análisis de riesgos previos, se listarán los escenarios que se consideren más catastróficos (peor caso "PC"), los que de acuerdo con la experiencia del personal de operación se consideren más probables (caso más probable CMP), algún caso que se haya documentado mediante recopilación de incidentes que demuestre que puede suceder, pero que no corresponde al caso más catastrófico ni al más probable (caso alternativo CA).

2.2.7 Escenarios simulados

De los escenarios planteados, la información empleada en PHAST se documentó en los siguientes formatos que a continuación se muestran, para cada tipo de evento.

Posteriormente en la Tabla 2.15, se muestran los datos del inventario de tasa de descarga obtenidos de las simulaciones.

E-01-PC

FORMATO PARA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGOS																			
Nombre del simulador utilizado	PHAST 6.7																		
Planta o instalación	Estación de descompresión Más Harina																		
Clave del escenario	E-01-PC	Escenario de ¿Qué pasa si..?	Núm. 2.3.1																
ESCENARIO DE RIESGO																			
Nombre del escenario de riesgo	Ruptura en línea de entrada de 1.0" por golpe de MAM.																		
Descripción del escenario de riesgo	Ruptura en línea de entrada de 1.0" a la estación de descompresión, producida por colisión de MAM, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población, medio ambiente.																		
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y TIPO DE ÁREA DE LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN																			
Temperatura ambiente (°C)	16.96																		
Humedad relativa (%)	49.77																		
Presión atmosférica (psi)	12.28																		
Tipo de área en la que se encuentra la instalación: Rural, Urbana, Industrial, Marítima, Otra (explique)	I																		
CONDICIONES METEOROLÓGICAS AL MOMENTO DE LA FUGA DEL MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA																			
Velocidad del viento (m/s)	1.5	4.30																	
Estabilidad atmosférica (Pasquill)	F	B																	
MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA BAJO ESTUDIO																			
Nombre	Gas natural																		
Componente y % de la mezcla	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>% masa</th> <th>Componente</th> <th>% masa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Metano</td> <td>84.00</td> <td>Etano</td> <td>11.00</td> </tr> <tr> <td>Oxígeno</td> <td>0.20</td> <td>Nitrógeno</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Bióxido de carbono</td> <td>0.80</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Componente	% masa	Componente	% masa	Metano	84.00	Etano	11.00	Oxígeno	0.20	Nitrógeno	4	Bióxido de carbono	0.80		
Componente	% masa	Componente	% masa																
Metano	84.00	Etano	11.00																
Oxígeno	0.20	Nitrógeno	4																
Bióxido de carbono	0.80																		
Fase	Gaseosa																		
Inventario (m ³)	20																		
CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EN EL QUE SE ENCUENTRA EL RECIPIENTE																			
Área del dique (m ²)	N/A																		

Estación de Descompresión MAS HARINA

Tipo de superficie sobre el que se encuentra el recipiente: TS =Tierra seca, TH =Tierra húmeda, C =concreto, O =Otra(explique)	C
DATOS DEL RECIPIENTE Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUGA	
Tipo de recipiente: V =Vertical, H =Horizontal, E =Esférico, O =Otro (explique)	N/A
Tipo de evento peor caso (PC), caso más probable (CMP) y/o caso alternativo (CA)	PC
Temperatura (°C)	30
Presión (psi)	3582
Altura hidráulica* (m)	N/A
Diámetro de la tubería (pulgadas)	1.0
Diámetro equivalente de fuga (pulgadas)	N/A
Dirección de la fuga: V =Vertical, H =Horizontal, HA =Hacia abajo, GC =Golpea contra, I =Inclinada	GC
Elevación de la fuga** (m)	1.0
Tiempo de fuga (seg.)	120
Evaluación de posibles pérdidas: Describa la cantidad de personas y equipos que puedan ser afectados, indique el valor de la concentración (ppm), sobre presión (psi), o radiación térmica (kW/m ²) con la que serían afectados y la forma en la que se cree pueden ser afectados (valor Probit o efecto esperado de acuerdo a tablas). No omita incluir los sitios de interés declarados anteriormente. Haga referencia a ilustraciones, descripciones anexas y tablas como lo considere apropiado.	Apartado 4 del presente documento, tabla de la "Guía para la elaboración del análisis de riesgo para el sector hidrocarburos"

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

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

E-02-CMP

FORMATO PARA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGOS																			
Nombre del simulador utilizado	PHAST 6.7																		
Planta o instalación	Estación de descompresión Más Harina																		
Clave del escenario	E-02-CMP	Escenario del HazOp	Núm. 2, 4, 12 y 13																
ESCENARIO DE RIESGO																			
Nombre del escenario de riesgo	Fuga de gas natural por taponamiento en filtros.																		
Descripción del escenario de riesgo	Fuga de gas natural en tuberías y/o accesorios por represionamiento en línea de 3/8" debido a taponamiento de filtros, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población y medio ambiente. 20%																		
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y TIPO DE ÁREA DE LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN																			
Temperatura ambiente (°C)	16.96																		
Humedad relativa (%)	49.77																		
Presión atmosférica (psi)	12.28																		
Tipo de área en la que se encuentra la instalación: Rural, Urbana, Industrial, Marítima, Otra (explique)	I																		
CONDICIONES METEOROLÓGICAS AL MOMENTO DE LA FUGA DEL MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA																			
Velocidad del viento (m/s)	1.5	4.30																	
Estabilidad atmosférica (Pasquill)	F	B																	
MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA BAJO ESTUDIO																			
Nombre	Gas natural																		
Componente y % de la mezcla	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>% masa</th> <th>Componente</th> <th>% masa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Metano</td> <td>84.00</td> <td>Etano</td> <td>11.00</td> </tr> <tr> <td>Oxígeno</td> <td>0.20</td> <td>Nitrógeno</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Bióxido de carbono</td> <td>0.80</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Componente	% masa	Componente	% masa	Metano	84.00	Etano	11.00	Oxígeno	0.20	Nitrógeno	4	Bióxido de carbono	0.80		
Componente	% masa	Componente	% masa																
Metano	84.00	Etano	11.00																
Oxígeno	0.20	Nitrógeno	4																
Bióxido de carbono	0.80																		
Fase	Gaseosa																		
Inventario (m ³)	20																		
CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EN EL QUE SE ENCUENTRA EL RECIPIENTE																			
Área del dique (m ²)	N/A																		

Tipo de superficie sobre el que se encuentra el recipiente: TS =Tierra seca, TH =Tierra húmeda, C =concreto, O =Otra(explique)	C
DATOS DEL RECIPIENTE Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUGA	
Tipo de recipiente: V =Vertical, H =Horizontal, E =Esférico, O =Otro (explique)	N/A
Tipo de evento peor caso (PC), caso más probable (CMP) y/o caso alternativo (CA)	CMP
Temperatura (°C)	70
Presión (psi)	3582
Altura hidráulica* (m)	N/A
Diámetro de la tubería (pulgadas)	3/8
Diámetro equivalente de fuga (pulgadas)	0.075
Dirección de la fuga: V =Vertical, H =Horizontal, HA =Hacia abajo, GC =Golpea contra, I =Inclinada	H
Elevación de la fuga** (m)	2.0
Tiempo de fuga (seg.)	120
Evaluación de posibles pérdidas: Describa la cantidad de personas y equipos que puedan ser afectados, indique el valor de la concentración (ppm), sobre presión (psi), o radiación térmica (kW/m ²) con la que serían afectados y la forma en la que se cree pueden ser afectados (valor Probit o efecto esperado de acuerdo a tablas). No omita incluir los sitios de interés declarados anteriormente. Haga referencia a ilustraciones, descripciones anexas y tablas como lo considere apropiado.	Apartado 4 del presente documento, tabla de la "Guía para la elaboración del análisis de riesgo para el sector hidrocarburos"

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

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

E-03-CA

FORMATO PARA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGOS																			
Nombre del simulador utilizado	PHAST 6.7																		
Planta o instalación	Estación de descompresión Más Harina																		
Clave del escenario	E-03-CA	Escenario del HazOp	Núm. 5																
ESCENARIO DE RIESGO																			
Nombre del escenario de riesgo	Fuga de gas natural en bridas por sobrepresión.																		
Descripción del escenario de riesgo	Fuga de gas natural en bridas por represionamiento en línea de 3" debido a falla en la segunda etapa de regulación, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población y medio ambiente. 20%																		
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y TIPO DE ÁREA DE LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN																			
Temperatura ambiente (°C)	16.96																		
Humedad relativa (%)	49.77																		
Presión atmosférica (psi)	12.28																		
Tipo de área en la que se encuentra la instalación: Rural, Urbana, Industrial, Marítima, Otra (explique)	I																		
CONDICIONES METEOROLÓGICAS AL MOMENTO DE LA FUGA DEL MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA																			
Velocidad del viento (m/s)	1.5	4.30																	
Estabilidad atmosférica (Pasquill)	F	B																	
MATERIAL O SUSTANCIA PELIGROSA BAJO ESTUDIO																			
Nombre	Gas natural																		
Componente y % de la mezcla	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>% masa</th> <th>Componente</th> <th>% masa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Metano</td> <td>84.00</td> <td>Etano</td> <td>11.00</td> </tr> <tr> <td>Oxígeno</td> <td>0.20</td> <td>Nitrógeno</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Bióxido de carbono</td> <td>0.80</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Componente	% masa	Componente	% masa	Metano	84.00	Etano	11.00	Oxígeno	0.20	Nitrógeno	4	Bióxido de carbono	0.80		
Componente	% masa	Componente	% masa																
Metano	84.00	Etano	11.00																
Oxígeno	0.20	Nitrógeno	4																
Bióxido de carbono	0.80																		
Fase	Gaseosa																		
Inventario (m ³)	20																		
CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EN EL QUE SE ENCUENTRA EL RECIPIENTE																			
Área del dique (m ²)	N/A																		

Estación de Descompresión MAS HARINA

Tipo de superficie sobre el que se encuentra el recipiente: TS =Tierra seca, TH =Tierra húmeda, C =concreto, O =Otra(explique)	C
DATOS DEL RECIPIENTE Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUGA	
Tipo de recipiente: V =Vertical, H =Horizontal, E =Esférico, O =Otro (explique)	N/A
Tipo de evento peor caso (PC), caso más probable (CMP) y/o caso alternativo (CA)	CA
Temperatura (°C)	35
Presión (psi)	313.3
Altura hidráulica* (m)	N/A
Diámetro de la tubería (pulgadas)	3
Diámetro equivalente de fuga (pulgadas)	0.6
Dirección de la fuga: V =Vertical, H =Horizontal, HA =Hacia abajo, GC =Golpea contra, I =Inclinada	H
Elevación de la fuga** (m)	1.0
Tiempo de fuga (seg.)	120
Evaluación de posibles pérdidas: Describa la cantidad de personas y equipos que puedan ser afectados, indique el valor de la concentración (ppm), sobre presión (psi), o radiación térmica (kW/m ²) con la que serían afectados y la forma en la que se cree pueden ser afectados (valor Probit o efecto esperado de acuerdo con Tablas). No omita incluir los sitios de interés declarados anteriormente. Haga referencia a ilustraciones, descripciones anexas y tablas como lo considere apropiado.	Apartado 4 del presente documento, tabla de la "Guía para la elaboración del análisis de riesgo para el sector hidrocarburos"

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

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

Tabla 2.15 Datos del inventario de tasa de descarga

Tipo de caso	Identificación de escenarios		Diámetro (in)		Flujo Max. Operación	Presión	Temp.	Duración fuga	Inventario	Tasa de descarga
	Clave	Descripción	Línea / Equipo	Fuga	Nm ³ /hr	Psig	°C	Min	Kg	Kg/seg
PC	E-01-PC	Ruptura en línea de entrada de 1.0" a la estación de descompresión, producida por colisión de MAM, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población, medio ambiente.	Línea de entrada"	1.0	600	3582	30	--	3860.04	--
CMP	E-02-CMP	Fuga de gas natural en tuberías y/o accesorios por represionamiento en línea de 3/8" debido a taponamiento de filtros, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población y medio ambiente. 20%	Filtro Tubería y/o accesorios	3/8	600	3582	70	120	3171.18	0.1135
CA	E-03-CA	Fuga de gas natural en bridas por represionamiento en línea de 3" debido a falla en la segunda etapa de regulación, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población y medio ambiente. 20%	Tubería y/o accesorios	3	600	313.3	35	120	316.13	0.632

2.2.8 Resultados de las simulaciones

En resumen, en la Tabla 2.16 se muestran los resultados obtenidos del reporte del software PHAST, del alcance de los efectos por dispersión tóxica, radiación térmica y sobrepresión de los escenarios simulados.

Tabla 2.16 Resumen de los resultados de los radios de afectación por escenario

Clave del escenario	Descripción del escenario	Dispersión tóxica (ppm)		Radiación térmica (kW/m ²)			Sobrepresión (Psig)			
		IDLH	TLV	Tipo de fuego	1.4	5.0	12.5	0.5	1.0	3.0
		Radios de afectación (m)								
E-01-PC	Ruptura en línea de entrada de 1.0" a la estación de descompresión, producida por colisión de MAM, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población, medio ambiente.	ND	ND	Jet Fire	607.97	327.05	200.70	312.71	202.11	113.92
E-02-CMP	Fuga de gas natural en tuberías y/o accesorios por represionamiento en línea de 3/8" debido a taponamiento de filtros, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población y medio ambiente. 20%	ND	ND	Jet Fire	5.06	No alcanzado	No alcanzado	No se presenta	No se presenta	No se presenta
E-03-CA	Fuga de gas natural en bridas por represionamiento en línea de 3" debido a falla en la segunda etapa de regulación, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población y medio ambiente. 20%	ND	ND	Jet Fire	16.97	13.19	10.74	18.58	15.22	12.54

Fuente: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

Los resultados mostrados son con una velocidad de viento de 1.5 m/s y estabilidad Pasquill F.

El punto de ignición se consideró como probable a 30 m a partir del punto de fuga para los escenarios E-01-PC.

El punto de ignición se consideró como probable a 10 m a partir del punto de fuga para el escenario E-03-CA.

Las hojas resumen de cada escenario obtenido del simulador en PHAST, se presentan en el Anexo 2-1.

El Informe Técnico se presenta en el Anexo 2-2.

Los Diagramas de pétalos se presentan en el Anexo 2-3

2.2.9 Representación de los radios de afectación en planos

En el Anexo 2-3 se muestran los Diagramas de pétalos en donde se representan las Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento (radiación térmica y sobrepresión), en donde se pueden identificar los puntos de interés, así como otras áreas, equipos, ductos o instalaciones.



ANÁLISIS DE RIESGO

SECTOR HIDROCARBUROS

Actividades Altamente Riesgosas

Estación de Descompresión

MAS HARINA

CAPÍTULO 3

Señalamiento de las medidas de seguridad y preventivas



CAPÍTULO 3

Señalamiento de las medidas de seguridad y preventivas

CONTENIDO

3.1 ANÁLISIS DE RIESGO	112
3.1.1 Reposicionamiento de riesgo.....	112
3.1.2 Análisis de vulnerabilidad	114
3.2 DETERMINACIÓN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE RIESGO ADICIONALES PARA ESCENARIOS DE RIESGO NO TOLERABLES Y/O ALARP (AS LOW AS REASONABLY PRACTICABLE, TAN BAJO COMO SEA RAZONABLEMENTE FACTIBLE)	118
3.2.1 Nivel integral de seguridad (SIL, <i>por sus siglas en inglés</i>) del proyecto y/o instalación	118
3.2.2 Sistemas de seguridad y medidas para administrar los escenarios de riesgo	118
3.3 RECOMENDACIONES TÉCNICO - OPERATIVAS	118
3.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Reposicionamiento de eventos	112
Tabla 3.2 Interacciones de riesgos	114
Tabla 3.3 Descripción de los posibles receptores del riesgo	116
Tabla 3.4 Lista de recomendaciones derivadas del estudio HazOp	121
Tabla 3.5 Lista de recomendaciones generales del ¿Qué pasa si...?	121

CAPÍTULO 3

Señalamiento de las medidas de seguridad y preventivas

3.1 ANÁLISIS DE RIESGO

3.1.1 Reposicionamiento de riesgo

Durante el desarrollo de las sesiones de trabajo para identificación de riesgos, se realizó la ponderación cualitativa de las desviaciones (peligros) encontrados determinando la Magnitud de Riesgo (MR) de cada desviación. De esta determinación de la MR, se señalaron todos los eventos ponderados como riesgo indeseable en donde se involucran pérdida de contención en líneas y equipos.

Una vez obtenidos los resultados de las simulaciones de estos eventos, se determinó el reposicionamiento, por lo cual quedaron como lo indica la Tabla 3.1

Tabla 3.1 Reposicionamiento de eventos

No. de escenario	Causa	Consecuencia	Sin protecciones						Salvaguardas	Con protecciones					
			F	P er	Po b	A mb	I nt	Ries go		F	P er	Po b	A mb	I nt	Ries go
2	Taponamiento del filtro coalescente.	1. Represionamiento en la línea de entrada y filtros. 2. Daños al equipo. 3. Gas natural fuera de especificación. 4. Posible fuga. 5. Posible explosión y/o incendio.	4	3	1	3	3	B	1. Transmisor de presión PT-01 103. 2. Líneas de desfogue del poste de descarga. 3. Válvula de corte en el poste de descarga. 4. Paro por emergencia en la estación de descompresión.	4	1	1	1	1	C
4	Taponamiento del filtro de partículas.	1. Represionamiento en la línea de entrada y filtros. 2. Daños al equipo.	4	3	1	3	3	B	1. Transmisor de presión PT-01 103. 2. Líneas de desfogue del poste	4	1	1	1	1	C

Estación de Descompresión MAS HARINA

No. de escenario	Causa	Consecuencia	Sin protecciones						Salvaguardas	Con protecciones					
			F	P er	Po b	A mb	I nt	Ries go		F	P er	Po b	A mb	I nt	Ries go
		3. Gas natural fuera de especificación. 4. Posible fuga. 5. Posible explosión y/o incendio.							de descarga. 3. Válvula de corte en el poste de descarga. 4. Paro por emergencia en la estación de descompresión.						
12	Taponamiento del filtro coalescente.	1. Represionamiento en la línea de entrada y filtros. 2. Daños al equipo. 3. Gas natural fuera de especificación. 4. Posible fuga. 5. Posible explosión y/o incendio.	4	3	1	3	3	B	1. Transmisor de presión PT-02 103. 2. Indicador controlador de flujo FIC 01 103. 3. Paro por emergencia en la estación de descompresión.	4	1	1	1	1	C
13	Taponamiento del filtro de partículas.	1. Represionamiento en la línea de entrada y filtros. 2. Daños al equipo. 3. Gas natural fuera de especificación. 4. Posible fuga. 5. Posible explosión y/o incendio.	4	3	1	3	3	B	1. Transmisor de presión PT-02 103. 2. Indicador controlador de flujo FIC 01 103. 3. Paro por emergencia en la estación de descompresión.	4	1	1	1	1	C
2.3.1	1. Colisión de MAM con línea de	1. Daños a la estación de	4	3	3	2	2	B	1. Bloqueador de	4	2	2	2	2	C

No. de escenario	Causa	Consecuencia	Sin protecciones					Salvaguardas	Con protecciones					
			F	P er	Po b	A mb	I nt		Ries go	F	P er	Po b	A mb	I nt
	alimentación de alta presión o estación de descompresión.	descompresión. 2. Posibles fuga. 3. Posible incendio y/o explosión. 4. Pérdidas económicas						estacionamiento. 2. Paro por emergencia en la estación de descompresión. 3. Equipo contra incendio. 4. Teléfonos de emergencia.						

Análisis: GRUPO INGENII S. de R.L. de C.V.

3.1.2 Análisis de vulnerabilidad

En la Tabla 3.2 se muestran las interacciones de riesgo de los escenarios simulados, en las que se marcan de manera puntual las distancias entre equipos y/o zonas aledañas al evento a simular, así como las salvaguardas que se tienen en específico para estos escenarios hipotéticos.

Tabla 3.2 Interacciones de riesgos

Clave escenario de Riesgo	Equipo / Sitio de la planta	Sustancia peligrosa involucrada en el escenario de riesgo	Sitios o equipos aledaños que pueden ser afectados	Distancias de los sitios o equipos al punto de fuga (m)	Sistemas de seguridad y Medidas preventivas (Identificadas en sesiones de trabajo)
E-01-PC	Línea de entrada	Gas natural	Módulo BonGas 600	1.4	1. Bloqueador de estacionamiento. 2. Paro por emergencia en la estación de descompresión. 3. Equipo contra incendio. 4. Teléfonos de emergencia.
			Poste de descarga	0.3 y 2.7	
			Tablero de alarma	12	
			MAM	1.7 y 4.1	
			Caseta	10.5	
			Cuarto de bombas	18	
			Cisterna red contra incendio	22	
			Tránsito de vehículos pesados	6	

Estación de Descompresión MAS HARINA

Clave escenario de Riesgo	Equipo / Sitio de la planta	Sustancia peligrosa involucrada en el escenario de riesgo	Sitios o equipos aledaños que pueden ser afectados	Distancias de los sitios o equipos al punto de fuga (m)	Sistemas de seguridad y Medidas preventivas (Identificadas en sesiones de trabajo)
			Patio de maniobras	10	
			Bodega 1	30	
			Línea de gas a cliente	2.3	
			Cabina de conductores	15	
			Zonas de cultivo	90, 150, 160	
			Rampa	40	
			Tolva	46	
			Baños	130	
			Volcador silo 1 y 2	45	
			Rampa silo 1 y 2	58	
			Silo 1	52	
			Silo 2	73	
			Patio azoleadero	82	
			Zona de alta tensión	106	
			Oficinas de más Harina	118	
			Horno de secado	72	
			Oficinas y comedor	100	
			Áreas verdes y estacionamiento	100	
			Área de oficinas de visitantes	105	
			Vías del tren	180	
			Avenida de entrada	230 y 276	
			Rastro	360	
E-02-CMP	Filtro Tubería y/o accesorios	Gas natural	Sin daños en el Módulo BonGas 600	0.5	1. Transmisor de presión PT-01 103. 2. Líneas de desfogue del poste de descarga. 3. Válvula de corte en el poste de descarga. 4. Paro por emergencia en la estación de descompresión.

Clave escenario de Riesgo	Equipo / Sitio de la planta	Sustancia peligrosa involucrada en el escenario de riesgo	Sitios o equipos aledaños que pueden ser afectados	Distancias de los sitios o equipos al punto de fuga (m)	Sistemas de seguridad y Medidas preventivas (Identificadas en sesiones de trabajo)
E-03-CA	Tubería y/o accesorios	Gas natural	Poste de descarga	2.5 y 4.0	1. Transmisor de presión PT-02 103. Transmisor de presión PT-03 103. 2. Líneas de desfogue. 3. By-pass de la segunda etapa de regulación. 4. Paro por emergencia en la estación de descompresión. 5. Válvula de bloqueo de gas.
			Tablero de alarma	10	
			MAM	1.5 y 4.5	
			Caseta	9	
			Tránsito de vehículos pesados	6.5	
			Patio de maniobras	10	
			Línea de gas a cliente	1	
			Cabina de conductores	12 y 13	

Análisis: GRUPO INGENII S. de R.L. de C.V.

3.1.3 Receptores de riesgo

En la Tabla 3.3 se describen las posibles afectaciones que se esperan al personal, a la población, al medio ambiente y a la instalación, de acuerdo con los resultados de la simulación de escenarios reportados anteriormente y sus Diagramas de pétalos.

Tabla 3.3 Descripción de los posibles receptores del riesgo

Clave escenario de Riesgo	Descripción del escenario de riesgo	Afectaciones	Sistemas de seguridad y Medidas preventivas (Identificadas en sesiones de trabajo)
E-01-PC	Ruptura en línea de entrada de 1.0" a la estación de descompresión, producida por colisión de MAM, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población, medio ambiente.	<p>Personal: El personal que se encuentre presente en el área en un radio de 200.70 m respecto del origen puede sufrir daños en 1 minuto y en un radio de 327.05 m respecto del origen le puede causar dolor si la exposición es mayor de 20 segundos con quemaduras de segundo grado.</p> <p>En caso de presentarse una explosión en un radio 113.92 m respecto del origen el personal presente puede sufrir graves daños a la salud e integridad física.</p> <p>Población: En caso de presentarse una explosión en un radio de 202.11 m respecto del origen los habitantes presentes pueden</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bloqueador de estacionamiento. 2. Paro por emergencia en la estación de descompresión. 3. Equipo contra incendio. 4. Teléfonos de emergencia.

Clave escenario de Riesgo	Descripción del escenario de riesgo	Afectaciones	Sistemas de seguridad y Medidas preventivas (Identificadas en sesiones de trabajo)
		<p>sufrir graves daños a la salud e integridad física así como demolición parcial de casas.</p> <p>Medio ambiente: El daño ambiental en caso de incendio y/o explosión, será la pérdida de especies nativas; así mismo, se generarían emisiones a la atmósfera producto de la combustión.</p> <p>Instalación: Los equipos sufren daños; y se colapsan las estructuras en un radio de 113.92 m por efectos de la explosión. Causaría costos de hasta un día de producción y/o producto. Daño mínimo a los equipos. (<500,000 USD)</p>	
<p>E-02-CMP</p>	<p>Fuga de gas natural en tuberías y/o accesorios por represionamiento en línea de 3/8" debido a taponamiento de filtros, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población y medio ambiente. 20%.</p>	<p>Personal: No hay daños al personal.</p> <p>Población: Los radios de afectación quedan contenidos en la instalación.</p> <p>Medio ambiente: El daño ambiental en caso de incendio y/o explosión, serían la generación de emisiones a la atmósfera.</p> <p>Instalación: Los equipos no sufren daños</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Transmisor de presión PT-01 103. 2. Líneas de desfogue del poste de descarga. 3. Válvula de corte en el poste de descarga. 4. Paro por emergencia en la Estación de Descompresión.
<p>E-03-CA</p>	<p>Fuga de gas natural en bridas por represionamiento en línea de 3" debido a falla en la segunda etapa de regulación, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población y medio ambiente. 20%</p>	<p>Personal: El personal que se encuentre presente en el área en un radio de 10.74 m respecto del origen puede sufrir daños en 1 minuto y en un radio de 13.19 m respecto del origen le puede causar dolor si la exposición es mayor de 20 segundos con quemaduras de segundo grado.</p> <p>En caso de presentarse una explosión en un radio 12.54 m respecto del origen el personal presente puede sufrir graves daños a la salud e integridad física.</p> <p>Población: Debido a que el radio de afectación por una explosión es de 15.22 m, no habría daños a la población ya que esté no rebasa los límites de la instalación.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Transmisor de presión PT-02 103. Transmisor de presión PT-03 103. 2. Líneas de desfogue. 3. By-pass de la segunda etapa de regulación. 4. Paro por emergencia en la Estación de Descompresión. 5. Válvula de bloqueo de gas.

Clave escenario de Riesgo	Descripción del escenario de riesgo	Afectaciones	Sistemas de seguridad y Medidas preventivas (Identificadas en sesiones de trabajo)
		<p>Medio ambiente: El daño ambiental, serían la generación de emisiones a la atmósfera.</p> <p>Instalación: Los equipos sufren daños; y se colapsan las estructuras en un radio de 12.54 m por efectos de la explosión. Causaría costos de hasta un día de producción y/o producto. Daño mínimo a los equipos. (<500,000 USD)</p>	

Análisis: GRUPO INGENII S. de R.L. de C.V.

3.2 DETERMINACIÓN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE RIESGO ADICIONALES PARA ESCENARIOS DE RIESGO NO TOLERABLES Y/O ALARP (AS LOW AS REASONABLY PRACTICABLE, TAN BAJO COMO SEA RAZONABLEMENTE FACTIBLE)

3.2.1 Nivel integral de seguridad (SIL, *por sus siglas en inglés*) del proyecto y/o instalación

Para este apartado cabe señalar que en referencia al desarrollo del análisis de riesgos del sector hidrocarburos para la estación de descompresión se determina lo siguiente:

No se identificaron escenarios que aun con la rejerarquización de riesgos realizada y con base en la aplicación de técnicas tanto cualitativas como cuantitativas, requieran que su magnitud deba ser aun reducida para conseguir niveles de tolerabilidad del riesgo, por lo anterior, no se consideró procedente su desarrollo, siendo este cancelado en el desarrollo de este estudio.

3.2.2 Sistemas de seguridad y medidas para administrar los escenarios de riesgo

Los sistemas de seguridad con los que contará la Estación de Descompresión se muestran en el apartado 1.3 de este documento.

3.3 RECOMENDACIONES TÉCNICO - OPERATIVAS

El presente Estudio de Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos (ARSH), se ha elaborado conforme con la Guía para la Elaboración del Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos de la ASEA, en donde se realizó el análisis preliminar de riesgo, análisis cualitativo de riesgo, análisis cuantitativo de riesgo y análisis de consecuencias. De lo anterior se hace mención que, el Análisis Preliminar de Riesgo consistió en realizar una revisión general del proyecto “Estación de Descompresión MAS HARINA”, acompañado de un histórico de accidentes (haciendo el señalamiento que actualmente no se cuenta con mucha información en México de

escenarios de estaciones de descompresión) y de la información de ingeniería de diseño de los sistemas involucrados con el manejo de Gas Natural como son: Diagramas de tubería e instrumentación (DTI's), paro por emergencia, manuales de operación, Plot Plan de la instalación, diseño de MAM y postes de descarga.

El análisis cualitativo fue realizado por un Grupo Multidisciplinario de trabajo para la identificación de peligros mediante las metodologías HazOp y ¿Qué pasa si..? (What If...?), siendo en este caso y tomando como referencia dicha información, la identificación de 30 escenarios de riesgos que son: 4 tipo B, 14 tipo C y 12 sin causa de interés, mismos que se indican en el apartado reposicionamiento de escenario de riesgo, para el caso de la metodología Qué pasa si...?, se identificaron 124 escenarios de riesgo que son: 12 tipo B, 111 tipo C y uno sin causa de interés.

Mediante la aplicación de ambas metodologías, se identificaron escenarios de riesgo, destacando las siguientes consecuencias:

- Posible incendio y/o explosión
- Posibles fugas de gas natural
- Daños a la instalación
- Pérdidas económicas

De la evaluación de consecuencia se encontraron eventos que podrían causar daños severos a las instalaciones de la estación de descompresión como son los escenarios 2, 4, 5, 12, 13 del HazOp y 2.3.1 del ¿Qué pasa si...?

Derivado del análisis de consecuencias mediante software PHAST, se simularon 3 escenarios de interés peor caso, caso más probable y caso alternativo, los cuales se encuentran representados en los Diagramas de pétalos de los escenarios de riesgo (Anexo 2-3). Los radios de afectación dan la pauta para realizar el análisis de vulnerabilidad, describiendo los riesgos a continuación:

Peor caso (E-01-PC): Ruptura en línea de entrada de 1.0" a la Estación de Descompresión, producida por colisión de MAM, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población, medio ambiente.

Personal: El personal que se encuentre presente en el área en un radio de 200.70 m respecto del origen puede sufrir daños en 1 minuto y en un radio de 327.05 m respecto del origen le puede causar dolor si la exposición es mayor de 20 segundos con quemaduras de segundo grado.

En caso de presentarse una explosión en un radio 113.92 m respecto del origen el personal presente puede sufrir graves daños a la salud e integridad física.

Población: En caso de presentarse una explosión en un radio de 202.11 m respecto del origen los habitantes presentes pueden sufrir graves daños a la salud e integridad física así como demolición parcial de casas.

Estación de Descompresión MAS HARINA

Medio ambiente: El daño ambiental en caso de incendio y/o explosión, será la pérdida de especies nativas; así mismo, se generarían emisiones a la atmósfera producto de la combustión.

Instalación: Los equipos sufren daños; y se colapsan las estructuras en un radio de 113.92 m por efectos de la explosión. Causaría costos de hasta un día de producción y/o producto. Daño mínimo a los equipos (<500,000 USD).

Caso más probable (E-02-CMP): Fuga de gas natural en tuberías y/o accesorios por represionamiento en línea de 3/8" debido a taponamiento de filtros, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población y medio ambiente. 20%.

Personal: No hay daños al personal.

Población: Los radios de afectación quedan contenidos en la instalación.

Medio ambiente: El daño ambiental, serían la generación de emisiones a la atmósfera.

Instalación: Los equipos no sufren daños.

Caso alternativo (E-03-CA): Fuga de gas natural en bridas por represionamiento en línea de 3" debido a falla en la segunda etapa de regulación, con posibles daños a equipos e incendio y/o explosión con riesgo al personal, a la población y medio ambiente. 20%

Personal: El personal que se encuentre presente en el área en un radio de 10.74 m respecto del origen puede sufrir daños en 1 minuto y en un radio de 13.19 m respecto del origen le puede causar dolor si la exposición es mayor de 20 segundos con quemaduras de segundo grado.

En caso de presentarse una explosión en un radio 12.54 m respecto del origen el personal presente puede sufrir graves daños a la salud e integridad física.

Población: Debido a que el radio de afectación por una explosión es de 15.22 m, no habría daños a la población ya que éste no rebasa los límites de la instalación.

Medio ambiente: El daño ambiental, serían la generación de emisiones a la atmósfera.

Instalación: Los equipos sufren daños; y se colapsan las estructuras en un radio de 12.54 m por efectos de la explosión. Causaría costos de hasta un día de producción y/o producto. Daño mínimo a los equipos (<500,000 USD).

Asimismo, se generaron recomendaciones resultantes del análisis de riesgos de procesos, las cuales se presentan en las Tablas 3.4 y 3.5, para ser aplicadas antes y durante la operación de la Estación de Descompresión.

Tabla 3.4 Lista de recomendaciones derivadas del estudio HazOp

Escenario	Recomendaciones
1	Verificar el cumplimiento del programa MIP
2, 4, 12, 13, 15	Dar mantenimiento preventivo al equipo de acuerdo con las recomendaciones del fabricante
3, 5, 6	Se deberá seguir y atender el programa de mantenimiento y calibración de válvulas reductora de presión que indique el fabricante
8, 9, 10	Cumplir con los programas de mantenimiento a instrumentos de control y de monitoreo
	Asegurar la operación confiable de las alarmas de estado (presión y temperatura)
14, 31, 25, 30	Dar capacitación al personal en procedimientos operativos para trabajos en la estación de descompresión, EPO
17, 22	Capacitar al personal en el manual del dispositivo de regulación de presión de gas
16, 17, 18, 23	Se recomienda seguir los procedimientos y protocolos de cada evento operativo, capacitación continua al operador
24	Se recomienda llevar a cabo programas de mantenimiento que indique el fabricante de la instrumentación y control neumática y eléctrica de los equipos y accesorios.
	Se recomienda atender los programas de mantenimiento que marque el fabricante en accesorios y dispositivos de control

Fuente: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

NOTA: MIP (Mantenimiento e inspección preventivos), EPO (Entrenamiento en procedimientos operativos)

Tabla 3.5 Lista de recomendaciones generales del ¿Qué pasa si...?

Escenario	Recomendaciones
1.1.1 1.1.2	1. Aplicar el proceso continuo de selección, contratación, capacitación. 2. Adiestramiento del personal para la operación y mantenimiento de la estación de descompresión
1.2.1	3. Dar cumplimiento a las NOM-STPS-025-2008. Condiciones de Iluminación en la Estación de Descompresión
	4. Dar cumplimiento a la norma NOM-STPS-017-2008, Equipo de protección personal-selección, uso obligatorio y correcto del EPP en el desarrollo de las actividades
2.1.1 2.2.1 2.3.1 2.3.3 2.5.1	5. Actualizar el Plan de Respuesta a Emergencias (PRE)

Escenario	Recomendaciones
2.1.1 2.3.3 2.4.5 2.5.1	6. Capacitar y adiestrar al personal sobre procedimientos operativos protocolos y plan emergencia en eventos de riesgo
2.1.1	7. Que se lleven a cabo los programas de simulacros en la instalación a fin de que el personal esté debidamente capacitado y tenga conocimiento que acciones tomar al evento
	8. Revisar los programas de simulacros para diferentes eventos y sus acciones
2.2.1	9. Elaborar y difundir el protocolo de respuesta emergencia con base en los resultados del ARSH
2.3.1	10. Dar capacitación al personal en planes de respuesta a emergencia Escenario de riesgo tipo "B"
	11. Dar capacitación continua a conductores para manejo y mantenimiento de MAM. Escenario de riesgo tipo "B"
2.4.5	12. Contar con el diseño y selección de la planta de emergencia de generación de energía eléctrica que garantice la operación en una condición emergente por fallo del suministro eléctrico (CFE)

Fuente: GRUPO INGENII, S. de R.L. de C.V.

Otras recomendaciones generales son:

- Utilizar señales y/o leyendas que indiquen el riesgo de fluidos peligrosos (tóxico, inflamable, explosivo, irritante, corrosivo, reactivo, alta temperatura, baja temperatura, alta presión).
- Capacitar al personal en operaciones de seguridad y mantenimiento incluyendo, pero sin ser limitado a válvulas, extinguidores, diagnóstico del sistema de monitoreo, detección de fugas, sistema de alarmas, y paros en caso de emergencias.
- Contar con los procedimientos de seguridad para las actividades de mantenimiento a las instalaciones eléctricas, con lo dispuesto en la norma oficial mexicana NOM-029-STPS-2011.

3.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AICHe/CCPS (1994). Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs, New York, American Institute of Chemical Engineers.
- AICHe/CCPS (2000). Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, Second Edition, New York, American Institute of Chemical Engineers.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (1995). Carta Edafológica de México [.shp]. 1:1,000.000. México.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2022). EncicloVida. Especies de Aves en el municipio de Acatlán de Juárez, Jalisco.

- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2022). EncicloVida. Especies de Plantas en el municipio de Acatlán de Juárez, Jalisco.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2022). EncicloVida. Especies de Mamíferos en el municipio de Acatlán de Juárez, Jalisco.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2022). EncicloVida. Especies de Reptiles en el municipio de Acatlán de Juárez, Jalisco.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2022). EncicloVida. Especies de Anfibios en el municipio de Acatlán de Juárez, Jalisco.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2022). EncicloVida. Especies de Aves en el municipio de Acatlán de Juárez, Jalisco.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (1998). Carta de Subcuencas Hidrológicas formato .shp [.shp]. 1:1,000,000. México.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2021). Monitor de Sequía de México (MSM). Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico> (Consultado en marzo 2022).
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2020). Actualización de disponibilidad media anual de agua en el acuífero Lagunas (1449), Estado de Michoacán. Recuperado de: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/michoacan/DR_1449.pdf (Consultado en marzo 2022).
- Díaz Alonso, Fernando, *et. al.* (2006). Characteristic overpressure–impulse–distance curves for vapour cloud explosions using the TNO Multi-Energy model, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 137, No. 2, 734-741.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (2014). Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Actualización 2015. Roma, Italia.
- García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (5.a ed.). ISBN-UNAM, México, D.F.
- García E. & CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (1998). Conjunto de datos climáticos de México [.shp]. 1:1,000,000. México.
- Gómez O. (2013). Evaluación de Impacto Ambiental (3o ed; 1o imp ed.). Mundi-Prensa.
- Gobierno del Estado de Jalisco (2012). Capacitación a Autoridades Municipales 2012 – 2015, Análisis de Riesgos Municipales. México.
- Guidelines for Selection Process Safety 2 Ed.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021). Carta de Uso de Suelo y Vegetación serie VII .shp [.shp]. 1:250,000. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Carta Topográfica clave F13D75 Jocotepec [.shp]. 1:50,000. México: INEGI.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2001). Conjunto de datos Fisiográficos, serie I [.shp]. 1:1,000,000. México.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). Guía para la interpretación de cartografía Edafología, escala 1:250,000, Serie III. México.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2012). Relieve. Estado de México.
- Municipio de Acatlán de Juárez. (2015), Plan Municipal de Desarrollo de Acatlán de Juárez, México.

- Lugo Hubp, J., & Córdova, C. (1992). Regionalización geomorfológica de la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas*, 1(25). Recuperado de: <https://doi.org/10.14350/rig.59012>_(Consultado en marzo 2022).
- PEMEX, DCO-GDOESSPA-CT-001 (2007). Criterios Técnicos para Simular Escenarios de Riesgo por Fugas y Derrames de Sustancias Peligrosas, en las Instalaciones de Petróleos Mexicanos, Rev.1.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002). Guía para la presentación de la Manifestación de Impacto Ambiental, Industrial del Petróleo. Modalidad: Particular. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/121008/Guia_MIA-Particular_Petrolero.pdf. (Consultado en marzo 2022).
- SGM, Servicio Geológico Mexicano (2005). Conjunto de datos geológicos de la República Mexicana [shp]. 1:50,000. México.
- SMN, Servicio Meteorológico Nacional (2010). Normales climatológicas para el periodo 1951-2010, Estación Acatlán de Juárez, municipio de Acatlán de Juárez. México, D.F.
- EMAS, Sistema de Información y visualización de Estaciones Automáticas (2022). Datos climatológicos de la estación Tlajomulco ubicada en el estado de Jalisco, México.
- SINA, Sistema Nacional de Información del Agua (2019). Situación de los Recursos Hídricos. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/situacion-de-los-recursos-hidricos>. (Consultado en febrero de 2022).
- Trey Turner and Ali Sari, PHD, PE., Vapor Cloud Explosion Prediction Methods-Comparison of TNO Multi-energy (ME) and Baker-Strehlow-Tang (BST) Models in terms of Vulnerability of structural damage caused by an explosion, Atkins Oil and Gas.